

УДК 656.7.086(45)

Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда

Державна льотна академія України, Кіровоград

## АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ПОЛЬОТНИХ СИТУАЦІЙ В АВІАЦІЙНІЙ СОЦІОТЕХНІЧНІЙ СИСТЕМІ

*Систематизовано і формалізовано фактори, що впливають на людину-оператора авіаційної системи як складної соціотехнічної системи. Проаналізовано значущість індивідуально-психологічних та вплив соціально-психологічних факторів на професійну діяльність людини-оператора в умовах розвитку польотної ситуації від нормальної до катастрофічної. На основі рефлексивної теорії біполярного вибору отримані очікувані ризики прийняття рішень оператором авіаційної системи при впливі зовнішнього середовища, попереднього досвіду і вольового вибору людини-оператора. Проведений аналіз прийняття рішень людиною-оператором авіаційної системи за допомогою стохастичних мереж типу GERT.*

**Ключові слова:** авіаційна соціотехнічна система, людина-оператор, індивідуально-психологічні фактори, соціально-психологічні фактори, рефлексивна модель, біполярний вибір, стохастична мережа.

### Вступ

**Постановка проблеми.** В теперішній час однією з основних стратегічних проблем людства на шляху до сталого розвитку є безпека і стійкість роботи техногенного виробництва, яке представляє собою складну систему, що містить взаємопов'язані технічні, економічні та соціальні об'єкти; має багаторівневу ієрархічну структуру і характеризується високим рівнем ризику [1]. Надзвичайні ситуації, катастрофи, аварії на гідротехнічних, хімічних і військових виробництвах, газо- і нафтопроводи, атомних електростанціях, а також на транспорті стають частим і звичайним явищем.

Авіаційні системи, в яких відбувається тісна взаємодія між людиною та технологічними компонентами, еволюціонували в сторону комплексних соціотехнічних систем [2]. Соціотехнічні системи, як правило, мають дві спільні риси: наявність небезпечних видів діяльності та застосування високих технологій. Чим більше людина-оператор (Л-О) за допомогою високих технологій контролює небезпечний вид діяльності віддалено, тим більш непрозорим стає результат діяльності системи, супроводжується високим ступенем ризику виникнення катастрофічних наслідків. Експлуатаційний персонал не діє самостійно, а виступає як частина організації. Їх дії відображають процеси, процедури і відносини (наприклад, культура безпеки) з інших частин організації, як по горизонталі (з колегами та іншими оперативними відділами), так і по вертикалі (з менеджерами та підлеглими). Управління безпекою в таких складних системах, як авіаційна, вимагає системного підходу.

Статистичні дані вказують, що людські помилки складають до 80% всіх авіаційних подій [3]. Традиційні способи, такі, як підвищення рівня професійної підготовки, трудової дисципліни тощо, в цьому випадку практично безсилі, оскільки авіаційний фахівець професійно достатньо підготовлений [4]. Причини більшості авіаційних подій пов'язані з

психологією членів екіпажу та потребують відповідного розгляду.

Існуючі підходи до контролю окремих аспектів (психофізіологічного, поведінкового, ергономічного, професійного тощо) не враховують функціонального стану Л-О в умовах динамічної зміни зовнішніх та внутрішніх факторів. Навколишні умови визначають реакцію Л-О, а його реакція, у свою чергу, змінює умови навколишнього середовища. Розвиток і зміна культури визначається трьома процесами, а саме: технологічними і фізичними змінами навколишнього середовища, змінами внутрішньої динаміки соціальної системи і історичних обставин, які можуть складатися зненацька або під впливом випадкових факторів [3]. Одним з можливих підходів до рішення цих проблем є формалізація і математичний опис діяльності операторів авіаційної системи (АС) як складної соціотехнічної системи на основі системного аналізу.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Дослідження складних соціотехнічних систем ведуться в областях таких наукових знань, як ергономіка, інженерна психологія, математика тощо. Більшість досліджень пов'язане з забезпеченням безпеки в атомній енергетиці та хімічній промисловості [5, 6]. В комплексній соціотехнічній системі, такій, як авіація, забезпечення безпеки досить актуальне для попередження загроз на оперативному рівні, наприклад, при поломці технічного обладнання або помилці експлуатаційного персоналу [7].

Урахування впливу індивідуально-психологічних, психофізіологічних та суспільно-психологічних факторів зовнішнього середовища на прийняття рішення людиною-оператором авіаційної соціотехнічної системи (АСС) [8] дозволяє прогнозувати його дії в особливих випадках польоту на основі моделювання передбачення «великомасштабних» наслідків індивідуальних дій за допомогою теорії рефлексії [9].

Для формалізації поведінкової діяльності Л-О АСС в польотних ситуаціях 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 в цей час одержали діаграми у формі різних графів (або поточкових станів і переходів), дерев подій, а також функціональних мереж стохастичної структури [10]. Для дослідження впливу прийняття рішень Л-О на розвиток польотних ситуацій доцільно застосовувати стохастичні мережі типу GERT (Graphical Evaluation and Review Technique), які дозволяють моделювати розвиток польотних ситуацій в сторону ускладнення і навпаки. GERT є альтернативним ймовірнісним 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].

**Мета роботи.** Завданнями статті є:

– дослідження і формалізація факторів, що впливають на прийняття рішень Л-О в АС як складної соціотехнічної системи;

– розробка рефлексивної моделі біполярного вибору Л-О АС в польотних ситуаціях;

– стохастичний мережевий аналіз розвитку польотних ситуацій.

### Аналіз факторів, що впливають на прийняття рішень людиною-оператором в авіаційній системі

В результаті попередніх досліджень були визначені фактори, що впливають на прийняття рішення Л-О АС: фактори професійного (рівень знань, навичок, умінь, стаж роботи, попередній досвід) і непрофесійного (психофізіологічні, індивідуально-психологічні, соціально-психологічні фактори) характеру, а також досліджений вплив індивідуально-психологічних факторів на професійну діяльність Л-О (цивільних пілотів та диспетчерів) [8].

Респонденти з числа військових штурманів і пілотів різних вікових категорій, з різним професійним досвідом визначили значущість індивідуально-психологічних (табл. 1, рис. 1) та вплив соціально-психологічних факторів на прийняття рішень у процесі їх професійної діяльності (табл. 2, рис. 2). Порівнявши вагові значення, визначили системи переваг непрофесійних факторів фахівців військової авіації.

Таблиця 1

Значущість індивідуально-психологічних факторів військових штурманів і пілотів в умовах розвитку польотних ситуацій

№ з/п	Індивідуально-психологічні фактори	Вагові коефіцієнти факторів									
		Проста ситуація		Ускладнена ситуація		Складна ситуація		Аварійна ситуація		Катастрофічна ситуація	
		Штурман	Пілот	Штурман	Пілот	Штурман	Пілот	Штурман	Пілот	Штурман	Пілот
1	Темперамент	0,02	0,11	0,03	0,11	0,04	0,13	0,07	0,17	0,04	0,17
2	Увага	0,13	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,11	0,13	0,11
3	Сприйняття	0,09	0,07	0,10	0,09	0,13	0,09	0,13	0,17	0,16	0,17
4	Мислення	0,11	0,04	0,10	0,07	0,11	0,07	0,09	0,07	0,09	0,07
5	Уява	0,07	0,09	0,03	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04
6	Натура	0,04	0,02	0,07	0,02	0,07	0,02	0,04	0,02	0,07	0,02
7	Воля	0,18	0,13	0,18	0,13	0,18	0,11	0,18	0,09	0,18	0,09
8	Здоров'я	0,16	0,19	0,13	0,19	0,09	0,19	0,11	0,17	0,11	0,17
9	Досвід	0,20	0,19	0,20	0,19	0,20	0,19	0,20	0,17	0,20	0,17

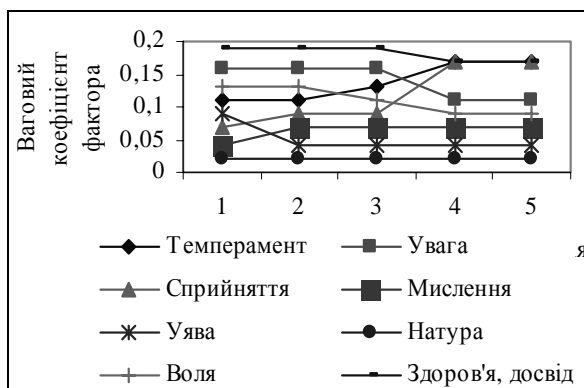


Рис. 1. Значущість індивідуально-психологічних факторів військових пілотів і штурманів в умовах розвитку польотних ситуацій:

- 1 – нормальна ситуація; 2 – ускладнена ситуація;  
3 – складна ситуація; 4 – аварійна ситуація;  
5 – катастрофічна ситуація

Дослідження впливу індивідуально-психологічних та соціально-психологічних факторів на професійну діяльність Л-О АС дозволило отримати відомості про такі структурні складові особистості авіаційного фахівця, як мотиви поведінки, цінності й пріоритети, ієрархію і розвиток цих динамічних категорій на етапах прийняття рішень людиною-оператором: сприйняття інформації, ідентифікації ситуації, прийняття рішень, дії.

### Рефлексивна модель біполярного вибору людини-оператора авіаційної соціотехнічної системи в польотних ситуаціях

За допомогою біполярної рефлексивної моделі поведінкової діяльності Л-О в екстремальних ситуаціях [9] отримані W-функції позитивного та негативного впливу факторів на прийняття рішень.

вного вибору. Модель представляє собою суб'єкта (Л-О), що перебуває перед біполярним вибором од-

нієї з альтернатив: А (позитивний полюс) і В (негативний полюс).

Таблиця 2

Система переваг військових пілотів і штурманів

№ з/п	Соціально-психологічні фактори	Пілот			Штурман		
		Середнє значення фактора	Вага фактора	Ранг фактора	Середнє значення фактора	Вага фактора	Ранг фактора
1	Моральні фактори	4,67	0,07	5	4,75	0,07	5
2	Економічні фактори	2,00	0,27	2	2,20	0,27	2
3	Соціальні фактори	1,00	0,33	1	1,60	0,33	1
4	Політичні фактори	4,33	0,13	4	4,20	0,13	4
5	Правові фактори	3,00	0,20	3	2,30	0,20	3

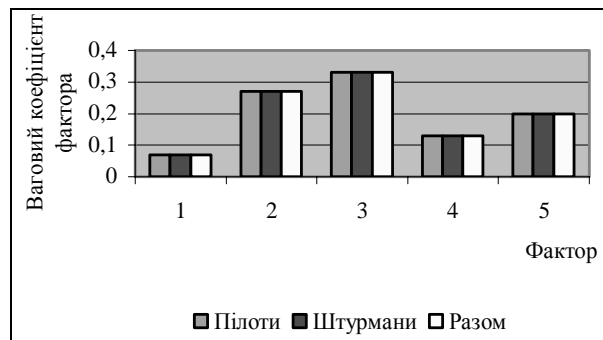


Рис. 2. Вплив соціально-психологічних факторів на професійну діяльність військових пілотів і штурманів: 1 – моральні фактори; 2 – економічні фактори; 3 – соціальні фактори; 4 – політичні фактори; 5 – правові фактори

Вибір Л-О АСС описується функцією (1):

$$X = f(x_1, x_2, x_3), \quad (1)$$

де  $X$  – ймовірність, з якою Л-О готовий обрати позитивний полюс А в реальності;

$x_1$  – тиск зовнішнього середовища на Л-О у бік позитивної альтернативи в момент вибору,  $x_1 \in [0, 1]$ ;

$x_2$  – тиск попереднього досвіду Л-О у бік позитивної альтернативи в момент вибору,  $x_2 \in [0, 1]$ ;

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

Альтернативне рішення А є вибором Л-О, який визначається системою прийняття рішень Л-О в умовах ризику (стохастичної невизначеності). Оптимальне рішення знаходиться за допомогою критерію очікуваного значення за принципом мінімізації ризику (2):

$$A_{opt} = \min \{R_{ij}\}, \quad (2)$$

де  $R_{ij}$  – очікуваний ризик для рішення  $A_{ij}$ , який визначається за формулою (3):

$$R_{ij} = \sum_{j=1}^m p_{ij} u_{ij}; \quad i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

де  $p_{ij}$  – ймовірність впливу  $j$ -го чинника при виборі  $i$ -тої альтернативи,  $\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1$ ;

$u_{ij}$  – збиток, пов'язаний з вибором  $i$ -тої альтернативи при впливі  $j$ -го чинника.

Альтернативне рішення В – вибір Л-О, який визначається системою переваг Л-О, під якою розуміють будь-яку форму упорядкування множини  $F$ , тобто, усунення невизначеності вибору деякого елементу  $f^* \in F$  на основі правила вибору К.

Правило вибору К відображає концепцію раціональної поведінки індивіда  $\gamma$  і його систему переваг  $\rho$  в конкретній ситуації вибору, тобто,  $\{\gamma, \rho\} \rightarrow K$ .

На систему переваг Л-О в АСС впливають фактори професійного  $\bar{F}_p$  та непрофесійного  $\bar{F}_{np}$  характеру (4) – (5):

$$\bar{F}_p = \{\bar{F}_{ed}, \bar{F}_{exp}\}; \quad (4)$$

$$\bar{F}_{np} = \{\bar{F}_{ip}, \bar{F}_{pf}, \bar{F}_{sp}\}, \quad (5)$$

де  $\bar{F}_{ed}$  – знання, навички, вміння, здобуті людиною-оператором у процесі навчання;

$\bar{F}_{exp}$  – знання, навички, вміння, здобуті людиною-оператором у процесі професійної діяльності;

$\bar{F}_{ip} = \{f_{ipt}, f_{ipa}, f_{ipp}, f_{ipth}, f_{ipi}, f_{ipn}, f_{ipw}, f_{iph}, f_{exp}\}$  – множина індивідуально-психологічних якостей людини-оператора (темперамент, увага, сприйняття, мислення, уява, натура, воля, здоров'я, досвід);

$\bar{F}_{pf}$  – множина психофізіологічних якостей людини-оператора (особливості нервової системи, емоційний тип, соціотип);

$\bar{F}_{sp} = \{f_{spm}, f_{spe}, f_{sps}, f_{spp}, f_{spl}\}$  – множина соціально-психологічних якостей людини-оператора (моральні, економічні, соціальні, політичні, правові тощо).

Наприклад, система переваг пілота на множині індивідуально-психологічних факторів  $\bar{F}_{ip}$  (рис. 1), що відображає об'єктивну характеристику рішення і психологію мислення індивіда, якою він керувався при раціональних діях [11], у випадках простої (6) і катастрофічної ситуацій (7):

$$\begin{aligned} (f_{iph}, f_{exp}) > f_{ipa} > f_{ipw} > f_{ipt} > \\ > f_{ipi} > f_{ipp} > f_{ipth} > f_{ipn}; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} (f_{iph}, f_{exp}) > (f_{ipt}, f_{ipp}) > f_{ipa} > \\ > f_{ipw} > f_{ipth} > f_{ipi} > f_{ipn}, \end{aligned} \quad (7)$$

де  $f_{iph}$  – здоров'я;  $f_{ipexp}$  – досвід;  $f_{ipa}$  – увага;  $f_{ipw}$  – воля;  $f_{ipt}$  – темперамент;  $f_{ipi}$  – увага;  $f_{ipp}$  – сприйняття;  $f_{ipth}$  – мислення;  $f_{ipn}$  – натура.

В обох випадках найбільш значущими факторами є здоров'я і досвід. При розвитку ситуації до катастрофічної більш вагомими стають темперамент і здатність до сприйняття інформації. Інші індивідуально-психологічні фактори залишаються без змін.

Отримані моделі переваг (рис. 2) визначають пріоритети військових пілотів і штурманів на множині соціально-психологічних факторів  $\bar{F}_{sp}$  (8):

$$f_{sps} > f_{spe} > f_{spl} > f_{spp} > f_{spm}, \quad (8)$$

де  $f_{sps}$  – соціальні фактори;  
 $f_{spe}$  – економічні фактори;  
 $f_{spl}$  – правові фактори;  
 $f_{spp}$  – політичні фактори;  
 $f_{spm}$  – моральні фактори.

Як і в попередніх дослідженнях моделей переваг пілотів і диспетчерів цивільної авіації [8], у військових пілотів та штурманів на першому місці також знаходяться соціально-економічні фактори. В результаті проведеного більш детального аналізу впливу 13 соціально-психологічних факторів (релігійні погляди, філософські погляди, кар'єра, авторитет, корпоративні інтереси, економічний інтерес підприємства, особистий економічний інтерес, інтереси сім'ї, інтереси колег, інтереси керівництва компанії, імідж, політичний інтерес, правові норми) визначено, що на діяльність пілотів, які брали участь у дослідженні, суттєво впливають власний імідж, імідж корпорації та інтереси сім'ї. В той же час респонденти-диспетчери істотну увагу приділяють інтересам сім'ї, власному економічному становищу і кар'єрному росту [8].

### Стохастичний мережевий аналіз розвитку польотних ситуацій

У мережевій моделі GERT розвитку польотної ситуації вузлом представляється стадія ситуації (нормальна, ускладнена, складна, аварійна або катастрофічна), а дугами – процес переходу між стадіями ситуації.

Розглянемо стохастичну мережеву модель GERT розвитку польотної ситуації  $G=(N;A)$  з множиною вузлів  $N$  і множиною дуг  $A$ . Час  $t_{ij}$  на перехід від  $i$ -ої до  $j$ -ої польотної ситуації є випадковою величиною. Перехід  $(i;j)$  може бути виконаний, тільки якщо виконується  $i$ -ий вузол. Для визначення часу  $t_{ij}$  на перехід від  $i$ -ої до  $j$ -ої польотної ситуації, необ-

хідно знати умовну ймовірність (в дискретному випадку) чи щільність розподілу (в безперервному випадку) випадкової величини  $Y_{ij}$ . Це дозволяє провести дослідження з виконання всієї мережі  $G=(N;A)$  та визначити моменти розподілу часу виконання  $t_{ij}$  мережі  $G$ , за допомогою яких можуть бути обчислені математичне очікування  $\mu_{jE}$  та дисперсія часу  $\delta^2$  виконання мережі  $G$  у разі виникнення ускладненої, складної, аварійної або катастрофічної ситуації.

Нехай  $f_{ij}$  – умовна ймовірність (щільність розподілу) часу на виконання переходу від польотної ситуації  $G_i$  до польотної ситуації  $G_j$ . Умовна виробляюча функція моментів випадкової величини  $Y_{ij}$  визначається за формулою (9):

$$M_{ij}(s) = E \left[ e^{sY_{ij}} \right]. \quad (9)$$

У випадку безперервної та дискретної випадкових величин формула (9) перетворюється на вирази (10) і (11) відповідно:

$$M_{ij}(s) = \int e^{sy_{ij}} f(y_{ij}) dy_{ij}; \quad (10)$$

$$M_{ij}(s) = \sum e^{sy_{ij}} f(y_{ij}). \quad (11)$$

Якщо  $y_{ij}=a=\text{const}$ , то  $M_{ij}(s) = E \left[ e^{sa} \right] = e^{sa}$ .

Введемо поняття  $W$ -функції для випадкової величини  $Y_{ij}$ , яка виступає в ролі коефіцієнту пропускання GERT-мережі (12):

$$W_{ij}(s) = p_{ij} M_{ij}(s), \quad (12)$$

де  $p_{ij}$  – ймовірність того, що  $j$ -та польотна ситуація наступить і перехід  $(i;j)$  здійсниться;

$M_{ij}(s)$  – умовна виробляюча функція моментів випадкової величини  $Y_{ij}$ .

Алгоритм застосування системи GERT для стохастичного мережевого аналізу виглядає таким чином:

1. Для отримання замкненої стохастичної мережі  $G$  ввести у відкриту мережу  $W_E(s)$  додаткову фіктивну дугу з  $W$ -функцією  $W_A(s)$ , що з'єднує стік  $t$  з джерелом  $s$  (рис. 3).

2. Визначити для модифікованої мережі  $G$  всі петлі  $k$ -го порядку,  $k = \overline{1, n}$ .

3. Обчислити еквівалентний коефіцієнт пропускання для всіх петель  $k$ -го порядку мережі  $G$ ,  $k = \overline{1, n}$  (13):

$$T(L_n) = \prod_{k=1}^n T_k = \prod_{k=1}^n \left[ \prod_{(i,j) \in L_{k1}} t_{ij} \right], \quad (13)$$

де  $T_k = \prod_{(i,j) \in L_{k1}} t_{ij}$  – еквівалентний коефіцієнт пропускання петлі першого порядку  $L_{k1}$ ;  
 $t_{ij}$  – час на перехід від  $i$ -ої до  $j$ -ої польотної ситуації.

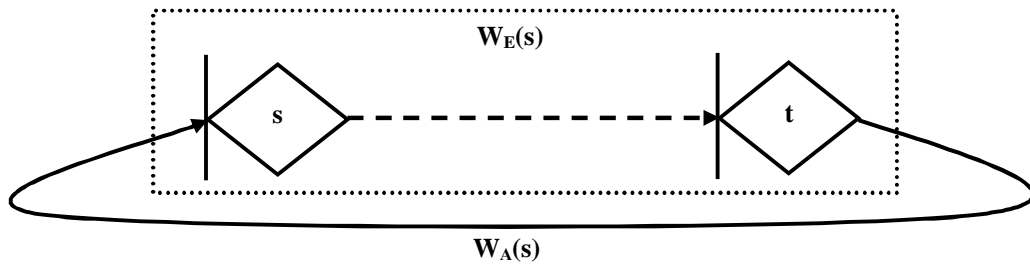


Рис. 3. Мережа GERT:  $W_E(s)$  – коефіцієнт пропускання відкритої мережі;  
 $W_A(s)$  – коефіцієнт пропускання фіктивної дуги;  
 $s$  – джерело мережі;  $t$  – стік мережі

4. Застосувати правило Мейсона для отримання топологічного рівняння стохастичної замкненої мережі  $G$  (14):

$$H = 1 - \sum T(L_1) + \sum T(L_2) - \sum T(L_3) + \dots + (-1)^k \sum T(L_k) + \dots = 0, \quad (14)$$

де  $\sum T(L_k)$  – сума еквівалентних коефіцієнтів пропускання для всіх можливих петель  $k$ -го порядку. 5. З топологічного рівняння стохастичної замкненої мережі  $G$  (14) визначити коефіцієнт пропускання відкритої мережі  $W_E(s)$ .

6. Визначити перший і другий моменти випадкової величини  $Y_{ij}$  (в даному випадку часу  $t_{ij}$  на перехід від нормальної до ускладненої, складної, аварійної або катастрофічної польотної ситуації) відповідно за формулою (15):

$$\mu_{jE} = \frac{\partial^j}{\partial s^j} [M_E(s)], \quad (15)$$

де  $\mu_{jE}$  – математичне очікування часу виконання мережі  $G$ ;

$\mu_{2E}$  – дисперсія часу виконання мережі  $G$ .

Таким чином, за допомогою стохастичного мережевого аналізу розвитку польотної ситуації від нормальної до катастрофічної отримуємо:

- математичне очікування часу  $t_{ij}$  розвитку ситуації;
- дисперсію часу  $t_{ij}$  розвитку ситуації;
- ймовірності  $p_{ij}$  розвитку ситуації.

Як приклад, проведемо аналіз розвитку катастрофічної ситуації в складних метеоумовах (СМУ) за допомогою дерева рішень та стохастичної мережі GERT (рис. 4).

Згідно даних Бюро безпеки на транспорті (NTSB) [12], за останні 10 років 21,3% авіаційних подій при виконанні авіаперевезень трапились через погодні умови, з них 39,1% – в СМУ. При цьому основною причиною авіаційних подій в СМУ (68%) визнається неправильне і несвоєчасне прийняття рішень екіпажем повітряного судна.

На основі  $W$ -функцій позитивного та негативного вибору Л-О побудована марківська мережа

розвитку польотної ситуації від нормальної до катастрофічної (рис. 5). Марківській процес з дискретними станами  $W_{ij}$  називають процесом загибелі та розмноження [13].

Отримані очікувані ризики  $R_A$ ,  $R_B$  прийняття рішень Л-О при заході на посадку в СМУ під впливом зовнішнього середовища  $x_1$ , попереднього досвіду Л-О  $x_2$  та вольового вибору Л-О  $x_3$ .

Очікуваний ризик при прийнятті рішення Л-О дорівнює (16):

$$R_{ID} = \begin{cases} R_A = \min \{R_{ij}\}; \\ R_B = \{\gamma, \rho\}, \end{cases} \quad (16)$$

де  $R_A$  – очікуваний ризик прийняття рішень Л-О з урахуванням критерію мінімізації очікуваного значення;  $R_B$  – очікуваний ризик прийняття рішень Л-О з урахуванням його моделі переваг.

## Висновки

1. В рамках дослідження АСС як складної соціотехнічної системи проаналізовано значущість індивідуально-психологічних та вплив соціально-психологічних факторів на професійну діяльність Л-О в умовах розвитку польотної ситуації від нормальної до катастрофічної.

2. На основі рефлексивної теорії біполярного вибору отримані очікувані ризики прийняття рішень оператором АСС при впливі зовнішнього середовища, попереднього досвіду і вольового вибору Л-О.

3. Проведений аналіз прийняття рішень Л-О АСС за допомогою стохастичних мереж типу GERT.

## Список літератури

1. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере [Текст]: учебное пособие для студентов ВУЗов / П.Г. Белов. – М.: Издательский центр "Академия", 2003. – 512 с.
2. Человеческий фактор, управление и организация [Текст]: сб. мат-лов по человеческому фактору – № 10 // Circ. ICAO 247-AN/148. – Канада, Монреаль: ICAO, 1994. – 38 с.
3. Кросскультурные факторы и безопасность полетов: сб. материалов по человеческому фактору. – № 16 // Circ. ICAO 302-AN/175. – Канада, Монреаль: ICAO, 2004. – 52 с.

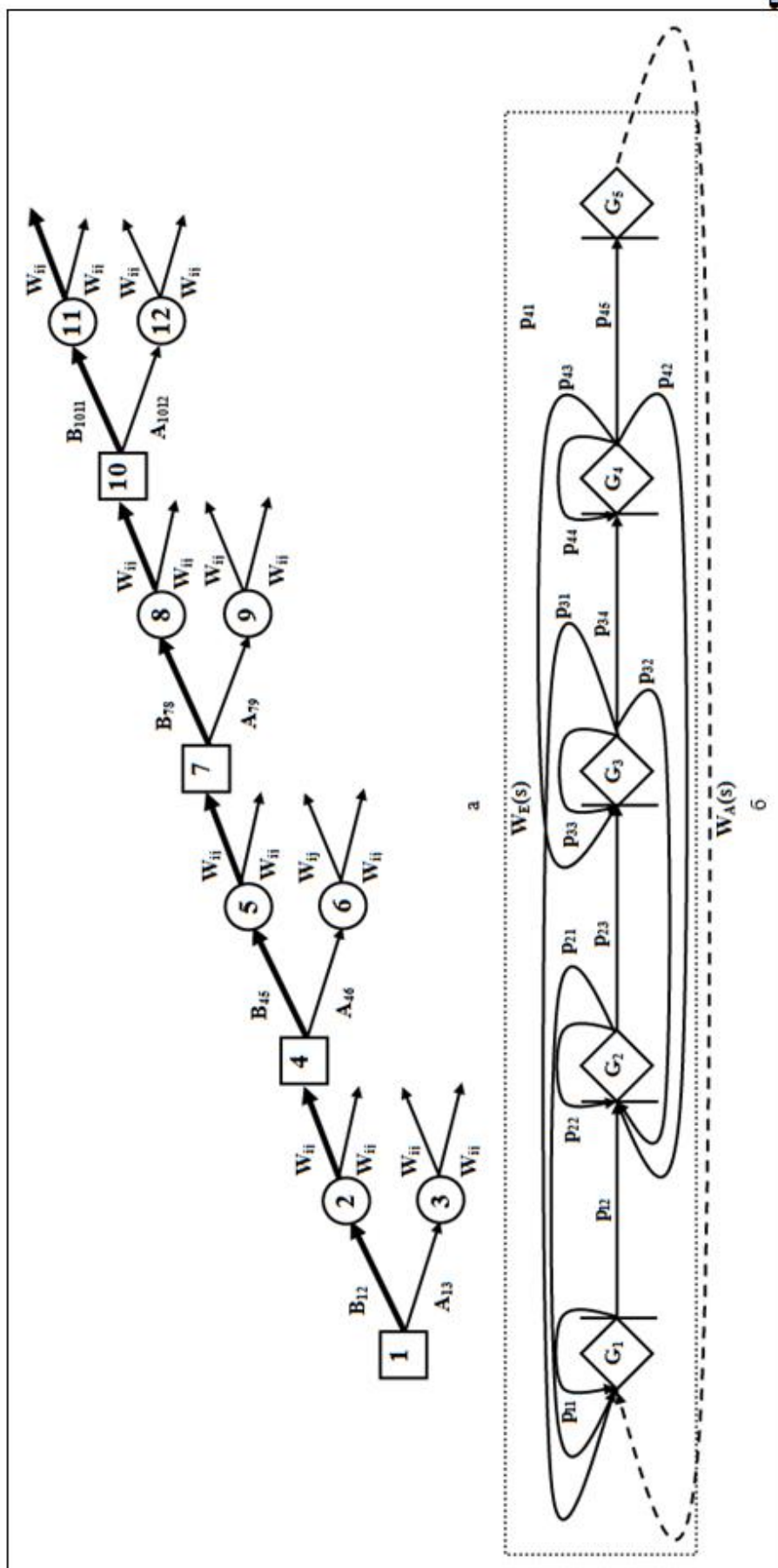


Рис. 4. Фрагмент моделі розвитку катастрофічної ситуації.

а – модель у вигляді дерева рішень; □ – вирішальні вершини; ○ – випадкові вершини; А – позитивний вибір; В – негативний вибір;  $\leftarrow$   $W_{ij}$  – W-функція, коефіцієнт пропускання  $(i, j)$ ; б – модель у вигляді стохастичної мережі; GER T;  $W_E(s)$  – коефіцієнт пропускання відкритої мережі;  $\leftarrow$   $W_A(s)$  – коефіцієнт пропускання фіктивної дуги;  $G_1$  – нормальна ситуація;  $G_2$  – ускладнена ситуація;  $G_3$  – складна ситуація;  $G_4$  – аварійна ситуація;  $\leftarrow$

$G_5$  – катастрофічна ситуація;  $p_{ij}$  ( $p_{11}, p_{12}, p_{21}, p_{22}, p_{23}, p_{24}$ ) – ймовірність стабілізації і-тої польотної ситуації,  $i = 1, n - 1$ ;  $\leftarrow$

$p_{31}, p_{32}, p_{33}, p_{34}, p_{41}, p_{42}, p_{43}, p_{44}, p_{45}$  – ймовірність розвитку і-тої польотної ситуації в сторону ускладнення,  $p_{k(i-k)}$  ( $p_{21}, p_{22}, p_{23}, p_{24}$  – петлі 1-

1-го порядку;  $p_{31}, p_{32}$  – петлі 2-го порядку;  $p_{41}$  – петля 3-го порядку) – ймовірність парировання особливого випадку в польоті;  $k = \overline{1, 3}$   $\leftarrow$

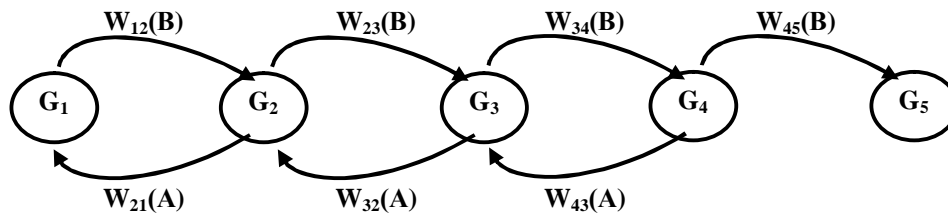


Рис. 5. Марківська мережа розвитку польотних ситуацій:

$G_1$  – нормальна ситуація;  $G_2$  – ускладнена ситуація;  
 $G_3$  – складна ситуація;  $G_4$  – аварійна ситуація;  $G_5$  – катастрофічна ситуація;  
 $W_{ij}(A)$  – коефіцієнт пропускання  $(i,j)$ -дуги при позитивному виборі;  
 $W_{ij}(B)$  – коефіцієнт пропускання  $(i,j)$ -дуги при негативному виборі

4. Макаров Р.Н. Психологические основы методики летного обучения / Р.Н. Макаров, Н.А. Нидзуй, Ж.К. Шишкин. – М.: МАПЧАК, 2000. – 534 с.

5. 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.

6. Flueler T. Decision Making for Complex Socio-Technical Systems: Robustness from Lessons Learned in Long-Term Radioactive Waste Governance (*Environment & Policy*) / T. Flueler. – Springer, 2006. – 392 p.

7. Безпека авіації [Текст] / В.А. Бабак, В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін. – К.: Техніка, 2004. – 584 с.

8. Харченко В.П. Графоаналітичні моделі прийняття рішень людиною-оператором аеронавігаційної системи / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікирда // *Вісник НАУ*. – 2011. – №1. – С. 5-17.

9. Лефевр В.А. Функции быстрой рефлексии в биполярном выборе [Текст] / В.А. Лефевр, Дж. Адамс-Вебер //

*Рефлексивные процессы и управление*. – 2001. – №1. – Июль-декабрь. – Том 1. – С. 34-46.

10. Филлипс Д. Методы анализа сетей: пер. с англ. / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас. – М.: Мир, 1984. – 496 с.

11. Рева О.М. Прийняття рішень шляхом виявлення системи пріоритетів (перевіз) авіаспеціаліста: методичні вказівки / О.М. Рева. – Кіровоград, 1996. – 18 с.

12. Aviation Accident Statistics [Electronic resource] / National Transportation Safety Board. – Mode of access: [www.ntsb.gov/aviation/aviation.htm](http://www.ntsb.gov/aviation/aviation.htm). – Last access: 2011. – Title from the screen.

13. Саати Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения: пер. с англ. / Т.Л. Саати. – 3-изд. – М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2010. – 520 с.

Надійшла до редколегії 14.02.2011

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

### АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ПОЛЕТНЫХ СИТУАЦИЙ В АВИАЦИОННОЙ СОЦИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сикирда

Систематизированы и формализованы факторы, влияющие на человека-оператора авиационной системы как сложной социотехнической системы. Проанализирована значимость индивидуально-психологических и влияние социально-психологических факторов на профессиональную деятельность человека-оператора в условиях развития полетной ситуации от нормальной до катастрофической. На основе рефлексивной теории биполярного выбора полученные ожидаемые риски принятия решений оператором авиационной системы при влиянии внешней среды, предыдущего опыта и волевого выбора человека-оператора. Проведен анализ принятия решений человеком-оператором авиационной системы с помощью стохастических сетей типа GERT.

**Ключевые слова:** авиационная социотехническая система, человек-оператор, индивидуально-психологические факторы, социально-психологические факторы, рефлексивная модель, биполярный выбор, стохастическая сеть.

### ANALYSIS OF THE FLIGHT SITUATIONS DEVELOPMENT IN AVIATION SOCIOTECHNICAL SYSTEM

T.F. Shmelova, Yu.V. Sikirda

The factors, which affecting the human operator of the aviation system as a complex sociotechnical system, were systematized and formalized. The importance of individual-psychological and impact of social-psychological factors on the professional activities of the human operator during the flight situations development from normal to catastrophic were analyzed. On the basis of the reflexive theory of bipolar choice the expected risks of decision-making by the aviation system's operator at influence of external environment, previous experience and intention of a human operator were received. An analysis of decision-making by the aviation system's human operator with the help of GERT stochastic networks was held.

**Keywords:** aviation sociotechnical system, human operator, individual-psychological factors, socio-psychological factors, reflexive model, bipolar choice, stochastic network.