

УДК 656.7.086 (45)

Т.Ф. Шмельова

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

## ДІАГНОСТИКА ЕМОЦІЙНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ-ОПЕРАТОРА В АЕРОНАВІГАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

Розроблені моделі для моніторингу поточного емоційного стану людини-оператора в особливих випадках в польоті. Діагностика деформацій емоційного досвіду у вигляді переходів до небезпечних типів діяльності людини-оператора (розсудливого чи емоційного) в екстремальних ситуаціях та визначення стійкості системи дозволить своєчасно попередити розвиток польотної ситуації в сторону її погіршення. Розроблена комп'ютерна програма "Діагностика емоційного стану людини-оператора" для збору даних про роботу екіпажу, аналізу дій людини-оператора і прогнозування його функціональної стійкості.

**Ключові слова:** людина-оператор, спонтанний, емоційний, розсудливий типи керування повітряним кораблем, стійкість ергатичної системи, критерій Найквіста, дисперсійний аналіз, особливий випадок в польоті.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Статистичні дані про авіаційні події за останні десятиліття вказують на домінуючу роль впливу людського фактора на загальну кількість авіаційних подій, що становить близько 80% [1, 2]. Значна частка авіаційних подій (49%) припадає на свідомі порушення членами екіпажів повітряних кораблів (ПК) льотних законів, правил, інструкцій, процесу передпольотної підготовки (42%) [2]. Традиційні способи, такі, як підвищення рівня професійної підготовки, трудової дисципліни тощо, в цьому випадку практично безсилі, оскільки авіаційний фахівець професійно достатньо підготовлений [3]. Причини більшості авіаційних подій пов'язані з психологією членів екіпажу та потребують відповідного розгляду.

Напрямок роботи визначений розробленням системи оцінювання ефективності прийняття рішень людиною-оператором авіаційної ергатичної системи в неочікуваних умовах експлуатації ПК з урахуванням психофізіологічних якостей пілота та диспетчера. Згідно з документами, що регламентують льотну експлуатацію і управління повітряним рухом, остаточне рішення при виникненні позаштатних ситуацій приймає командир 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 [1], відповідальність за своєчасні й вірні рекомендації в позаштатних ситуаціях покладено на авіадиспетчера. Для цього важливо для диспетчера володіти оперативною інформацією щодо розвитку позаштатної ситуації; поточного емоційного стану людини-оператора (Л-О), що управляє ПК; кількісної оцінки прогнозу щодо розвитку позаштатної ситуації з урахуванням можливостей Л-О, що діє в екстремальних умовах.

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.

Дослідження людського фактора виконуються в межах концепцій ICAO впровадженням систем CNS/ATM [4]:

- орієнтована на людину автоматизація;
- ситуативна обізнаність;
- контроль за помилками.

Отримана інформація щодо емоційного стану людини-оператора (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.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Дослідження професійної діяльності людини є важливою і складною проблемою інженерної психології, ергономіки, психології і фізіології праці. Зростаюча ціна помилок оператора визначає постійну необхідність пошуку шляхів і засобів забезпечення ефективного функціонування людини в подібних системах в нормальних і екстремальних умовах діяльності.

Аналіз літературних джерел показав, що при вирішенні питань безпеки польотів основна увага приділяється підвищенню рівня професійної підготовки Л-О аеронавігаційної системи (АНС) [3], приведенню у відповідність можливостей і обмежень Л-О з технічними характеристиками АНС [6].

Одним з шляхів вдосконалення інформаційного забезпечення Л-О АНС в умовах жорсткого ліміту часу на прийняття рішення (ПР) і його напруженого психофізіологічного стану є використання систем

підтримки прийняття рішень [7]. За допомогою комп'ютерних систем інформаційної підтримки, Л-О має можливість використовувати дані, знання, об'єктивні й суб'єктивні моделі для аналізу і розв'язання слабо структурованих і неструктурованих проблем [8, 9].

Одним з основних факторів в аваріях і катастрофах, що сталися внаслідок людської помилки, є відсутність операційного розуміння ситуації [10]. Операційне розуміння ситуації – життєво важливий елемент діяльності людини, де велика інтенсивність інформаційного потоку, а невірне рішення може призвести до тяжких наслідків.

Моделі поведінкової діяльності людини-оператора Ендслі "Situational Awareness» (операційне поняття ситуації) та групи людей «Team Situational Awareness" [10] дають цілісне розуміння ситуації та можливість людині-оператору цілеспрямовано й ефективно діяти в критичних ситуаціях.

Для діагностики емоційного стану Л-О застосовувались апостеріорні дані, отримані вченими Санкт-Петербурзького державного університету цивільної авіації М.Ф. Михайликом, О.В. Малишевським при аналізі фактичного матеріалу Міжнародного авіаційного комітету з розслідування авіаційних подій [1].

**Мета роботи.** Завданнями статті є:

- побудова поточних моделей емоційного стану Л-О в реальному польоті та визначення стійкості ергатичної системи "Л-О-ПК" при відповідних деформаціях емоційного досвіду;
- розробка комп'ютерної програми "Діагностика емоційного стану людини-оператора" для програмного комплексу оцінювання психофізіологічних властивостей людини-оператора.

### **Ідентифікація поточного емоційного стану пілота та визначення стійкості системи "Л-О-ПК" при деформаціях емоційного стану людини-оператора**

Для визначення поточного емоційного стану пілота в умовах розвитку польотних ситуацій застосовувалася концепція психічної діяльності людини, в основу якої покладена відома властивість свідомості людини затримувати або прискорювати течію суб'єктивного часу відносно реального часу. Існує три типи емоційної діяльності людини-оператора:

- спонтанний (оптимальний);
- емоційний;
- розсудливий.

Дії пілота в оптимальному (спонтанному), емоційному та розсудливому режимах діяльності визначені фазовими траєкторіями відхилення елеронів і руля напрямку [1]. Спонтанне (оптимальне) пілотування характеризується правильністю та своєчасністю дій пілота в екстремальній ситуації. При рості емоціональної напруги виникає деформація емоційного досвіду і 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. 1 – 3).

За допомогою методів дисперсійного аналізу (дисперсійний аналіз відносно точки; дисперсійний аналіз за умови, що кожна точка вважається випадковим вектором із початком у початку координат і кінцем у даній точці; дисперсійний аналіз відносно ділянки, яка являє собою поле, точки всередині якого відповідають емоційному стану пілота) визначені межі дисперсій для спонтанного, емоційного та розсудливого типу психічної діяльності:  $D_1 = 0,60-0,91$ ,  $D_2 = 1,41-2,24$ ,  $D_3 = 1,51-2,32$  відповідно [10].

Для визначення стійкості ергатичної системи „Диспетчер-Пілот-ПК” розроблена функціональна схема, визначені диференціальні рівняння, що характеризують динамічні властивості елементів системи [11] та визначена стійкість системи за критерієм Найквіста при відповідних деформаціях емоційного досвіду. На рис. 4 розрахункові годографи Найквіста для діагностики емоційного стану Л-О і визначення стійкості ергатичної системи "Диспетчер – Пілот – ПК" при деформаціях емоційного досвіду від оптимального (спонтанного) до розсудливого чи емоційного типу діяльності. При виникненні емоційної напруги можливе нестійкий стан системи в цілому (емоційний та розсудливий типи діяльності Л-О на рис. 4).

Передаточна функція розімкненої ергатичної системи "Диспетчер – Пілот – ПК" визначається за формулою (1):

$$W_{\text{раз}}(p) = W_{\text{оп}}(p)W_{\text{ПК}}(p)W_{\text{пд}}(p) = \frac{K_{\text{оп}}K_{\text{ПК}}K_{\text{пд}}e^{-\tau p}}{(T_{\text{оп}}p + 1)(T_{\text{ПК}}p + 1)p}, \quad (1)$$

де  $W_{\text{оп}}$ ,  $W_{\text{ПК}}$ ,  $W_{\text{пд}}$  – передавальні функції Л-О, ПК, пристрою діагностики відповідно;  $K_{\text{оп}}$ ,  $\tau$ ,  $T_{\text{оп}}$ ,  $K_{\text{ПК}}$ ,  $T_{\text{ПК}}$ ,  $K_{\text{пд}} = f(D)$  – коефіцієнти.

Годографи Найквіста побудовані за формулою (2) (амплітудно-фазочастотні характеристики розімкненої системи при  $K_{\text{пд}} = \text{var}$ ):

$$W_{\text{раз}}(j\omega) = \frac{-9,625\omega^2}{0,05\omega^6 + 3,25\omega^4 + \omega^2} K_{\text{пд}} + j \frac{1,225\omega^3 - 5\omega}{0,05\omega^6 + 3,25\omega^4 + \omega^2} K_{\text{пд}} = U(\omega) + jV(\omega), \quad (2)$$

де  $K_{\text{пд}}$  – коефіцієнт, що залежить від емоційного стану Л-О:

- спонтанний  $K_{\text{пд}}(D_1) = 0,69$ ;
- емоційний  $K_{\text{пд}}(D_2) = 3,19$ ;
- розсудливий  $K_{\text{пд}}(D_3) = 1,66$ ;

$U(\omega)$  – дійсна частина годографу;  $V(\omega)$  – уявна частина годографу.

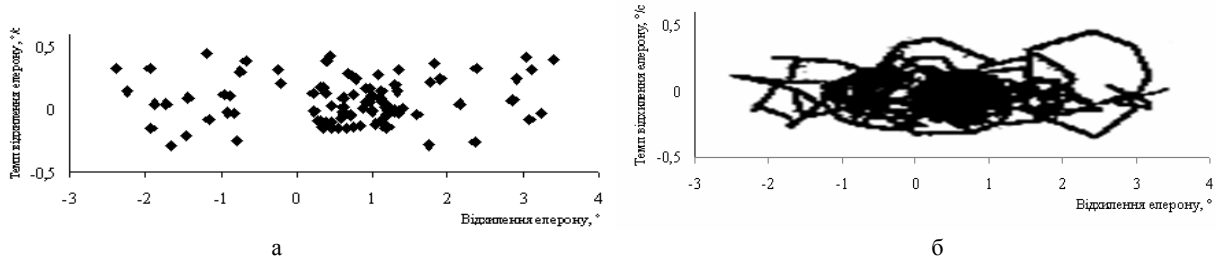


Рис. 1. Фазовий портрет відхилення елеронів (а) і модель (б) спонтанного типу діяльності Л-О

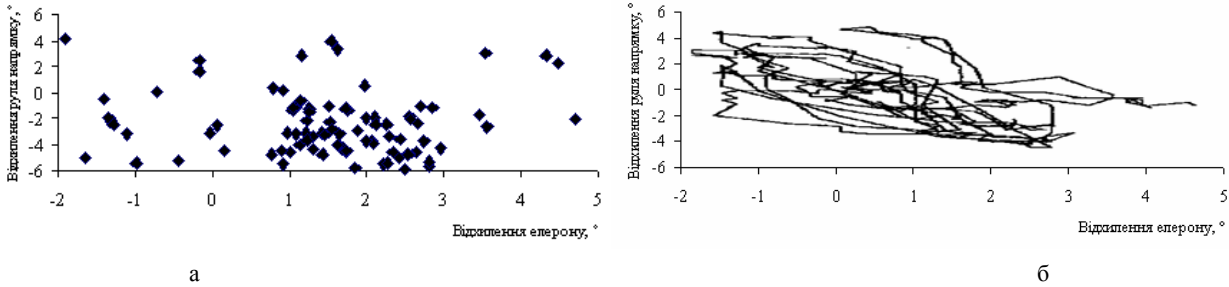


Рис. 2. Фазовий портрет відхилення елеронів (а) і модель (б) емоційного типу діяльності Л-О

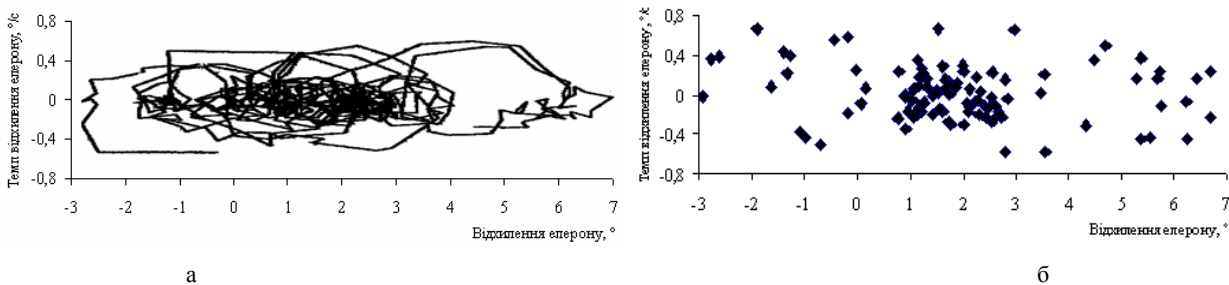


Рис. 3. Фазовий портрет відхилення елеронів (а) і модель (б) розсудливого типу діяльності Л-О

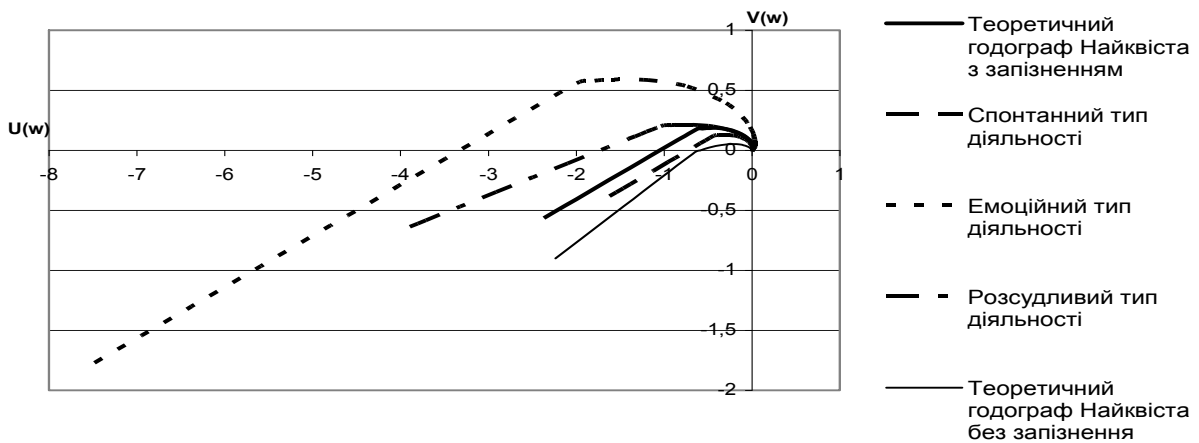


Рис. 4. Годографи Найквіста для діагностики емоційного стану Л-О і визначення стійкості ергатичної системи "Диспетчер – Пілот – ПК" при деформації емоційного досвіду

Дії пілота в оптимальному (спонтанному), емоційному та розсудливому режимах діяльності в реальному часі визначені фазовими траєкторіями відхилень елеронів і руля напрямку, отриманих за допомогою засобів об'єктивного контролю.

### Комп'ютерна програма "Діагностика емоційного стану людини-оператора"

Комп'ютерна програма "Діагностика емоційного стану людини-оператора" розроблена для діагно-

стичного модуля, який входить до програмного комплексу оцінювання психофізіологічних властивостей людини-оператора. Діагностичний модуль призначений для оперативного визначення деформацій емоційного досвіду пілота та випередження прийняття ним рішення в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації повітряного корабля. Особливе значення має моніторинг емоційного стану людини-оператора в процесі діяльності в особливих випадках в польоті. Програмний комплекс оцінювання

психофізіологічних властивостей людини-оператора за допомогою комп'ютерної програми «Діагностика емоційного стану людини-оператора» дозволяє:

- диференціювати та визначити поточний емоційний стан людини-оператора за амплітудою та темпом відхилення елеронів і руля напрямку;
  - діагностувати спонтанне (оптимальне) пілотування, яке характеризується правильністю та своєчасністю дій пілота;
  - здійснювати моніторинг дій людини-оператора, діагностувати ріст емоційної напруги при виникненні позаштатної ситуації шляхом визначення деформацій емоційного досвіду пілота, тобто, переходу до потенційно небезпечних видів психічної діяльності: емоційної з випередженням дій відносно реального часу; розсудливої з запізненням дій відносно реального часу.
  - визначати стійкість системи "Л-О – ПК" та оцінювати функціональну стійкість людини-оператора.
- База даних емоційного стану Л-О містить інформацію про поточний емоційний стан пілота, норма-

тивні моделі емоційного стану Л-О і його психофізіологічні характеристики, а також відповідні характеристики польотних ситуацій (нормальної, ускладненої, складної, аварійної, катастрофічної) [11].

Блок результатів діагностики містить інформацію про поточний емоційний стан Л-О, зміни в емоційному стані Л-О та прогноз функціональної стійкості Л-О.

Для діагностики емоційного досвіду Л-О в навчальній програмі замість координат реальних рухів елеронів і руля напрямку застосовується генератор випадкових чисел.

Автоматизований модуль розроблений за допомогою інтегрованого середовища розробки Borland Delphi 7 з використанням мови програмування Object Pascal.

На рис. 5 наводиться визначення спонтанного типу діяльності Л-О, який характеризується правильністю та своєчасністю дій пілота в особливій ситуації.

Оцінка функціональної стійкості Л-О визначається за критерієм Найквіста (рис. 6).

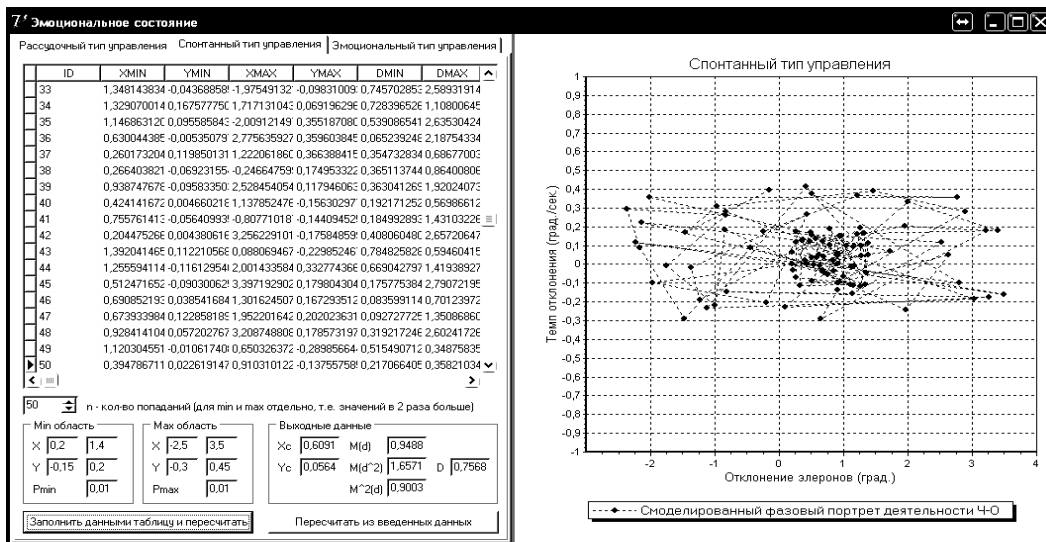


Рис. 5. Діагностика спонтанного (оптимального) досвіду Л-О

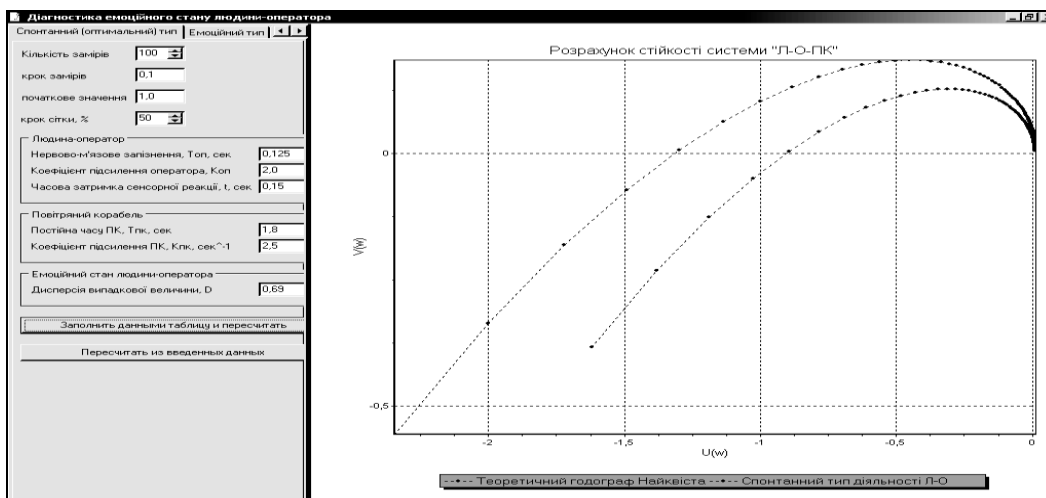


Рис. 6. Розрахунок стійкості системи "Л-О-ПК" для спонтанного (оптимального) типу керування ПК

## 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.

Комп'ютерна програма «Діагностика емоційного стану людини-оператора» призначена для збору даних про роботу екіпажу, аналізу дій людини-оператора і прогнозування його функціональної стійкості. Отримана інформація може бути використана в рамках програми аудитів безпеки польотів LOSA «Line operations Safety Audit» з метою створення бази даних дій екіпажів в реальних польотах.

Розробка може мати суттєвий інтерес для авіакомпаній, які прагнуть досягти високої якості моніторингу за програмою LOSA.

## Список літератури

1. Лейченко С.Д. Человеческий фактор в авиации: моногр. / С.Д. Лейченко, А.В. Мальшевский, Н.Ф. Михайлик. – Кировоград: ИМЕКС, 2006. – 512 с.
2. Швец В.А. Анализ состояния аварийности гражданских воздушных судов Украины за период 1998-2007 гг. / В.А. Швец, О.Н. Алексеев. – К.: Госавиаадминистрация, 2008. □– 83 с.
3. Макаров Р.Н. Психологические основы методики летного обучения / Р.Н. Макаров, Н.А. Нидзий, Ж.К. Шишкин. – М.: МАПЧАК, 2000. – 534 с.
4. Человеческий фактор в системах CNS/ATM. Разработка ориентированной на человека автоматики и передовой техники для будущих аэронавигационных систем: сб. материалов по человеческому фактору // Circ. ICAO 249-AN/149. – Канада, Монреаль: ICAO, 1994. – № 11. – 71 с.

5. Кросскультурные факторы и безопасность полетов: сб. материалов по человеческому фактору // Circ. ICAO 302-AN/175. – Канада, Монреаль: ICAO, 2004. – № 16 – 52 с.

6. Эргономика [сборник материалов по человеческому фактору / Circ. ICAO 238-AN/143]. – Канада, Монреаль: ICAO, 1992. – № 6. – 467 с.

7. Интеллектуальні системи підтримки прийняття рішень: навч. пос. / Б.М. Герасимов, В.М. Локазюк, О.Г. Оксіюк, О.В. Поморова. – К.: Вид-во Європейського університету, 2007. – 335 с.

8. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений / Э.А. Трахтенгерц. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 376 с.

9. Сироджа И.Б. Принятие решений в управлении знаниями средствами инженерии квантов знаний / И.Б. Сироджа // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – № 2 (346). – С. 161-171.

10. Endsley M.R. Designing for situation awareness: An approach to user-centered design / M.R. Endsley, B. Bolte, D.G. Jones. – London: Taylor & Francis, 2003. – 112 p.

11. Харченко В.П. Графоаналитичні моделі прийняття рішень людиною-оператором аеронавігаційної системи / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // Вісник НАУ. – 2011. – № 1. – С. 5-17.

12. Kharchenko V.P. Methodology for Analysis of Decision Making in Air Navigation System / V.P. Kharchenko, T.F. Shmelova, Y.V. Sikirda // Proceedings of the National Aviation University. – 2011. – № 3. – P. 85-94.

13. Шмельова Т.Ф. Аналіз розвитку польотних ситуацій в авіаційній соціотехнічній системі / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – X., 2011. – Вип. 2 (28). – С. 59-64.

Надійшла до редколегії 24.01.2012

**Рецензент:** д-р фіз.-мат. наук, проф. В.Ф. Гамалій, Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград.

## ДИАГНОСТИКА ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА В АЭРОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Т.Ф. Шмельова

Разработаны модели для мониторинга текущего эмоционального состояния человека-оператора в особых случаях в полете. Своевременная диагностика деформаций эмоционального состояния человека-оператора (пилота) в виде переходов к опасным типам управления (рассудочному или эмоциональному) в экстремальных ситуациях и определение устойчивости системы позволит предупредить развитие полетной ситуации в сторону ее ухудшения. Разработана компьютерная программа «Диагностика эмоционального состояния человека-оператора» для сбора данных о работе экипажа, анализа действий человека-оператора и прогнозирования его функциональной устойчивости.

**Ключевые слова:** человек-оператор, спонтанный, эмоциональный, рассудочный типы управления воздушным кораблем, устойчивость эргатических системы, критерий Найквиста, дисперсионный анализ, особый случай в полете.

## DIAGNOSIS OF THE EMOTIONAL STATE OF THE HUMAN OPERATOR IN AIR NAVIGATION SYSTEM

T.F. Shmelova

Models have been developed for monitor the current emotional state of a human operator, in flight emergencies. Diagnostic changes in emotional state and the transition to a dangerous condition of the human-operator (pilot), will promptly inform about deterioration of flight. The computer program "Diagnosis of the emotional state of the human operator" for the data collecting on the crew, for the analysis of human operator actions and predict his functional stability.

**Keywords:** human operator, spontaneous, emotional, delayed action types of human operator, sustainability of ergatic system, the Nyquist criterion, analysis of variance, flight emergencies.