

УДК 656.7.086

Т.Ф. Шмельова<sup>1</sup>, Ю.В. Сікірда<sup>2</sup>, Т.Р. Джафарзаде<sup>3</sup><sup>1</sup> Національний авіаційний університет, Київ<sup>2</sup> Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград<sup>3</sup> Національна академія авіації, Баку

## МОДЕЛІ РОЗВИТКУ ПОЛЬОТНОЇ СИТУАЦІЇ ПРИ ПРИЙНЯТТІ РІШЕННЯ ЛЮДИНОЮ-ОПЕРАТОРОМ АЕРОНАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

*Розглянуто детерміновані та стохастичні моделі прийняття рішень людиною-оператором аеронавігаційної системи і моделі розвитку польотної ситуації. Розроблена методика моделювання марковського процесу розвитку польотної ситуації для стаціонарних процесів прийняття рішень. Відповідно до теорії рефлексії отримані сценарії розвитку польотної ситуації при виборі оператором позитивного або негативного полюсу. Визначені передумови виникнення катастрофічної ситуації в соціотехнічній аеронавігаційній системі.*

**Ключові слова:** соціотехнічна аеронавігаційна система, людина-оператор, польотна ситуація, прийняття рішень, мережеве планування, мережі GERT, марківські мережі, теорія рефлексії, модель катастрофи.

### Вступ

**Постановка проблеми.** У складі єдиної транспортної системи України важливе місце належить авіаційному транспорту. Необхідною складовою авіаційного транспорту є аеронавігаційна система (АНС), призначена для високоефективного забезпечення виконання польотів.

Сучасна АНС представляє собою складну людино-машинну систему, яка завдяки використанню спеціальних технічних засобів забезпечує організацію повітряного руху безпечним, регулярним та ефективним аеронавігаційним обслуговуванням. Виконання цих вимог при різній інтенсивності та щільності польотів, несприятливих погодних умовах, при можливих відмовах засобів аеронавігації і впливі людського фактору є складною задачею, вирішенням якої займаються вчені й авіаційні фахівці на протязі всієї історії авіації. Але питання оцінки, аналізу, прогнозування та підвищення ефективності функціонування АНС, не зважаючи на роботи багатьох авторів, вимагають подальших досліджень, особливо в умовах розвитку процесів інформаційної, соціальної і технологічної інтеграції в суспільстві.

АНС за принципами функціонування можна віднести до соціотехнічних систем, в яких відбувається тісна взаємодія між людиною та технологічними компонентами [1]. Особливістю соціотехнічних систем є наявність небезпечних видів діяльності та застосування високих технологій у виробництві. Чим більше людина-оператор (Л-О) намагається за допомогою високих технологій контролювати виробничий процес, особливо за допомогою віддаленого керування, тим більш непрозорим стає результат діяльності системи, що супроводжується високим ступенем ризику виникнення катастрофічних наслідків [2].

Великомасштабні, високотехнологічні системи, такі, як ядерна енергетика та авіація, були названі соціально-технічними системами, оскільки вони вимагають складних взаємодій між їх людськими та технологічними компонентами [1]. Більшість досліджень пов'язана з забезпеченням безпеки в атомній енергетиці та хімічній промисловості [3, 4]. В АНС забезпечення безпеки досить актуальне для попередження загроз на оперативному рівні, наприклад, при поломці технічного обладнання або помилці експлуатаційного персоналу [5]. Забезпечення безпеки польотів за допомогою високотехнологічних процесів в АНС, насамперед, залежить від надійності людини-оператора та його своєчасних професійних рішень.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Статистичні дані вказують, що людські помилки складають до 80% причин всіх авіаційних подій [6]. Існуючі підходи до контролю окремих аспектів (психологічного, поведінкового, ергономічного, професійного тощо) не враховують функціонального стану Л-О в умовах динамічної зміни зовнішніх та внутрішніх факторів [7]. Навколишні умови визначають реакцію Л-О, а його реакція, у свою чергу, змінює умови навколишнього середовища.

Представлення АНС як соціотехнічної системи, насамперед, дозволяє врахувати вплив соціального культурного середовища людей, що приймають рішення. Культура оточує людей і впливає на цінності, переконання і поведінку, яку вони поділяють з іншими членами різних соціальних груп. Культура пов'язує членів групи, впливає на поведінку людини-оператора в звичайних і незвичайних ситуаціях. Психолог Хофстед припускає, що культура є «колективне програмування розуму» [1]. Тобто, фатальні помилки можуть бути зроблені нормальним, здоровим, кваліфікованим, мотивованим і добре оснащеним персоналом [1, 8]. Російськими вченими остан-

нім часом нерідко застосовується термін «відхилення за совістю» при розгляданні причин авіаційних подій через недостатній розвиток у особи, що приймає рішення, відповідних культурних цінностей [6].

Одним з можливих підходів до рішення цих проблем є формалізація і математичний опис діяльності операторів АНС як складної соціотехнічної системи на основі системного аналізу. Урахування впливу на прийняття рішення (ПР) Л-О АНС окрім професійних факторів (знання, навички, вміння, досвід) факторів непрофесійного характеру (індивідуально-психологічних, психофізіологічних та соціально-психологічних) [9, 10, 11], дозволяє прогнозувати дії Л-О на основі моделювання передбачення «великомасштабних» наслідків індивідуальних дій [1] за допомогою теорії рефлексії [12].

Системний підхід вимагає розгляду всіх взаємозв'язків різних компонентів авіаційної системи, визнаючи, що зміни в одній області можуть вплинути на іншу (можливо, непередбачену) область [1, 2].

**Мета роботи.** Завданнями статті є:

- класифікація та розробка моделей прийняття рішень людиною-оператором аеронавігаційної системи в особливих випадках в польоті;
- розробка моделей розвитку польотної ситуації при прийнятті рішень людиною-оператором у разі виникнення особливого випадку в польоті;
- розробка методики моделювання марківського процесу розвитку польотної ситуації;
- визначення передумов виникнення катастрофічної ситуації в соціотехнічній аеронавігаційній системі.

### Класифікація моделей ПР Л-О АНС

Розроблено методику аналізу і моделювання ПР Л-О в разі виникнення особливого випадку в польоті (ОВП), складних метеумов, потенційно-конфліктних ситуацій і методологію розвитку польотної ситуації відповідно до ПР Л-О АНС при виникненні ОВП [9, 10, 11]. Класифікація моделей ПР Л-О АНС в ОВП наводиться на рис. 1.

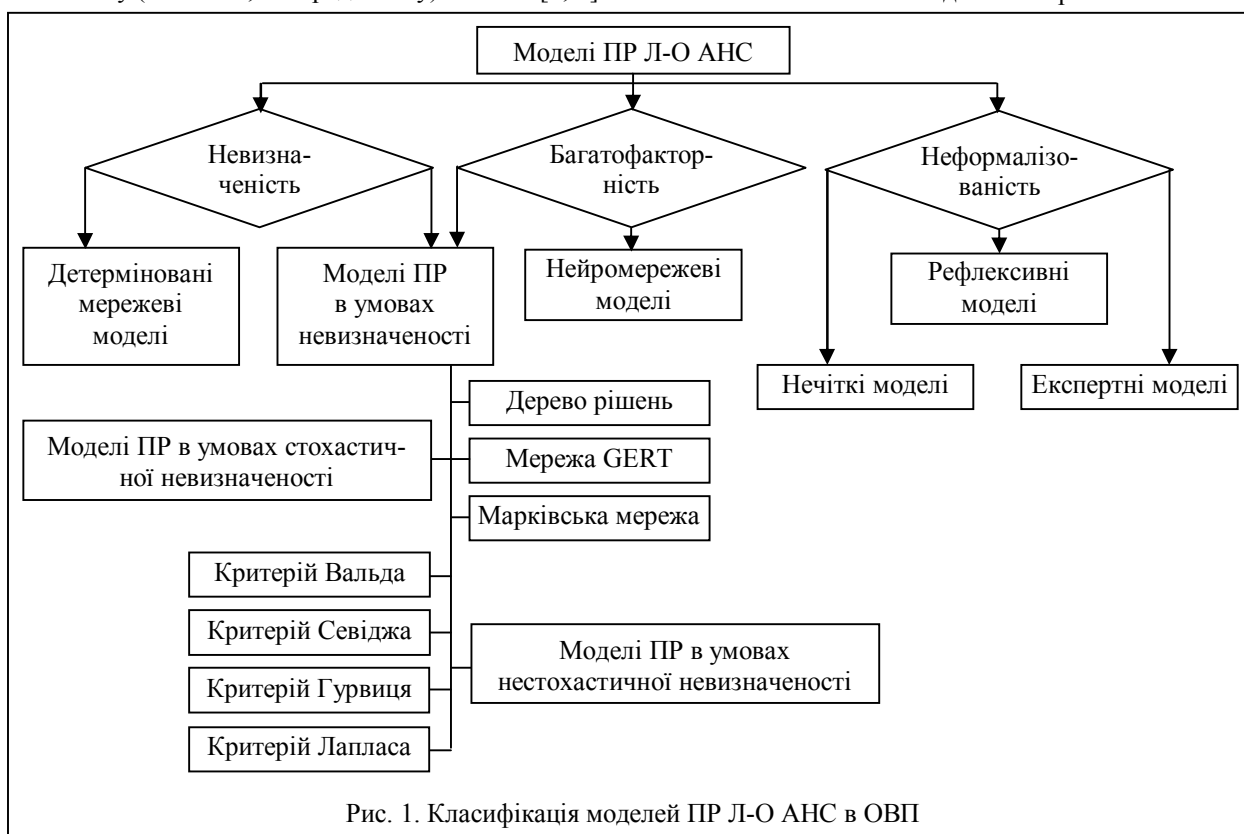


Рис. 1. Класифікація моделей ПР Л-О АНС в ОВП

Розроблені моделі застосовуються в автоматизованій системі підготовки передпольотної інформації для ПР на виліт, в системі підтримки прийняття рішень авіадиспетчера для оцінювання ефективності потенційних альтернатив завершення польоту, для допуску студентів до навчання в системі передтренажерної підготовки, для діагностики помилкових дій авіадиспетчера в процесі навчання та професійної діяльності у критичних і аварійних польотних ситуаціях, які вимагають від оператора прийняття оперативних рішень в умовах багатофакторності вибору тощо.

### Детерміновані моделі ПР Л-О АНС

Для дослідження системи «людина-оператор – повітряний корабель – середовище» (Л-О – ПК – С) представимо її у вигляді динамічної моделі, яка включає технічну частину (ПК), авіаційний персонал (пілот, диспетчер, Л-О) і середовище (С), що взаємодіють між собою за відповідними алгоритмами і технологіями (Т) [15]. До середовища відносяться як фактори, що впливають на ПК (наприклад, метеумови), так і фактори, що впливають на Л-О,

який приймає рішення. Технології та алгоритми ПР строго регламентовані відповідними нормативами – керівництвом з льотної експлуатації, технологією роботи диспетчера тощо.

За допомогою методів мережевого планування розроблено детерміновані моделі ПР Л-О АНС (пі-

лотом, диспетчером) в умовах нормованих алгоритмів професійної діяльності. На основі наведеної структурно-часової таблиці технології роботи диспетчера в ОВП (табл. 1) побудовано узагальнений мережевий графік виконання ним операційних процедур [11, 13, 14].

Таблиця 1

Узагальнена структурно-часова таблиця технології роботи диспетчера в ОВП

№ з/п	Зміст роботи	Позначення роботи	Множина робіт	Спирається на роботу	Час виконання роботи
1	Отримання інформації від екіпажа ПК про ОВП	$A_1$	$\{a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}\}$	–	$\{t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1n}\}$
2	Підтвердження отримання інформації від екіпажа ПК про ОВП	$A_2$	$\{a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2n}\}$	$A_1$	$\{t_{21}, t_{22}, \dots, t_{2n}\}$
3	Передача інформації відповідним службам	$A_3$	$\{a_{31}, a_{32}, \dots, a_{3n}\}$	$A_1 \cap A_2$	$\{t_{31}, t_{32}, \dots, t_{3n}\}$
4	Отримання рішення командира ПК	$A_4$	$\{a_{41}, a_{42}, \dots, a_{4n}\}$	$A_1 \cup A_2 \cup A_3$	$\{t_{41}, t_{42}, \dots, t_{4n}\}$
5	Забезпечення умов безпечного завершення польоту	$A_5$	$\{a_{51}, a_{52}, \dots, a_{5n}\}$	$A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap A_4$	$\{t_{51}, t_{52}, \dots, t_{5n}\}$
6	Отримання інформації від екіпажа ПК про результат посадки	$A_6$	$\{a_{61}, a_{62}, \dots, a_{6n}\}$	$A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap A_4 \cap A_5$	$\{t_{61}, t_{62}, \dots, t_{6n}\}$

Моделювання ПР авіадиспетчером та побудова детермінованої моделі у вигляді мережевого графіка здійснені відповідно до затверджених технологій роботи фахівця з обслуговування повітряного руху (ОПР) з використанням принципів ASSIST (Acknowledge, Separate, Silence, Inform, Support, Time) за «Типовими картами дій фахівців ОПР в аварійних та непередбачуваних ситуаціях». При виникненні аварійних ситуацій або непередбачуваних обставин фахівцям з ОПР для надання максимальної

допомоги екіпажу ПК, яке зазнає лиха, та отримання необхідної важливої інформації для її подальшої передачі аварійно-рятувальним службам, слід як можна точніше дотримуватися відповідної технології. Аналогічні детерміновані моделі отримані у відповідності з алгоритмом дій екіпажу ПК в ОВП для двох- і багатодвигунного ПК [14]. Критичний час на виконання операцій екіпажем ПК і диспетчером у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «продовжити зліт») [13, 14] наводиться в табл. 2.

Таблиця 2

Мережевий аналіз ПР ЕПК і авіадиспетчером при виникненні ОВП за допомогою детермінованої моделі

Мережевий графік	Час на виконання операцій	$T_{кр}$ , с
Мережевий графік дій екіпажу ПК у випадку відмови двигуна на зльоті (екіпажем ПК ПР «продовжити зліт»)	Максимальний час на виконання операцій	94
	Середній час на виконання операцій	71
	Мінімальний час на виконання операцій	55
Мережевий графік дій диспетчера у випадку відмови двигуна на зльоті (екіпажем ПК ПР «продовжити зліт»)	Максимальний час на виконання операцій	51
	Середній час на виконання операцій	44
	Мінімальний час на виконання операцій	36

Розробка детермінованих моделей ПР Л-О з детермінованим та імовірнісним часом на виконання операційних процедур (дій) дозволяє визначити критичний час  $T_{кр}$  на парировання ОВП ( $T_{сер}$ ,  $T_{мін}$ ,  $T_{макс}$ ).

### Стохастичні моделі ПР Л-О АНС і розвитку польотної ситуації

Для дослідження закономірностей діяльності Л-О з урахуванням впливу зовнішнього середовища розроблені стохастичні моделі ПР Л-О і розвитку польотної ситуації.

Для формалізації поведінки Л-О АНС в польотній ситуації зручними є моделі, що представляють

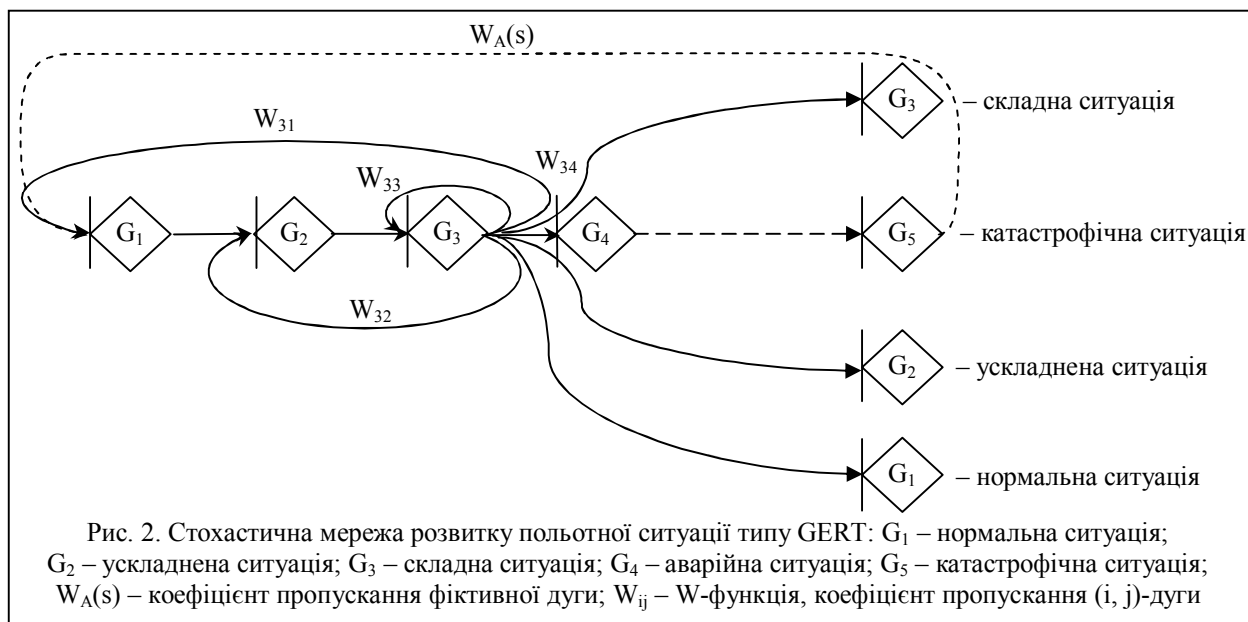
процес появи окремих передумов і розвитку їх у причинний ланцюг подій у вигляді відповідних діаграм причинно-наслідкових зв'язків. Найбільше поширення одержали діаграми у формі різних графів (або потокових станів і переходів), а також функціональних мереж стохастичної структури [9 – 11, 15 – 16]. Існують декілька різновидів діаграм впливу типа дерево: дерево наслідків; дерево подій; дерево розвитку ситуацій; дерево рішень тощо.

При моделюванні умов розвитку польотної ситуації доцільно використовувати орієнтовані графи, які характеризуються певним набором станів АНС та можливими переходами між ними. Зміна стану

польотної ситуації від менш небезпечної до більш небезпечної за відсутності парирування відмов з боку техніки, людини, середовища, і, відповідно, зміна станів від складніших до менш складним за умови парирування відмов, описуються множиною ймовірностей [15 – 16].

Можливі переходи польотної ситуації в бік покращення чи погіршення залежить від дії умов оточуючого середовища, а також від факторів, що впливають на Л-О при ПР. Для формалізації поведінкової діяльності Л-О АНС в позаштатних ситуаціях та моделювання відповідного розвитку польотної ситуації

зручними також є моделі у вигляді стохастичної мережі типу GERT (Graphical Evaluation and Review Technique – «Метод графічної оцінки й аналізу»), які дозволяють моделювати розвиток польотної ситуації в бік ускладнення і навпаки. GERT є альтернативним імовірнісним методом мережевого планування, що застосовується у випадках організації діяльності, коли наступні дії можуть починатися після завершення тільки деякого числа з попередніх дій, тому допускає наявність циклів і петель [10 – 11, 15 – 16]. На рис. 2 представлений загальний вигляд стохастичної мережі розвитку польотної ситуації типу GERT.



Розроблений алгоритм застосування системи GERT для стохастичного мережевого аналізу розвитку польотної ситуації від нормальної до катастрофічної і навпаки [10 – 11, 15 – 16], за допомогою якого визначаються наступні параметри: математичне очікування часу  $t_{ij}$  розвитку ситуації; дисперсія часу  $t_{ij}$  розвитку ситуації; ймовірність  $p_{ij}$  розвитку до однієї з польотних ситуацій при виникненні ОВП.

Крім перехідних ймовірностей розвитку польотної ситуації  $p_{ij}$  визначені ймовірності виникнення станів польотної ситуації (нормальної  $p(G_1)$ , ускладненої  $p(G_2)$ , складної  $p(G_3)$ , аварійної  $p(G_4)$ , катастрофічної  $p(G_5)$ ) [10 – 11, 15 – 16].

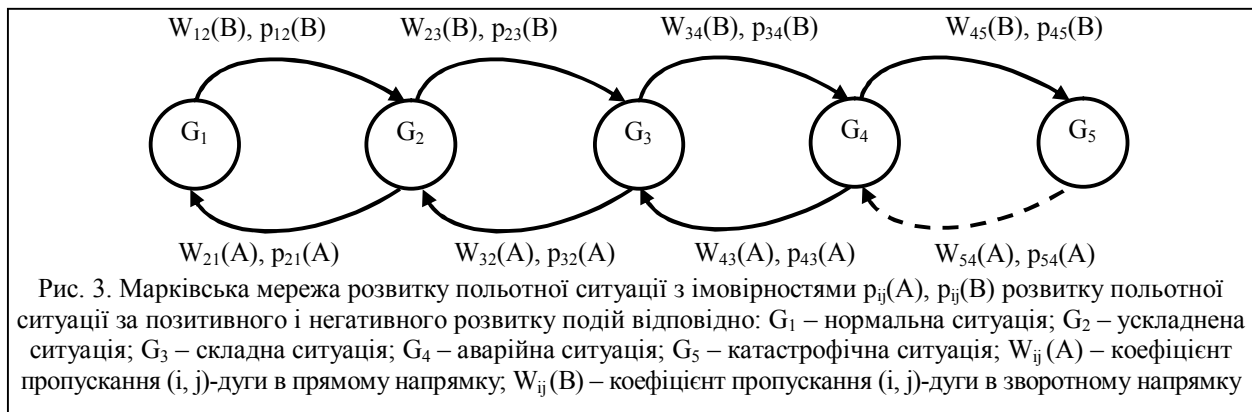
Представимо перехід від однієї польотної ситуації до іншої у вигляді марківського процесу загибелі і розмноження. Марківські процеси загибелі і розмноження знаходять широке застосування в поясненні різних процесів, що відбуваються в біосфері, екосистемі, теорії масового обслуговування тощо. Даний тип марківських процесів отримав свою назву саме внаслідок широкого застосування в біології, зокрема, для моделювання загибелі й розмноження осіб різних популяцій [17].

Щоб визначити ймовірності стану системи в будь-який моменту часу, скористалися математич-

ними моделями марківських процесів з безперервним часом (безперервних марківських процесів).

Якщо два безперервні ланцюги Марківської мережі мають однакові графи станів і розрізняються лише значеннями інтенсивностей, то можна знайти граничні ймовірності станів для кожного з графів окремо. Марківська безперервна мережа називається «процесом загибелі і розмноження», якщо її граф станів має вигляд, представлений на рис. 3, тобто, коли всі стани можна витягнути в один ланцюжок, в якому кожний з середніх станів ( $G_2, G_3, G_4$ ) пов'язаний у прямому і зворотному напрямку з кожним із сусідніх станів, а крайні стани ( $G_1, G_5$ ) – тільки з одним сусіднім станом.

Однорідний марківський процес розвитку польотної ситуації з безперервним часом  $t_{ij}$  можна трактувати як процес зміни станів  $G_1$  (нормальна ситуація);  $G_2$  (ускладнена ситуація);  $G_3$  (складна ситуація);  $G_4$  (аварійна ситуація);  $G_5$  (катастрофічна ситуація) під впливом деякого потоку подій – факторів оточуючого середовища. Тобто, щільність ймовірності переходу можна трактувати як інтенсивність потоку подій, що переводять систему з  $i$ -го в  $j$ -й стан – вплив факторів зовнішнього середовища, факторів, що впливають на ПР Л-О професійного і непрофесійного характеру.



## Методика моделювання марківського процесу розвитку польотної ситуації

Розроблена методика моделювання марковського процесу розвитку польотної ситуації з безперервним часом  $t_{ij}$ :

- Визначити стани системи:
  - $G_1$  (нормальна ситуація);
  - $G_2$  (ускладнена ситуація);
  - $G_3$  (складна ситуація);
  - $G_4$  (аварійна ситуація);
  - $G_5$  (катастрофічна ситуація).
- Визначити коефіцієнти інтенсивності (пропускання)  $(i, j)$ -дуги в прямому і зворотному напрямках:
  - $W_{ij}(A)$  – коефіцієнт інтенсивності (пропускання)  $(i, j)$ -дуги в прямому напрямку;
  - $W_{ij}(B)$  – коефіцієнт інтенсивності (пропускання)  $(i, j)$ -дуги в зворотному напрямку.
- Побудувати граф розвитку польотної ситуації.
- Укласти систему диференціальних рівнянь Колмогорова (1):

$$\frac{dp_1(t)}{dt} = \sum_{i=1}^v (-1)^k W_{ij}(p_{ij}), \quad (1)$$

де  $W_{ij} = f(p_{ij})$  – коефіцієнт інтенсивності (пропускання)  $(i, j)$ -дуги;  $k=0$  – дуга входить в даний стан;  $k=1$  – дуга виходить з даного стану;  $v$  – кількість дуг, що входять в стан (чи виходять з нього).

- Визначити початкові умови і вирішити систему диференціальних рівнянь. Складемо систему диференціальних рівнянь для марківського процесу розвитку польотної ситуації, що на рис. 3:

$$\begin{aligned} \frac{dp_1(t)}{dt} &= W_{21}(p_{21}) - W_{12}(p_{12}); \\ \frac{dp_2(t)}{dt} &= W_{32}(p_{32}) - W_{23}(p_{23}); \\ \frac{dp_3(t)}{dt} &= W_{43}(p_{43}) - W_{34}(p_{34}); \\ \frac{dp_4(t)}{dt} &= W_{54}(p_{54}) - W_{45}(p_{45}) - W_{45}(p_{45}); \\ \frac{dp_5(t)}{dt} &= W_{45}(p_{45}); \quad \sum_1^5 p_i(t) = 1. \end{aligned}$$

- Визначити граничні ймовірності польотної ситуації (рис. 3):

– у бік парирування польотної ситуації (2):

$$p_{ij}(B) = p_{ij}(A) \cdot \prod_{\{G_i\}} W_{ij}(B) / \prod_{\{G_j\}} W_{ij}(A); \quad (2)$$

– у бік погіршення польотної ситуації (3):

$$p_{ij}(A) = p_{ij}(B) \cdot \prod_{\{G_i\}} W_{ij}(A) / \prod_{\{G_j\}} W_{ij}(B). \quad (3)$$

Система розвитку польотної ситуації на рис. 3 описується нестационарними процесами. Це значить, що якщо система потрапить в стан  $G_5$ , то вона не зможе перейти в інший будь-який стан. Тому для проведення розрахунків в систему введено фіктивну дугу (5-4) з параметрами  $W_{54}(A)$ ,  $p_{54}(A)$ .

## Сценарії розвитку польотної ситуації

Позитивний (негативний) розвиток польотної ситуації залежить як від дії зовнішнього середовища (небезпечні метеоявища, складні метеоумови тощо), так і від прийняття рішень Л-О АНС, яка має характерні особистісні якості. Врахування впливу на ПР Л-О індивідуально-психологічних, психофізіологічних та соціально-психологічних факторів непрофесійного характеру, дозволяє прогнозувати його дії в ОВП, моделювати можливий розвиток польотної ситуації [9, 11]. За допомогою теорії рефлексії [7] отримані моделі поведінкової діяльності Л-О в польотних ситуаціях (штатних і позаштатних) – рефлексивні моделі біполярного вибору в сторону позитивного чи негативного полюсу. Модель представляє собою суб'єкта (Л-О), що перебуває перед вибором однієї з альтернатив: А (позитивний полюс) і В (негативний полюс) під тиском зовнішнього середовища, попереднього досвіду Л-О, вольового вибору (інтенції) Л-О.

Згідно з теорією рефлексії вибір Л-О АНС описується функцією (4):

$$X = f(x_1, x_2, x_3), \quad (4)$$

де  $X$  – імовірність, з якою Л-О готовий обрати позитивний полюс А в реальності;  $x_1$  – тиск зовнішнього середовища на Л-О в бік позитивної альтернативи в момент вибору,  $x_1 \in [0, 1]$ ;  $x_2$  – тиск попереднього досвіду Л-О в бік позитивної альтернативи в момент вибору,

$x_2 \in [0, 1]$ ;  $x_3$  – вольовий вибір (інтенція) Л-О в бік позитивної альтернативи в момент вибору,  $x_3 \in [0, 1]$ .

Отримані сценарії розвитку польотної ситуації в разі вибору Л-О АНС позитивного полюсу А або негативного полюсу В під тиском зовнішнього середовища, попереднього досвіду Л-О та вольового вибору (інтенції) [10 – 12] (5):

$$R_{\text{ПР}} = \begin{cases} R_A = \min\{R_{ij}\}, \\ R_B = \{\gamma, \rho\}, \\ R_{AB} = \{R_{ij}, X(x_1, x_2, x_3), \gamma, \rho\}, \end{cases} \quad (5)$$

де  $R_A$  – очікуваний ризик прийняття рішень Л-О з урахуванням критерію мінімізації очікуваного значення; коли Л-О здійснює вибір у бік позитивного полюсу;

$R_{ij}$  – очікуваний ризик для рішення  $A_{ij}$ , який визначається за формулою (6):

$$R_{ij} = \sum_{j=1}^m p_{ij} u_{ij}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad \sum_{j=1}^m p_j = 1, \quad (6)$$

де  $p_{ij}$  – імовірність впливу  $j$ -го фактора при виборі  $i$ -ї альтернативи;  $u_{ij}$  – збиток, пов'язаний з вибором  $i$ -ї альтернативи при впливі  $j$ -го фактора;  $R_B$  – очікуваний ризик прийняття рішень Л-О з урахуванням його моделі переваг;  $R_{ij}$  – очікуваний ризик для рішення  $A_{ij}$ ;  $\gamma$  – концепція раціональної поведінки індивіда;  $\rho$  – система переваг індивіда в конкретній ситуації вибору;  $R_{AB}$  – змішаний вибір Л-О.

Вибір Л-О в бік позитивного А чи негативного полюсу В визначається системою переваг оператора  $\rho$ , під якою розуміють будь-яку форму упорядкування множини  $F$ , тобто, усунення невизначеності вибору деякого елементу  $F^* \in F$  на основі правила вибору  $K$ . Правило вибору  $K$  відображає концепцію раціональної поведінки індивіда  $\gamma$  і його систему переваг  $\rho$  в конкретній ситуації вибору, тобто

$\{\gamma, \rho\} \rightarrow K$ . В результаті розрахунків очікуваних ризиків  $R_A, R_B, R_{AB}$  отримані можливі сценарії розвитку польотної ситуації [11].

За допомогою отриманих систем переваг пілотів, диспетчерів, штурманів визначені базові моделі ПР авіаційними спеціалістами у разі виникнення особливого випадку в польоті [9 – 11]. Відхилення від базових моделей створює передумови для розвитку катастрофічної ситуації. На рис. 4 наводиться приклад площини катастрофи, якщо пілот, диспетчер і суспільство роблять вибір в бік негативного полюсу В. Площину катастрофи, представлену на рис. 4, утворюють моделі переваг пілота  $w_p(B)$  (7), диспетчера  $w_d(B)$  (8) і суспільства  $w_s(B)$  (9):

$$w_p(B) = S_p = f_{sps} \succ f_{spe}, f_{spp}, f_{spl}, f_{spm}; \quad (7)$$

$$w_d(B) = S_p = f_{spe} \succ f_{sps}, f_{spp}, f_{spl}, f_{spm}; \quad (8)$$

$$w_s(B) = S_p = f_{spm} \succ f_{sps}, f_{spp}, f_{spl}, f_{spe}; \quad (9)$$

де  $f_{spm}$  – духовні та культурні орієнтири особистості (суспільства);  $f_{spe}$  – економічні інтереси особистості (суспільства);  $f_{sps}$  – соціальні пріоритети особистості (суспільства);  $f_{spp}$  – політичні погляди особистості (суспільства);  $f_{spl}$  – відношення до правових норм особистості (суспільства).

Синтезоване поняття області катастрофічної ситуації, на базі якого розроблений інформаційно-аналітичний діагностичний комплекс для дослідження закономірностей діяльності операторів аеронавігаційної системи [18], що вирішує задачі оптимізації вибору альтернативного варіанта завершення польоту ПК в позаштатних ситуаціях, діагностики соціонічної моделі в системі професійного відбору авіаційних фахівців для визначення професійно важливих якостей авіаційних фахівців, моніторингу емоційного стану Л-О.

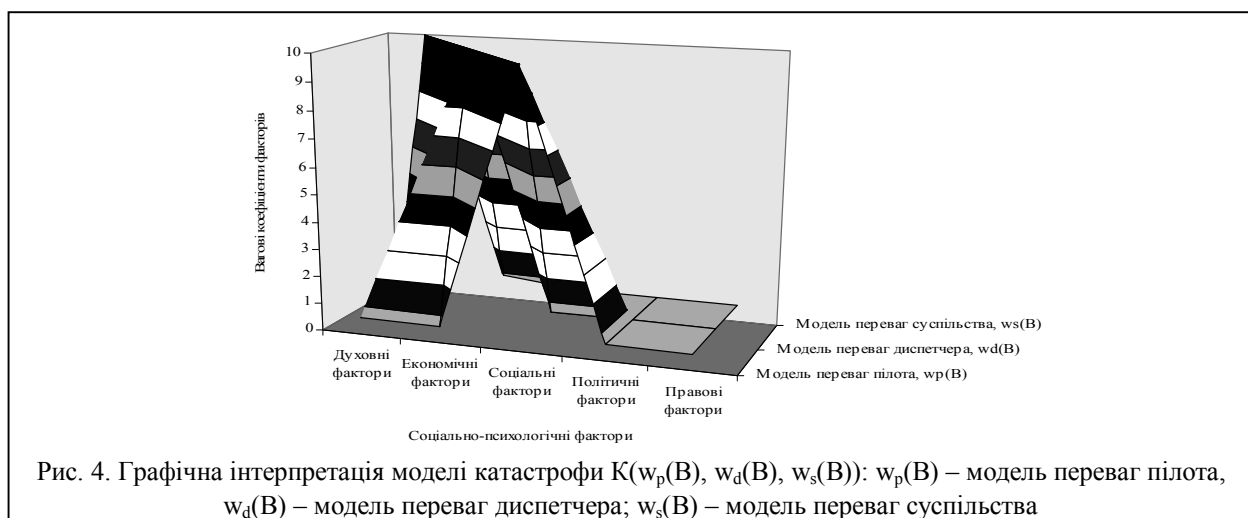


Рис. 4. Графічна інтерпретація моделі катастрофи  $K(w_p(B), w_d(B), w_s(B))$ :  $w_p(B)$  – модель переваг пілота,  $w_d(B)$  – модель переваг диспетчера;  $w_s(B)$  – модель переваг суспільства

## Висновки

1. Наведена класифікація моделей ПР Л-О АНС в особливих випадках в польоті.

2. Розроблені детерміновані та стохастичні моделі ПР Л-О АНС при виникненні ОВП.

3. Отримані сценарії розвитку польотної ситуації в разі вибору Л-О АНС позитивного або негатив-

ного повноту під тиском зовнішнього середовища, попереднього досвіду Л-О та вольового вибору (інтенції) відповідно до теорії рефлексії.

4. Розроблена методика моделювання марківського процесу розвитку польотної ситуації для стаціонарних процесів ПР.

5. Визначені передумови виникнення катастрофічної ситуації при відхиленні від базових моделей ПР авіаційними спеціалістами у разі виникнення ОВП.

Запропоновані моделі дозволять своєчасно діагностувати та прогнозувати можливі дії Л-О АНС в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК.

## Список літератури

1. *Human Factors Guidelines for Safety Audits Manual / Doc. 9806-AN/763. – 1-st Ed. – Canada, Montreal: International Civil Aviation Organization, 2002. – 138 p.*
2. *Кросскультурные факторы и безопасность полетов: сб. материалов по человеческому фактору № 16 / Circ. ICAO 302-AN/175. – Канада, Монреаль: ICAO, 2004. – 52 с.*
3. *Bertsch V. Sensitivity Analyses in Multi-Attribute Decision Support for Off-Site Nuclear Emergency and Recovery Management / V. Bertsch, M. Treitz, J. Geldermann, O. Rentz // International Journal of Energy Sector Management. – 2007. – Vol. 1. – Iss. 4. – P. 342-365.*
4. *Flueller T. Decision Making for Complex Socio-Technical Systems: Robustness from Lessons Learned in Long-Term Radioactive Waste Governance (Environment & Policy) / T. Flueller. – Springer, 2006. – 392 p.*
5. *Энциклопедия безопасности авиации / Н.С. Кулик и др. ; под ред. Н.С. Кулика. – К.: Техника, 2008. – 1000 с.*
6. *Лейченко С.Д. Человеческий фактор в авиации: монография в 2-х книгах / С.Д. Лейченко, А.В. Мальшевский, Н.Ф. Михайлик. – Кн. 1. – Кировоград: ИМЕКС, 2006. – 512 с.*
7. *Keating C.B. A Methodology for Analysis of Complex Sociotechnical Processes / C.B. Keating, A.A. Fernandez, D.A. Jacobs, P. Kauffmann // Business Process Management Journal. – 2001. – Vol. 7. – Iss. 1. – P. 33-50.*
8. *Макаров Р.Н. Психологические основы дидактики летного обучения / Р.Н. Макаров, Н.А. Нидзий, Ж.К. Шишкин. – М.: МАПЧАК, 2000. – 534 с.*
9. *Харченко В.П. Графоаналитичні моделі прийняття рішень людиною-оператором аеронавігаційної системи / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // Вісник Національного авіаційного університету. – 2011. – № 1. – С. 5-17.*

10. *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.: XV ПС, 2011. – Вип. 2 (28). – С. 59-64.*

11. *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.*

12. *Лефевр В.А. Функции быстрой рефлексии в биполярном выборе / В.А. Лефевр, Дж. Адамс-Вебер // Рефлексивные процессы и управление. – 2001. – № 1. – Июль-декабрь. – Т. 1. – С. 34-46.*

13. *Шмельова Т.Ф. Аналіз особливого випадку в польоті за допомогою мережевого графіка / Т.Ф. Шмельова, О.П. Бондар, І.Л. Якуніна // Вісник Національного авіаційного університету. – 2011. – № 2 (47). – С. 50-54.*

14. *Шмельова Т.Ф. Мережевий аналіз особливого випадку в польоті / Т.Ф. Шмельова, О.П. Бондар, І.Л. Якуніна // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. – Вип. 24. – Ч. II. – Кировоград: Кировоградський національний технічний університет, 2011. – С. 214-218.*

15. *Шмелева Т.Ф. Качественный анализ семантической модели развития полетной ситуации / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда // Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем: V міжнар. НПК, Кировоград, 27-28 жовтня 2010 р.: тези доповідей. – Кировоград: ДЛА України, 2010. – С. 117-121.*

16. *Харченко В.П. Стохастичний мережевий аналіз розвитку польотних ситуацій / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // АВІА-2011: X міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 19-21 квітня 2011 р.: тези доповідей. – Т. 2. – К.: Національний авіаційний університет, 2011. – С. 7.28-7.31.*

17. *Саати Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения / Т.Л. Саати; пер. с англ. – 3-изд. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 520 с.*

18. *Шмельова Т.Ф. Інформаційно-аналітичний діагностичний комплекс для дослідження закономірностей діяльності людини-оператора аеронавігаційної системи / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, А.В. Землянський, С.О. Астаф'єв // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 25. – Ч. II. – Кировоград: КНТУ, 2012. – С. 385-392.*

Надійшла до редколегії 3.09.2013

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

## МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ ПОЛЕТНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЯ ЧЕЛОВЕКОМ-ОПЕРАТОРОМ АЭРОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда, Т.Р. Джафарзаде

*Рассмотрены детерминированные и стохастические модели принятия решений человеком-оператором аэронавигационной системы и модели развития полетной ситуации. Разработана методика моделирования марковского процесса развития полетной ситуации для стационарных процессов принятия решений. В соответствии с теорией рефлексии получены сценарии развития полетной ситуации при выборе оператором позитивного или негативного полюса. Определены предпосылки возникновения катастрофической ситуации в социотехнической аэронавигационной системе.*

**Ключевые слова:** социотехническая аэронавигационная система, человек-оператор, полетная ситуация, принятие решений, сетевое планирование, сети GERT, марковские сети, теория рефлексии, модель катастрофы.

## MODELS OF FLIGHT SITUATIONS DEVELOPMENT WHILE DECISION-MAKING BY AIR NAVIGATION SYSTEM'S HUMAN-OPERATOR

T.F. Shmelova, Y.V. Sikirda, T.R. Jafarzade

*Deterministic and stochastic models of decision-making by air navigation system's human-operator and models of developing the flight situation were considered. A methodology for modelling of Markov's process of flight situation development for stationary decision-making processes has been developed. The scenarios of developing a flight situation in case of selecting either the positive or negative pole in accordance with the reflexive theory have been obtained. The predictors of catastrophic situation in sociotechnical air navigation system have been identified.*

**Keywords:** sociotechnical air navigation system, human operator, flight situation, decision-making, network planning, GERT's networks, Markov's networks, reflexive theory, model of disaster.