

УДК 007.51:613.093(045)

С.Т. Поліщук, к.т.н., доц.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ ЛЮДИНОЮ-ОПЕРАТОРОМ ЗА КРИТЕРІЄМ ЛІМІТУ ЧАСУ

Визначено ймовірнісний показник оцінювання кібернетичних можливостей людини-оператора за критерієм ліміту часу виконання завдання. Наведено методику використання даного показника під час тестування пілотів на тренажері.

The probabilistic characteristic for estimation of human-operator cybernetic performance capabilities with the help of time limit criteria is determined. The method for used of this characteristic during of pilot testing on the simulator is proposed.

ергатична система, ймовірність виконання завдання, кібернетичні характеристики, ліміт часу, людина-оператор

Вступ

У різних напрямках діяльності людини, і в першу чергу в авіації та космонавтиці, впроваджуються найсучасніші наукові досягнення, в тому числі й інформаційні, які спрямовано на підвищення ефективності керування у складних системах. Присутність у контурі керування людини як кібернетичної ланки оптимізації процесу керування часто знижує надійність та безпеку системи і належить до так званої проблеми людського чинника [1].

Важливість людського чинника зафіксовано і у нормативних документах ІКАО, в яких стверджується, що одне з завдань врахування людського чинника під час забезпечення безпеки цивільної авіації полягає у створенні системи авіаційної безпеки, яка є стійкою до наслідків помилок людини.

Узагальнити ступінь розуміння впливу людини на небезпеку технологічних процесів можна висновком, зробленим в праці [2]. За останні десятиліття самі суттєві, з точки зору безпеки та вигоди у сфері цивільної авіації та інших областях людської діяльності, були отримані за рахунок інвестицій у людський чинник. Виходячи з малої ймовірності того, що людина-оператор (ЛЮ) зникне з майбутніх систем авіаційної безпеки, потрібен системний підхід до аспектів людського чинника у цій області.

Аналіз досліджень і публікацій

Аналіз причин виникнення техногенних аварій та катастроф показує, що у багатьох випадках людський чинник відіграє вирішальну роль. За даними служби національної безпеки на транспорті США – 70 % авіаційних катастроф ідентифікуються як помилка пілота.

Загалом кількість аварій та катастроф на авіаційному транспорті в світі у 2006 р. становило 27, кількість загиблих людей – 888 [3].

Прикладом впливу лікаря-оператора на ефективність керування складним технологічним процесом є системи медичного призначення. Дослідження, проведені у гемодіалітичних відділеннях Києва у 2000 – 2004 рр., показали, що ефективність керування апаратами «штучна нирка» за критерієм мінімально припустимого гемодіалітичного індексу дози становить не більше (20 – 25) % [4].

Найбільш загострено проблема людського чинника та його вплив на ефективність керування складною системою стоїть у пілотованій космонавтиці. Останні дослідження показали, що використання традиційних методів моніторингу фізіологічного та психологічного стану космонавтів під час міжпланетних пілотованих польотів можуть не давати достатньої інформації для достовірного прогнозування ймовірності виконання завдання [5].

У загальному випадку будь-яка система керування формально може бути подана як:

$$y_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_j, z_1, z_2, \dots, z_k, t),$$

$$i, j, k = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

де

y_i – вихідні змінні;

x_j – вхідні змінні;

z_k – збурення;

t – час.

Структурну схему системи керування згідно з виразом (1) показано на рис. 1 [6].

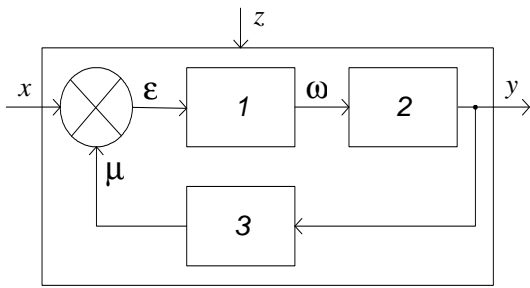


Рис. 1. Загальне зображення системи керування зі зворотним зв'язком:
1 – прилад керування;
2 – об'єкт керування;
3 – прилад зворотного зв'язку

Залежно від відхилення параметрів виходу y від заданих прилад зворотного зв'язку 3 формує сигнал неузгодженості $\epsilon = f(x, \mu)$, який змінює параметри вектора керування ω для можливості досягнення максимального значення цільової функції.

Обов'язковою умовою нормального функціонування такої системи є обмеження за вхідними змінними та збуреннями:

$$x_{j_{\min}} \leq x_j \leq x_{j_{\max}}, \quad (2)$$

$$z_{k_{\min}} \leq z_k \leq z_{k_{\max}}. \quad (3)$$

У випадку ергатичної системи (ЕС) [7], яку можна визначити як особливий клас великих систем, що являють собою сукупність біологічних та технічних компонентів, зв'язаних між собою в єдиному контурі керування, вираз (1) має вигляд

$$y_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_j, z_1, z_2, \dots, z_k, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n), \quad (4)$$

де

α_i – змінні, які характеризують кібернетичні можливості (швидкість приймання, обробки та створення керуючих впливів) ЛО.

На рис. 2 показано структурну схему ЕС, що працює в автоматизованому режимі [див. рівняння (4)], тобто частину функцій покладено на ЛО з метою оптимізації процесу керування, а частина функцій керування підтримується технічними засобами в автоматичному режимі.

Теоретичні аспекти аналізу та синтезу класичної системи керування [див. рівняння (1) – (3)] сьогодні детально опрацьовані.

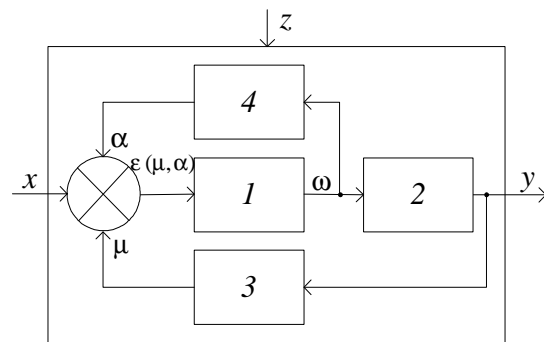


Рис. 2. Система у режимі автоматизованого керування:
1 – прилад керування;
2 – об'єкт керування;
3 – прилад зворотного зв'язку;
4 – людина-оператор

Питання узгодженості динамічних характеристик системи і середньостатистичних кібернетичних ЛО за концепцією (1) – (4) на етапах її проектування також ураховується ергономікою, інженерною фізіологією, інженерною психологією. Але для прогнозування поведінки ЕС у реальному часі її експлуатації необхідно мати інформацію про поточний стан кібернетичних можливостей ЛО, оскільки вказаний підхід це не забезпечує.

Значення кібернетичних параметрів ЛО в часі може суттєво відрізнитися від його середньостатистичних характеристик. Відхилення кібернетичних параметрів ЛО може обумовлюватись медичними, соціальними, економічними факторами, що підвищує ймовірність тимчасової неузгодженості параметрів стану системи. Відсутність параметрів стану ЛО в реальному часі не дає можливості попередити виникнення неузгодженості параметрів стану всієї системи, що може бути основною причиною виникнення аварій та катастроф, які пов'язують з людським чинником.

Постановка завдання

Для усунення вказаного недоліку у праці [8] запропоновано створення ЕС з контуром оцінювання параметрів стану ЛО у реальному часі. Формально структурну схему такої системи можна подати рівнянням (4) з уточненням того, що параметри ЛО структуруються за п'ятьма взаємозалежними інформаційними рівнями Θ :

$$y_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_j, z_1, z_2, \dots, z_k, \Theta, t), \quad (5)$$

$$\Theta \in \{\alpha_0 \cup \alpha_1 \cup \alpha_2 \cup \alpha_3 \cup \alpha_4\}, \quad (6)$$

де

α_0 – кібернетичний рівень;

α_1 – рівень загального функціонування органів і систем;

α_2 – рівень психічної адекватності;

α_3 – рівень метаболічного статусу;

α_4 – рівень імунної резистивності.

Одним з найважливіших завдань під час синтезу системи [див. рівняння (5) – (6)] є визначення критеріїв оцінювання параметрів ЛО кожного рівня рис. 3.

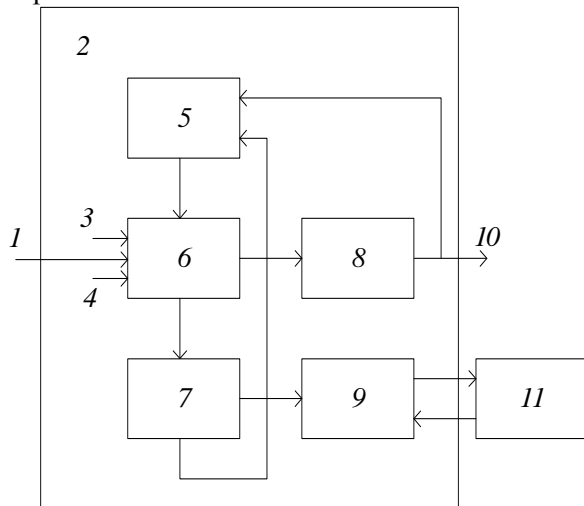


Рис.3. Система керування з контуром оцінювання та прогнозування стану ЛО:

1 – вхід системи;

2 – система керування;

3 – цільова функція;

4 – дестабілізуючі фактори;

5 – прилад відображення та прогнозування;

6 – ЛО;

7 – вимірювач стану фізіологічних параметрів;

8 – прилад керування;

9 – прилад зв'язку;

10 – вихід системи;

11 – група медичного забезпечення

У роботі обґрунтовано вибір критерію оцінювання параметрів ЛО рівня α_0 та наведено методику його використання для прогнозування можливості виконання завдання ЛО під час тренажерного тестування.

Визначення критерію оцінювання параметрів людино-оператора рівня α_0

Для описання керувальної діяльності ЛО в ЕС позначимо такі параметри:

– час t ;

– параметри стану \bar{a} ;

– вхідні впливи \bar{x} ;

– керуючі впливи \bar{v} ;

– біологічні параметри \bar{b} .

Керування в ЕС може здійснюватись такими способами.

Якщо керування формується на основі цільової функції, тобто $v(t) = F_{a_{\text{зад}}} [a_{\text{зад}}(t)]$,

де

$F_{a_{\text{зад}}}$ – деякий довільний оператор;

$a_{\text{зад}}(t)$ – задане значення керуючого параметра, то таке керування буде програмним.

Якщо керування формується залежно від збурення

$$v(t) = F_x[x(t)],$$

де

F_x – деякий довільний оператору;

$x(t)$ – випадкове збурення, що діє на об'єкт керування,

то воно буде керуванням за збуренням (або інваріантним керуванням).

Керування буде за неузгодженістю, якщо воно формується на основі неузгодженості поточного і заданого значень параметрів стану

$$v(t) = F_{\Delta a}[\Delta a(t)],$$

де

$F_{\Delta a}$ – оператор формування керування по Δa .

Як бачимо в усіх існуючих теоретичних підходів до описання керуючої діяльності ЛО присутній час. Тобто незалежно від виду і цільової функції керування динамічні характеристики усієї системи пов'язані кібернетичними характеристиками ЛО.

Отже, пов'язати час керувального впливу ЛО можна з кібернетичним рівнем α_0 рівняння (6).

Таким чином, за інтегральний показник оцінювання кібернетичних можливостей ЛО рівня α_0 виберемо критерій своєчасності виконання завдання за час $t \leq t_L$, де t_L – плановий ліміт часу виконання завдання. Перевищення значення планового ліміту часу t_L розглядається як можливість виникнення аварійної ситуації за рахунок неузгодженості динамічних характеристик компонентів системи. Імовірність перевищення ліміту часу $F_{\text{ер}}$ визначимо через інтегральну функцію розподілу часу:

$$F_{\text{ер}} = p\{t \leq t_L\} = \int_0^{t_L} f(t) dt,$$

де $f(t)$ – щільність імовірності розподілу часу вирішення завдання ЛО.

Методика прогнозування виконання завдання на авіаційному тренажері

На авіаційному тренажі відпрацьовують завдання усунення позаштатної ситуації, що може виникати під час польоту.

Нормативними документами визначено алгоритм дії пілота для усунення позаштатної ситуації та максимально можливий час його виконання $t_L \leq 8$ с.

Методика тренування складається з таких етапів:

- проведення n випробувань виконання завдання;
- фіксування часу виконання n_i -го завдання;
- визначення густини ймовірності розподілу часу виконання завдання для n випробувань;
- розрахунку математичного сподівання та середньоквадратичне відхилення густини ймовірності;
- розрахунку ймовірності виконання завдання. Підготовка ЛО вважається закінченою, якщо ймовірність виконання завдання (тобто не перевищення встановленого ліміту часу) становить не менше за 0,75.

На рис. 4 і в таблиці подано графічні дані та розрахунки ймовірності виконання завдання пілотом під час тестування на тренажері.

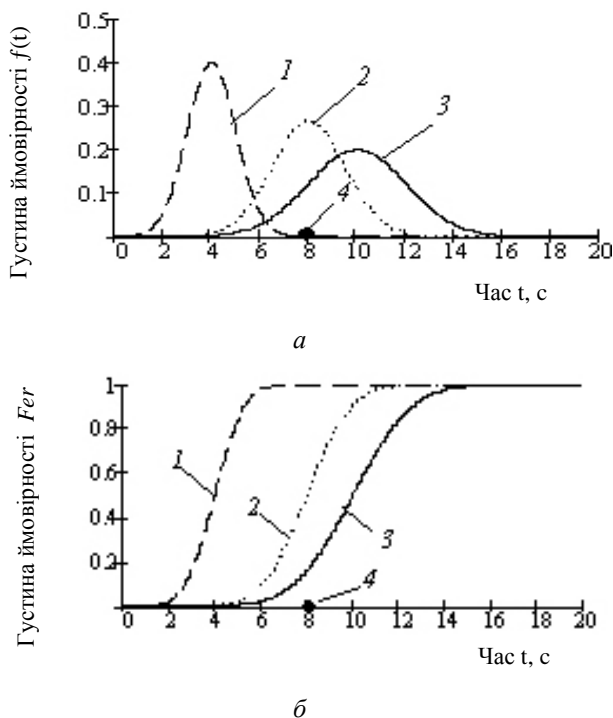


Рис. 4. Щільність (а) та функція (б) розподілу часу трьох етапів тренування:

- 1 – 3-й етап;
- 2 – 2-й етап;
- 3 – 1-й етап;
- 4 – ліміт часу

Номер етапу тренування	Математичне сподівання μ , с	Середньоквадратичне відхилення σ , с	Ймовірність виконання завдання
1	10	2,0	0,16
2	8	1,5	0,50
3	4	1,0	0,95

Висновки

Визначено, що однією з важливих причин виникнення аварійних ситуацій в автоматизованих системах є відсутність інформації в контурі керування про поточний стан кібернетичних можливостей ЛО, що не дає можливості провести упереджувальні впливи для узгодження динамічних характеристик системи керування в цілому. Обґрунтовано можливість використання критерію ліміту часу на виконання завдання для прогнозування кібернетичних можливостей ЛО.

Доведено технічну можливість реалізувати методику прогнозування ймовірності виконання завдання під час тестування ЛО на авіаційному тренажері.

Література

1. *Безпека авіації* / В.П. Бабака, В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін.; за ред. В. П. Бабака.– К.: Техніка, 2004. – 584 с.
2. *Человеческий фактор* в системе мер безопасности гражданской авиации (Doc 9808 AN/765).– ICAO, 2002.
3. *Ranter H. Airline Accident Statistics 2006.*– <http://aviation-safety.net>.
4. *Поліщук С.Т.* Інформаційні засоби підвищення ефективності керування у біотехнічній гемодіалізній системі: дис. канд. техн. наук: 05.13.06 / С.Т. Поліщук. – К., 2004.–168 с.
5. *Поляков В.В.* Метаболические исследования в 438-суточном полете / В.В. Поляков, В.Б. Носков // *Авиакосмическая и экологическая медицина.* – 2005. – Т. 39, № 3. – С. 9 – 13.
6. *Шибанов Г.П.* Количественная оценка деятельности человека в системах человек – техника / Г.П. Шибанов. – М.: Машиностроение, 1983. – 263 с.
7. *Пат. №31879 Україна*, МКІ G05B 13/00. Ергатична система з контуром стабілізації параметрів стану біологічної складової / С.Т. Поліщук, В.М. Азарсков, І.Ф. Бойко; Опубл. 25.04.2008, Бюл. № 8.
8. *Пат. №33933 Україна*, МКІ A61M 1/14. Спосіб структурно-інформаційного представлення гомеостазу біологічної системи / С.Т. Поліщук, В.М. Азарсков, А.В. Коломоєць, Д.Д. Іванов; Опубл. 25.07. 2008, Бюл. № 14.

Стаття надійшла до редакції 07.09.09.