

УДК 656.7.086 (45)

П.В. Попов, канд.техн.наук
О.М. Тачиніна

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ПІЛОТА ЯК ДИНАМІЧНОЇ ЛАНКИ СИСТЕМИ "ЛІТАК–ПІЛОТ–СЕРЕДОВИЩЕ–ОСОБЛИВА СИТУАЦІЯ"

НАУ, кафедра електроенергетичних систем, e-mail: tachinina@rambler.ru

Проведено аналіз динамічних характеристик пілота як ланки системи "літак – пілот – середовище – особлива ситуація". Обґрунтовано доцільність розробки математичної моделі пілота, яка дозволить прогнозувати його реакцію в нештатних ситуаціях у польоті та розробити рекомендації керівникам тренажерних центрів щодо відпрацювання навиків у пілота, необхідних для своєчасного прийняття рішення в особливих ситуаціях у польоті.

Вступ

Сучасна авіаційна транспортна система (АТС) являє собою складну ієрархічну людино-машинну структуру з різними інформаційними рівнями й підсистемами, призначену виконувати ефективні й безпечні повітряні перевезення. Аналіз властивостей цієї структури показує, що одним із найбільш важливих ланок у цій структурі є людина.

Стрімкий розвиток і впровадження високорозвинутих інформаційно-керуючих технологій, збільшення психологічних навантажень на людину-оператора, величезна відповідальність його за своєчасність і правильність прийняття рішень ставлять високі вимоги до пілота як ланки системи "літак – пілот – середовище – особлива ситуація", особливо до його психофізіологічних можливостей.

Під системою "літак – пілот – середовище – особлива ситуація" будемо розуміти сукупність перерахованих складових, функціонально взаємопов'язаних між собою та взаємодіючих певним чином у процесі виконання польоту.

Кожна зі складових системи вносить свій вклад у характеристики процесу розвитку особливої ситуації в польоті.

У зв'язку з цим є актуальним дослідження характеристик діяльності пілота як ланки системи, його психофізіологічних можливостей приймати правильні для даної польотної ситуації рішення, що забезпечить своєчасне запобігання розвитку авіаційної події (АП) в польоті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз публікацій [1–8] показав, що на сьогодні Міжнародною організацією цивільної авіації (ICAO) розроблені й прийняті основні принципи орієнтованої на людину автоматизації, згідно з якими людина несе остаточну відповідальність за ефективність і безпеку авіаційної системи. Це пов'язане з тим, що вирішення завдань керування польотом літака і навігації з будь-яким ступенем їхньої автоматизації зазначених процесів неможливо без участі людини як елемента складної функціональної системи.

Постановка завдання

Наведений аналіз визначає постановку завдання – дослідити динамічні характеристики пілота як ланки системи, його психофізіологічні можливості своєчасно приймати найбільш важливі для даної польотної ситуації рішення, необхідні для своєчасного запобігання розвитку АП у польоті.

Аналіз характеристик пілота як динамічної ланки керування повітряним судном

Для аналізу характеристик пілота як ланки динамічної системи "літак – пілот – середовище – особлива ситуація" будемо використовувати замкнену систему керування (рис. 1).



Рис. 1. Структура системи керування літаком:
СВІ – система відображення інформації

До структурної схеми системи керування літаком належать:

- система відображення інформації;
- органи керування рулем висоти, рулем напрямку та елеронами;
- вхідні та вихідні параметри, які характеризують політ (кут крену, курсу, тангажа, атаки, їх кутові швидкості змінювання).

Аналізуючи рис. 1, бачимо, що в замкненій системі ручного й штурвального керування пілот виконує функцію керуючої ланки літака.

Ця функція складається із трьох взаємозалежних фаз, що повторюються:

- сприйняття й аналізу потоку інформації;
- процесу вироблення, прийняття рішення;
- видачі керуючих впливів шляхом механічного переміщення командних важелів керування.

Спрощена схема моделі пілота як динамічна ланка системи (рис. 2) складена з трьох, пов'язаних між собою елементів [2; 9]:



Рис. 2. Модель пілота як динамічної ланки системи

– органів сприйняття, за допомогою яких пілот фіксує інформацію;

– центральної нервової системи, в якій відбувається сприйняття інформації, її аналіз і вироблення керуючих рішень;

– рухових органів, що реалізують керуючі імпульси центральної нервової системи.

Як керуюча ланка системи “літак – пілот – середовище – особлива ситуація” пілот володіє рядом властивостей, які істотно впливають на процес керування літаком. Найбільш важливими з них є:

– здатність слідкувати за інформацією, що надходить тільки з певною частотою (не вище 3 Гц), тобто має певну смугу пропускання;

– реагування тільки на такі зовнішні сигнали, величина яких вище порога сприйняття його органами почуттів, тобто наявність певної зони нечутливості;

– запізнювання відповідної реакції на сигнали зовнішньої інформації, що сприймаються органами почуттів;

– дискретний характер відповідної реакції пілота на сприйняття органами почуттів безперервних збурювань, що монотонно змінюються за величиною;

– здатність до логічної фільтрації зовнішніх сигналів, які сприймають органи почуттів, тобто до послідовного усунення неузгодженостей за якимось одним параметром, що відповідає одноканальному підсилювачу;

– уміння дозувати керуючі впливи залежно від величини, частоти й полярності сигналів, що надходять ззовні – це властиво ланці з виборчим зворотним зв'язком щодо керування впливом;

– реагування не тільки на відхилення параметра від заданої величини, але й на їхні похідні й інтеграл від відхилення параметра, що властиво диференціюючій та інтегруючій ланкам;

– здатність підсилювати при необхідності величину керуючого впливу для компенсації запізнювання своєї реакції, що притаманно форсуючій ланці;

– уміння пристосовуватися через певний час до умов, що змінилися, тобто адаптація.

Аналіз праць [4; 5] показав, що динамічні характеристики пілота з урахуванням зазначених властивостей описуються нелінійними, дискретними й нестационарними моделями. Однак, вирішуючи різні завдання, використовують більш прості в практичному застосуванні моделі опису динамічних властивостей пілота – передавальні функції.

Модель операторської діяльності пілота під час виконання сенсомоторного спостереження може бути подана передавальною функцією [10; 11]:

$$W(p) = e^{-\tau_1 p} \frac{k_1 (T_1 p + 1)}{T_2 p + 1} \frac{k_2}{T_3 p + 1}, \quad (1)$$

де τ_1 – час запізнювання реакції нервової системи пілота; p – оператор диференціювання; k_1 – коефіцієнт підсилення пілота; T_1 – стала часу попередження, що виробляється оператором на основі попереднього досвіду; T_2 – стала часу, запізнювання реакції пілота; T_3 – стала часу, що характеризує динаміку роботи нервово-м'язової системи; k_2 – коефіцієнт підсилення нервово-м'язової ланки.

Передавальну функцію пілота (1) зображено у вигляді структурної схеми (рис. 3), що містить три послідовно з'єднаних функціональних ланки:

- підсилювальної із запізнюванням 1;
- підсилювальної з фільтруючими та форсуючими властивостями 2;
- інерційної 3.

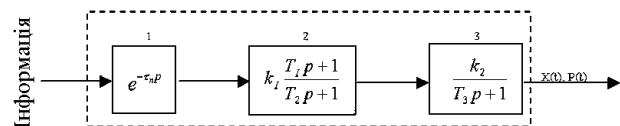


Рис. 3. Структурна схема передавальної функції:

1 – підсилювальна ланка з запізнюванням; 2 – підсилювальна ланка з фільтруючими та форсуючими властивостями; 3 – інерційна ланка

Як показав аналіз проведених досліджень, час запізнювання τ_1 залежить від частоти інформаційного сигналу, кваліфікації, рівня тренуваності й фізіологічного стану пілота.

Для пілота з досить високим рівнем тренуваності час запізнювання τ_1 залежно від частоти інформаційного сигналу знаходиться в межах 0,15–0,25 с.

Інерційність реакції пілота, зумовлена необхідністю попереднього “опрацювання” інформації для своєчасного прийняття рішення, а також прагнення пілота компенсувати свою інерційність створенням відповідних сигналів, що форсують, яке також залежить від ступеня тренуваності.

Третя складова відображає здатність центральної нервової системи пілота, що володіє властивістю самонастроювальної коригувальної ланки, параметри якої більшою мірою залежать від умов польоту й динамічних властивостей літака.

Аналіз праць [8; 12; 13] показує, що у пілота з високими професійними навиками та рівнем тренуваності, сталі часу ланки, що форсує, T_1 і аперіодичної ланки T_2 порівняно за абсолютною величиною й не перевищують 1 с.

Вплив рухів пілота на важелі керування під час реалізації керуючих сигналів, сформованих центральною нервовою системою, апроксимується інерційною ланкою першого порядку – третій співмножник у передавальній функції (1). При цьому стала часу нервово-м'язової реакції пілота T_3 змінюється в досить широких межах (від 0,1 до 0,7 с і більше) і залежить від рівня тренуваності. Для кваліфікованого пілота з високим рівнем тренуваності за відсутності збурюючих впливів (для штатних режимів пілотування) є можливість повністю компенсувати вплив своєї інерційності, забезпечуючи рівність $T_1=T_2$.

У цьому випадку передавальна функція пілота (1) спрощується й набуває вигляду:

$$W(p) = k_1 \frac{a^{-\tau_1 \delta}}{\delta + 1}, \quad (2)$$

де коефіцієнт $k_n = k_1 k_2$.

Передавальна функція (2) є послідовним з'єднанням підсилювальної, інерційної та ланки з запізнюванням.

Отже, аналіз лінійних моделей пілота показав, що загалом він виконує функції фільтра нижніх частот з деяким запізнюванням, яке можна скоротити за рахунок систематичних тренувань.

У границях обмеженої ширини смуги частот вхідного сигналу вихідний сигнал оператора пропорційний його вхідному сигналу, але має деяке запізнювання за часом:

$$W(p) = \frac{k_1}{\delta + 1}.$$

Передавальна функція $W(p)$ пілота (1), як показує аналіз праць [1; 2; 10; 11], різна для різних об'єктів керування та різних видів вхідного сигналу.

У табл. 1, 2 наведені варіанти передавальних функцій людини-оператора [10; 11].

Таблиця 1

Передавальні функції людини-оператора, адекватні властивостям об'єкта керування

| $W_n(p)$ | $W_o(p)$ | $W_n(p)$ | $W_o(p)$ |
|-----------------------------------|-----------|---------------------------------|----------------------------|
| $\frac{k_n e^{-\tau_1 p}}{T_n p}$ | k_o | $k_n (T_n p + 1) e^{-\tau_1 p}$ | k_o / p |
| $k_n e^{-\tau_1 p}$ | k_o / p | $k_n (T_n p + 1) e^{-\tau_1 p}$ | $\frac{k_o}{p(T_o p + 1)}$ |

Аналіз даних, наведених у табл. 1, 2, показує, що передавальна функція $W_n(p)$, що описує модель сенсомоторної діяльності пілота, функціонально залежить від властивостей об'єкта керування, які можуть різко змінюватися в умовах виникнення особливої ситуації, та від властивостей сигналу $u(t)$, перетвореного пілотом при сенсомоторному спостереженні, що також змінюються залежно від психофізіологічних властивостей пілота і його рівня тренуваності/

Таблиця 2

Передавальні функції людини-оператора, адекватні виду вхідного сигналу

| $W_n(p)$ | $u(t)$ | $W_n(p)$ | $u(t)$ |
|--|--|---|--------------------------------|
| $\frac{k_n (T_n p + 1) e^{-\tau_1 p}}{p}$ | $1(t)$ | $\frac{T_1 p + 1}{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)} e^{-\tau_1 p}$ | $\sum_{i=0}^k \sin \omega_i t$ |
| $k_1 (k_2 + k_3 p + \frac{k_4}{p}) e^{-\tau_1 p}$ | $\sum_{i=0}^k \sin \omega_i t$ | $\sum_{i=1}^k \frac{(1 - \alpha_i p)^{i-1}}{(1 + \beta_i p)^i}$ | $\sum_{i=0}^k \sin \omega_i t$ |
| $\frac{k e^{-\tau_1 p}}{p^2 + 2\xi \omega_n p + \omega_n^2}$ | $u(t_0) = 0,$ $u(t) = \sum_{i=0}^k \sin \omega_i t$ | $\frac{\omega_e}{p} e^{-\tau_1 p}$ | $\sum_{i=0}^k \sin \omega_i t$ |

Перевагою таких моделей є те, що вихідні сигнали пілота можна розкласти за допомогою ряду Фур'є на послідовність простих сигналів, що дозволить прогнозувати реакцію пілота на складні вхідні сигнали.

У той самий час наведені приклади математичних моделей пілота не відображають процес прийняття рішення, його психологічного стану, можливостей і обмежень на цьому етапі.

Висновок

Розробка математичної моделі пілота, що враховує його психофізіологічні можливості як динамічної ланки системи "літак – пілот – середовище – особлива ситуація" на етапі прийняття рішення дозволить прогнозувати реакцію пілота в нештатних ситуаціях у польоті, а також розробити рекомендації пілоту щодо його дій у подібних ситуаціях, керівникам тренажерних центрів щодо відпрацювання навиків, необхідних для своєчасного прийняття рішення та удосконалення системи підготовки льотного екіпажу з метою підвищення його психологічної стійкості при діях в особливих ситуаціях у польоті.

Література

1. *Бабак В.П.* Безпека авіації. – К.: Техніка, 2004. – 583 с.

2. Буков В.Н. Адаптивные прогнозирующие системы управления полетом. – М.: Наука, 1987. – 232 с.
3. Пономаренко В.А., Лапа В.В. Профессия – летчик. – М.: Воен. изд-во, 1985. – 136 с.
4. Казак В.Н., Казак А.В. Методы учета инженерно-психологических факторов авиационных комплексов // Вісн. КМУЦА. – 1999. – №1. – С. 241–245.
5. Каратетян Г.С., Прокофьев А.И. Предупреждение неблагоприятных событий в полете, обусловленных человеческим фактором. – М.: Транспорт, 1989. – 170 с.
6. Ноздрин В.И. Программа ИКАО дальнейшего исследования человеческого фактора и его влияния на уровень безопасности полетов // Проблемы безопасности полетов. – М.: ВИНТИ, 2003. – №3. – С. 17–21.
7. Полтавец В.А. Обобщение материалов расследования авиационных происшествий самолетов гражданской авиации, анализ и классификация ошибок их экипажей. – Отчет №119-00-III / НИИАО, 2000. – С. 9–13.
8. Скрипец А.В. Основы авиационной инженерной психологии. – К.: НАУ, 2002. – 532 с.
9. Шмаков Ю.И., Семенов В.А. Конструкция и летная эксплуатация самолета Ил-76Т. – М.: Машиностроение, 1981. – 96 с.
10. Зараковский Г.М., Королев Б.А., Медведев В.И., Шлаен П.Я. Введение в эргономику. – М.: Сов. радио, 1974. – 349 с.
11. Зараковский Г.М., Павлов В.В. Закономерности функционирования эргатических систем. – М.: Радио и связь, 1987. – 231 с.
12. Скрипец А.В. Основы авиационной инженерной психологии. – К., 2002. – 551 с.
13. Цибулевский И.Е. Человек как звено следящей системы. – М.: Наука, 1981. – 288 с.

Стаття надійшла до редакції 23.01.06.

Проведен анализ динамических характеристик пилота как звена системы “самолет – пилот – среда – особая ситуация”. Обоснована целесообразность разработки математической модели пилота, которая позволит прогнозировать его реакцию в нештатных ситуациях в полете и разработать рекомендации для руководителей тренажерных центров по выработке навыков у пилота, необходимых для своевременного принятия решения в особых ситуациях в полете.

The analysis of dynamic behavior of pilot as section of system “aircraft – flight pilot – environment – abnormal situation” has been carried out. Moreover the expediency of elaboration of the mathematical model of pilot that enables to forecast pilot response under abnormal situation during flight and to develop recommendations for personnel of flight simulator centers concerning acquisition by pilots of skill required to make decision in abnormal situation during flight has been proved.