

Т.Ф. Шмельова, д.т.н., доц.
О.В. Шостак, аспірант
В.В. Шишаков, здобувач
М.В. Васильєв, студент

МЕТОД ДІАГНОСТИКИ ПОТОЧНОГО ЕМОЦІЙНОГО СТАНУ ПІЛОТА В ПОЛЬОТІ

Національний авіаційний університет, м. Київ, shmelova@ukr.net, helen.shostak.hs@gmail.com

Розглянуто підходи до ідентифікації поточного емоційного стану пілота за допомогою методів дисперсійного аналізу та динамічного моделювання; розроблено метод визначення стійкості ергатичної системи «Пілот – Повітряний корабель» при деформаціях емоційного стану пілота в позаштатних ситуаціях.

Ключові слова: людський фактор, емоційний стан, людина-оператор, моніторинг, моделі, діагностика, відхилення параметрів, стійкість системи.

Постановка задачі

Статистика по авіаційним подіям за останні десятиліття вказує на домінуючу роль впливу людського фактора на загальну кількість авіаційних подій, що становить близько 80% [1; 2]. Згідно з документами, що регламентують льотну експлуатацію і управління повітряним рухом (УПР), остаточне рішення у разі виникнення позаштатних ситуацій приймає командир повітряного корабля (ПК). Але в зв'язку з великою часткою прийняття екіпажем ПК неадекватних рішень, що складає 90% причин авіаційних подій у світі для всіх типів ПК, відповідальність за своєчасні й вірні рекомендації в позаштатних ситуаціях покладено на авіадиспетчера. Для цього диспетчеру важливо володіти оперативною інформацією щодо:

- розвитку позаштатної ситуації;
- поточного емоційного стану людини-оператора (Л-О), що керує ПК;
- кількісної оцінки прогнозу щодо розвитку позаштатної ситуації з урахуванням психофізіологічного стану Л-О, що діє в екстремальних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження в світовій практиці щодо визначення змін в емоційному стані Л-О в авіаційній ергатичній системі (АЕС) проводяться, в основному, за рахунок безпосередніх вимірювань таких фізіологічних характеристик, як пульс, кров'яний тиск, тремор рук, піт, зміни в радужній оболонці ока, тощо, що застосовують відповідну медичну апаратуру, датчики [3]. Такі дослідження фізичного стану Л-О мають практичне значення, але виникають труднощі отримання фактичних замірів емоційного стану Л-О у процесі виконання професійних обов'язків, особливо при виникненні позаштатних ситуацій. Необхідний розвиток досліджень з отримання реальних характеристик емоційного стану Л-О, без втручання в ергономічні умови його операторської діяльності.

Дослідження виконуються в межах концепцій ICAO впровадженням систем CNS/ATM [4]: орієнтована на людину автоматизація; ситуативна обізнаність; контроль за помилками.

Отримана інформація щодо емоційного стану Л-О може бути використана в рамках програм аудитів безпеки польотів LOSA «Line operations Safety Audit» [5], які застосовуються для збору даних про поведінку екіпажів та ситуацій в ході реального польоту [6].

Постановка завдання

Метою даної роботи є розроблення моделей емоційного стану Л-О в польоті і методу діагностики емоційного стану пілота в польоті.

Викладення основного матеріалу

Характер роботи оператора аеронавігаційних систем залежить, зокрема від динамічних властивостей об'єкта керування і всіх ланок, що входять у систему; законів керування, засобів кодування інформації, характеру завдань, поставлених перед оператором: зовнішніх умов керування, і, нарешті, від психофізіологічних властивостей і можливостей оператора.

Найбільш поширеними засобами оцінки стану роботи пілота є параметри пілотування (відхилення елеронів, руля напрямку тощо) та переговори в кабіні екіпажу, тобто, радіообмін між пілотом та диспетчером. Більш доступними є параметри пілотування, які реєструються сучасними засобами. Темп і амплітуда рухів пілота при керуванні ПК, які змінюються з ростом емоційної напруги, є показником його емоційного стану.

Для оперативного визначення відхилень емоційного стану пілота та упередження прийняття ним рішення в умовах ризику застосовувалася концепція психічної діяльності людини, в основу якої покладено властивість свідомості людини затримувати або прискорювати плин суб'єктивного часу відносно реального часу. Деформації емоційного стану визначаються за допомогою апріорних моделей діяльності Л-О, побудованих на основі апостеріорних досліджень фактичного матеріалу розслідування авіаційних подій, отриманих Міжнародним авіаційним комітетом (МАК) [1]. Спонтанне (оптимальне) пілотування характеризується правильністю та своєчасністю дій пілота в особливій ситуації (рис.1). За зростанням емоціонального напруження можливий перехід пілота до потенційно небезпечних видів психічної діяльності: емоційної – із випередженням дій відносно реального часу та розсудливої – із запізненням дій відносно реального часу (рис.2, 3). Для своєчасного розпізнавання небезпечного емоційного стану пілота пропонується застосування методу фазової площини, сутність якого полягає в побудові фазових траєкторій за диференціальними рівняннями в системі координат: відхилення величини, що регулюється, x та швидкості її зміни $y=dx/dt$. Фазові портрети на площині (x – відхилення елерона, y – темп відхилення елерона) показано на рис. 1 – 3. Розрахунок дисперсії отримано за допомогою MS Excel.

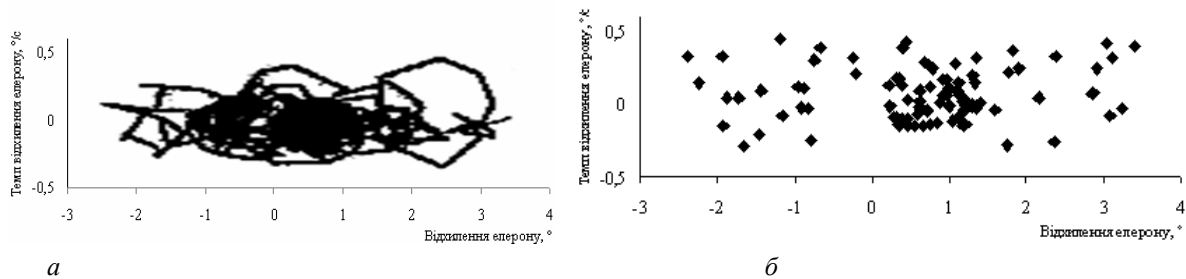


Рис. 1. Фазовий портрет відхилення елеронів (а) і дисперсія D_1 (б) спонтанного типу діяльності людини-оператора АНС

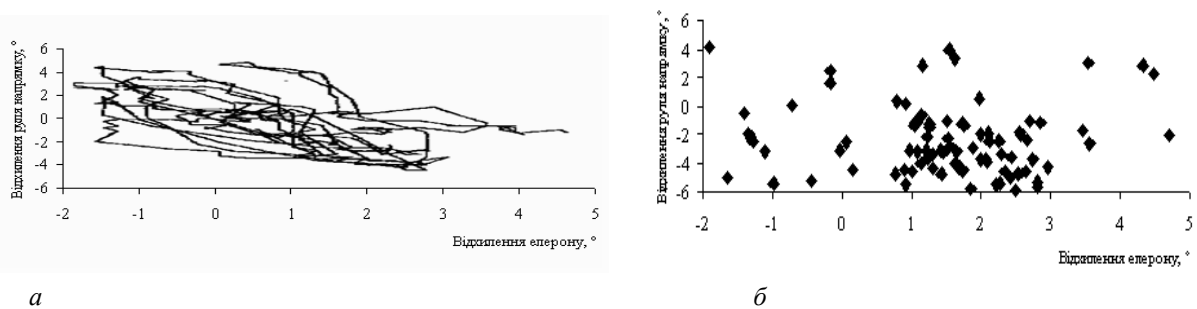


Рис. 2. Фазовий портрет відхилення елеронів (а) і дисперсія D_2 (б) емоційного типу діяльності людини-оператора АНС

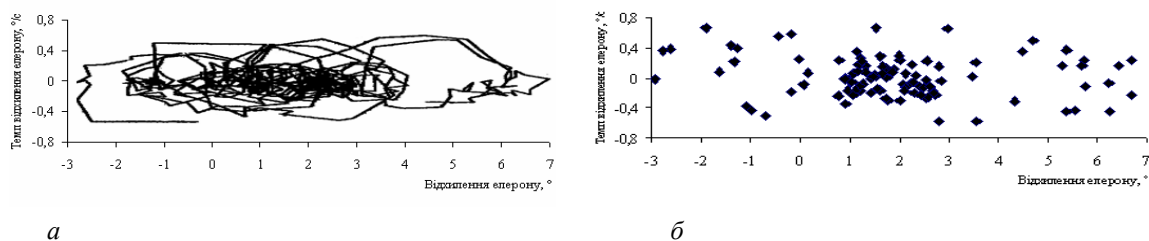


Рис. 3. Фазовий портрет відхилення елеронів (а) і дисперсія D_3 (б) розсудливого типу діяльності людини-оператора АНС

Спонтанне пілотування забезпечується, здебільшого, автоматичними психічними процесами і характеризується безпомилковістю дій пілота у межах попереднього досвіду. При цьому дії пілота синхронізовані в часі з фізичним процесом руху ПК, тобто узгоджені між реальним (фізичним) та суб'єктивним (психічним) перебігом процесів у часі та просторі, або відстають не більш як на дві секунди [1]. Дії пілота в оптимальному (спонтанному), емоційному та розсудливому режимах діяльності визначені фазовими траєкторіями відхилення елеронів і руля напрямку.

Альтернативним методом ідентифікації емоційного стану пілота в екстремальних умовах польоту є дисперсійний аналіз, комплексне застосування якого разом з методом фазової площини забезпечить точність та надійність отриманих результатів. Розроблено методику ідентифікації поточного емоційного стану пілота із застосування методів дисперсійного аналізу за допомогою якого визначаються дисперсії для спонтанного, емоційного та розсудливого типу психічної діяльності [6-7]. Можливі відхилення елеронів моделюються за допомогою генератора випадкових чисел.

Ідентифікація поточного емоційного стану оператора проводиться на основі отриманих методами дисперсійного аналізу моделей спонтанного (оптимального), емоційного та розсудливого типів діяльності Л-О [1]:

- 1) дисперсійний аналіз відносно точки;
- 2) дисперсійний аналіз за умови, що кожна точка вважається випадковим вектором із початком на початку координат і кінцем у певній точці;
- 3) дисперсійний аналіз відносно ділянки, яка являє собою поле, точки всередині якого відповідають емоційному стану пілота.

За допомогою дисперсійного аналізу за фазовими портретами відхилення елеронів отримано математичні моделі спонтанного, емоційного і розсудливого типів діяльності Л-О. Для діагностики емоційного стану Л-О і визначення стійкості ергатичної системи «Пілот – ПК» при деформації емоційного досвіду у разі виникненні позаштатної ситуації в польоті за допомогою годографа Найквіста (із запізненням) розроблено метод діагностики поточного емоційного стану пілота в польоті.

Розглянемо розрахунок дисперсії на прикладі спонтанного типу діяльності. Як методом оцінювання обрано перший метод дисперсійного аналізу - метод знаходження дисперсії відносно точки, сума відстаней від якої до інших точок є мінімальною. Знайдемо центр розподілу випадкової величини як точки, яка характеризує амплітуду та темп рухів пілота (X_0 і Y_0 відповідно) та через яку графік проходить найбільшу кількість разів (точка з координатами (0,61; 0,01)).

Дисперсія випадкової величини X :

$$D_x = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx,$$

де $f(x)$ – щільність розподілу випадкової величини X ; m_x – математичне сподівання випадкової величини X .

Дисперсія дискретної випадкової величини:

$$D_x = M(X^2) - M^2(X),$$

$$M(X^2) = \sum_{i=1}^n X_i^2 p_i,$$

$$M^2(X) = \left(\sum_{i=1}^n X_i p_i \right)^2,$$

де $M(X^2)$ – математичне сподівання квадрата випадкової величини; $M^2(X)$ – квадрат математичного сподівання випадкової величини, p_i – імовірність.

Дисперсія випадкової величини для спонтанного типу:

$$D = \sum_{i=1}^{100} 0,01 X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{100} 0,01 X_i \right)^2;$$

$$D = 0,74.$$

Розраховані межі дисперсії спонтанного, розсудливого та емоційного типів діяльності Л-О АНС показано на рис. 1 б, 2 б, 3 б, наведено в таблиці 1.

Якщо дисперсія приймає значення більше заданих, це вказує на зміни в емоційному стані пілота, що потребує відповідного розгляду.

Таблиця 1

Ідентифікація емоційного стану пілота

Тип діяльності	Центр розподілу випадкової величини		Розрахунок дисперсії випадкової величини			
	X_0	Y_0	$M(d^2)$	$M^2(d)$	D	Межі D при $n = 100$
Спонтанний	0,61	0,01	1,62	0,87	0,74	0,60–0,91
Емоційний	1,31	-1,25	11,87	10,06	1,81	1,41–2,24
Розсудливий	2,11	0,03	4,81	2,67	2,14	1,51–2,32

Другий варіант передбачає розгляд точок на графіках, як проекції випадкових двовірних векторів та їх розподіл на площині.

Густина випадкової величини X :

$$F(x) = \int_{-\infty}^{\infty} dx \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dy = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dy dx$$

Для визначення щільності розподілу однієї координати двовірного випадкового вектора слід знайти інтеграл його щільності за змінною, яка відповідає другій координаті.

Третій спосіб полягає в обчисленні ймовірності потрапляння випадкової точки (X, Y) в область D , що характеризує темп та амплітуду рухів пілота:

$$P(X, Y) \in D = \iint_{(D)} f(x, y) dx dy$$

Своєчасна ідентифікація емоційного стану пілота в екстремальних умовах польоту запобігатиме розвитку ситуації до катастрофічної.

Алгоритм ідентифікації поточного емоційного стану оператора методами дисперсійного аналізу

1. Знаходження центру розподілу випадкової величини як точки з координатами X_0 і Y_0 :

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}; \quad Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i}{n},$$

де X_i, Y_i – координати точок; n – загальна кількість точок.

2. Відстань від знайденої точки до інших точок:

$$d_i = \sqrt{(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2}$$

3. Дисперсія випадкової величини:

$$D = M(d^2) - M^2(d),$$

$$M(d^2) = \sum_{i=1}^{n} d_i^2 \cdot p_i,$$

$$M^2(d) = \left(\sum_{i=1}^{n} d_i \cdot p_i \right)^2,$$

де $M(d^2)$ – математичне очікування квадрату випадкової величини; $M^2(d)$ – квадрат математичного очікування випадкової величини; p_i – ймовірність того, що випадкова величина буде мати саме таке значення.

Знайдені середні значення дисперсії для спонтанного, емоційного та розсудливого типу психічної діяльності: $D_1 = 0,69$, $D_2 = 3,19$, $D_3 = 1,66$ відповідно. Розрахунок дисперсії за допомогою MS Excel на прикладі спонтанного типу діяльності, $D_{i1} = 0,71929502$.

Алгоритм визначення стійкості ергатичної системи «Пілот – ПК»:

1. Амплітудно-фазова характеристика розімкненої системи:

$$W_{\text{раз}}(j\omega) = W_{\text{раз}}^*(j\omega) e^{-\tau j\omega} = A(\omega)e^{j(\phi(\omega) - \omega\tau)} = U(\omega) + jV(\omega)$$

2. Дійсна частина $U(\omega)$:

$$U(\omega) = \frac{-9,625\omega^2}{0,05\omega^6 + 3,25\omega^4 + \omega^2}$$

3. Уявна частина $V(\omega)$:

$$V(\omega) = \frac{1,225\omega^3 - 5\omega}{0,05\omega^6 + 3,25\omega^4 + \omega^2}$$

4. Амплітудно-частотна характеристика розімкненої системи $A(\omega)$:

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}$$

5. Фазочастотна характеристика, $\phi(\omega)$, рад:

$$\phi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)} = -\arctg T\omega$$

6. Фазочастотна характеристика, $\phi(\omega)$, град.: $\phi'(\omega) = -180^\circ - \phi(\omega)$.

7. Запізнення, рад: $\tau\omega = 0,15\omega$, де $\tau = 0,15$ с.

8. Запізнення, град.: $\tau\omega = 0,15\omega$, де $\tau = 0,15$ с.

9. Кут запізнення в полярних координатах:

$$\phi''(\omega), \text{ град.: } \phi''(\omega) = \phi'(\omega) + \tau\omega = -180^\circ - \phi(\omega) + \tau\omega = -180^\circ - \phi(\omega) + 0,15\omega.$$

10. Модуль $\phi''(\omega)$, град.

11. Модуль $\phi''(\omega)$, рад.

12. Дійсна частина годографа Найквіста (із запізненням):

$$U'(\omega) = A(\omega) \cdot \cos|\phi''(\omega)|$$

13. Уявна частина нового годографа (із запізненням):

$$V'(\omega) = A(\omega) \cdot \sin|\phi''(\omega)|$$

14. Годографи Найквіста за типом психічної діяльності для діагностики емоційного стану Л-О і визначення стійкості ергатичної системи «Пілот – ПК» при деформації емоційного досвіду (рис. 5.): спонтанний $K_D(D_1)=0,69$; емоційний $K_D(D_2)=3,19$; розсудливий $K_D(D_3)=1,66$.

Моніторинг поточного емоційного стану Л-О і діагностика деформацій емоційного досвіду у вигляді переходів до небезпечних типів діяльності Л-О (розсудливого чи емоційного) в екстремальних ситуаціях та визначення функціональної стійкості Л-О дозволить своєчасно попередити розвиток польотної ситуації в бік погіршення.

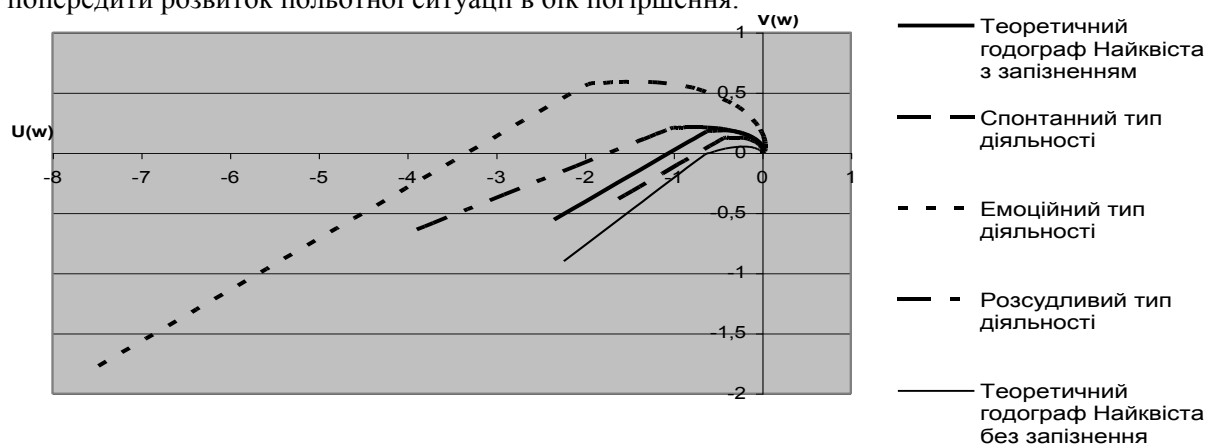


Рис. 5. Годографи Найквіста для діагностики емоційного стану Л-О і визначення стійкості ергатичної системи «Пілот – ПК» при деформації емоційного досвіду

Поточний емоційний стан пілота діагностується методами дисперсійного аналізу на основі отриманих моделей спонтанного (оптимального), емоційного та розсудливого типів діяльності

Л-О. Спонтанний (оптимальний) тип керування ПК та деформації емоційного досвіду пілота, тобто, перехід до небезпечного типу керування (емоційного) наведено на рис.5. Функціональна стійкість Л-О оцінюється за критерієм Найквіста. Для спонтанного (оптимального) типу керування ПК годограф Найквіста не охоплює критичну точку $(-1;j0)$ і система "Л-О – ПК" є стійкою.

Метод діагностики поточного емоційного стану пілота в польоті

1. Визначити поточний емоційний стан j -го пілота в польоті та меж відповідної дисперсії (D_{\min} , D_i , D_{\max}) за типом емоційної діяльності Л-О за допомогою моделей емоційного стану ідентифікації спонтанного, емоційного і розсудливого типів діяльності Л-О (алгоритм 1):
$$D_{\min} \leq D_i \leq D_{\max}$$
2. Діагностика типу оперативної психічної діяльності у разі деформації емоційного стану за допомогою моделей ідентифікації спонтанного, емоційного і розсудливого типів діяльності Л-О і визначення відповідних дисперсій:
$$D_i > D_{\max};$$
$$D_i < D_{\min}.$$
3. Розрахувати стійкість АЕС «Пілот - ПК» за допомогою критерію Найквіста з урахуванням отриманих дисперсій за моделями емоційного стану (алгоритм 2).
4. Індикація результатів діагностики поточного емоційного стану пілота в польоті за допомогою розробленої динамічної панелі дисплея цифрового кодування даних.

Розроблено комп'ютерну програму «Діагностика емоційного стану людини-оператора» для збору даних про роботу екіпажу, аналізу дій Л-О і прогнозування його ергатичної стійкості, що призначена для оперативного визначення деформацій емоційного досвіду пілота [7].

Висновки

Моніторинг поточного емоційного стану Л-О і діагностика деформацій емоційного досвіду у вигляді переходів до небезпечних типів діяльності Л-О (розсудливого чи емоційного) в екстремальних ситуаціях та визначення функціональної стійкості Л-О дозволить своєчасно попередити розвиток польотної ситуації в сторону погіршення. Запропонований метод дозволить своєчасно діагностувати та прогнозувати можливі дії людини-оператора в позаштатних ситуаціях. Розробка може мати суттєвий інтерес для авіакомпаній, які прагнуть досягти високої якості моніторингу за програмою LOSA («Line operations Safety Audit») і пропонуються для використання в рамках програми аудитів безпеки польотів LOSA з метою створення бази даних дій екіпажів в реальних польотах [5]. Також цей метод можна застосовувати під час тренажерної підготовки операторів.

Список літературних джерел

1. Лейченко С. Д. Человеческий фактор в авиации: моногр. / С. Д. Лейченко, А. В. Мальшевский, Н.Ф. Михайлик. – Кировоград: ИМЕКС, 2006. – 512 с.
2. Швець В. А. Анализ состояния аварийности гражданских воздушных судов Украины за период 1998-2007 гг. / В. А. Швець, О. Н. Алексеев. – К.: Госавиаадминистрация, 2008. - 83 с.
3. Человеческий фактор в системах CNS/ATM. Разработка ориентированной на человека автоматики и передовой техники для будущих аэронавигационных систем: сб. материалов по человеческому фактору. – № 11 // Circ. ICAO 249-AN/149. – Канада, Монреаль: ICAO, 1994. – 71с.
4. Эргономика [сборник материалов по человеческому фактору № 6 / cir. ICAO 238-AN/143]. – Канада, Монреаль: ICAO, 1992. – 467 с.
5. Line Operations Safety Audit (LOSA)/ Doc 9803-AN/761. – 1-st Edition. – Canada, Montreal: International Civil Aviation Organization, 2002. – 58 p.
6. Харченко В. П. Графоаналітичні моделі прийняття рішень людиною-оператором аеронавігаційної системи / В. П. Харченко, Т. Ф. Шмельова, Ю. В. Сікірда // Вісник НАУ. – 2011. – №1. – С. 5-17.
7. Харченко В.П. Прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи: монографія / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда. – Кировоград: КЛА НАУ, 2012. – 292 с.