

УДК 656.7.086

Т.Ф. Шмельова<sup>1</sup>, Ю.В. Сікірда<sup>2</sup>, І.Л. Якуніна<sup>2</sup><sup>1</sup> Національний авіаційний університет, Київ<sup>2</sup> Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

## АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В АЕРОНАВІГАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ЗА ДОПОМОГОЮ СЕМАНТИЧНИХ МЕРЕЖ

Розглянуто динамічну модель системи «людина-оператор – повітряне судно – середовище» та описано зміни станів польотних ситуацій від менш небезпечних до більш небезпечних і навпаки. Представлено використання діаграм причинно-наслідкових зв'язків під назвою «дерево» (дерева інцидентів, дерева подій та дерева рішень) для аналізу причин виникнення та сценаріїв розвитку особливих випадків в польоті. Розроблено інформаційну модель системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях.

**Ключові слова:** системний аналіз, польотна ситуація, ймовірність переходу, особливий випадок в польоті, граф, семантична модель, дерево інцидентів, дерево подій, дерево рішень, мережа GERT, система підтримки прийняття рішень.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Аналіз авіаційних подій (АП) показує, що кожна третя з чотирьох АП є результатом функціональних помилок, які були допущені цілком здоровими і достатньо кваліфікованими людьми. Причини деяких таких помилок можуть бути пов'язані з конструктивними недоліками обладнання або з неадекватністю процедур, а також з погрішностями в підготовці або в інструктажі перед початком експлуатації. Але якими б не були конкретні причини, головними факторами є людська діяльність, поведінка і межі можливостей людини [1, 2].

В нормальних умовах польоту та при виникненні ускладнень діяльність авіаційного спеціаліста строго регламентується нормативними документами в авіаційній галузі, що дає змогу будувати детерміновані моделі, які допомагають наочно аналізувати послідовність операційних процедур, спрямованих на парирування особливого випадку в польоті (ОВП). Але оскільки аеронавігаційна система (АНС) відноситься до відкритих систем управління і є поліергатичною соціотехнічною системою [3, 4], то при моделюванні діяльності авіаційного спеціаліста необхідно враховувати вплив на людину-оператора (Л-О) та повітряне судно (ПС) як об'єкт керування зовнішнього середовища.

Особливий випадок в польоті – це не одномоментна подія, а подія, що розвивається в часі та просторі. Тому для моделювання прийняття рішень (ПР) Л-

О відповідно до алгоритму дій у разі виникнення ОВП доцільно користуватися багатокроковими стохастичними моделями, наприклад, у вигляді дерева рішень, що дає можливість провести структурний аналіз проблеми, знайти оптимальну альтернативне рішення і запобігти розвитку ситуації за неправильною схемою [5]. Для моделювання умов розвитку польотних ситуацій доцільно використовувати орієнтовані графи зі стохастичною структурою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасний стан моделювання операторської діяльності характерний тим, що відсутній комплексний підхід до визначення етапів ПР і факторів, що впливають на ПР Л-О, математичні моделі операторської діяльності, розглянуті в публікаціях, здебільшого мають описовий характер, тобто відсутні кількісні дані якісних характеристик результатів діяльності Л-О в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації об'єкта керування [6, 7]. Дослідження процесів, пов'язаних з ПР Л-О, відноситься до задач класичної та інженерної психології – моделювання операторської діяльності в авіації і космонавтиці – В.Ф. Венда, В.Г. Денисов, В.Ф. Оніщенко; моделювання динамічних характеристик Л-О – І.Є. Цибулевський, В.М. Казак; характеристики Л-О – М.А. Котик, Б.Ф. Ломов та ін. При цьому автори дотримуються різних уявлень про фундаментальні характеристики людської особистості, їх функції і значущість у процесі здійснення операторської діяльності, у тому числі взаємодій у колективі та з навколишнім середовищем.

Для формалізації поведінкової діяльності Л-О АНС у польотних ситуаціях зручними є моделі, що представляють собою процес появи окремих передумов і розвитку їх у причинний ланцюг подій у вигляді відповідних діаграм причинно-наслідкових зв'язків. Найбільшого поширення набули діаграми у формі різних графів (або потокових станів і переходів), а також функціональних мереж стохастичної структури [5, 8, 9]. Уперше діаграми причинно-наслідкових зв'язків були подані Х. Уотсоном для оцінювання систем надійності та безпеки експлуатації американських ракетних систем [5]. Існують декілька різновидів діаграм впливу типу «дерево»: дерево наслідків, дерево подій, дерево розвитку ситуацій, дерево рішень тощо. Найчастіше використовуються три типи – дерево інцидентів, дерево подій та дерево рішень, кожне з яких представляє собою розгалужений, скінчений та зв'язний граф, що не має ні петель, ні циклів.

**Формулювання мети статті.**

1. Розроблення динамічної моделі системи «людина-оператор – повітряне судно – середовище».
2. Аналіз причин виникнення та визначення сценаріїв розвитку особливих випадків в польоті за допомогою діаграм причинно-наслідкових зв'язків під назвою «дерево»: дерева інцидентів, дерева подій та дерева рішень.
3. Побудова інформаційної моделі системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях за допомогою дерева рішень.

**Динамічна модель системи «людина-оператор – повітряне судно – середовище»**

Представимо систему Л-О – ПС – С у вигляді динамічної моделі (рис. 1), яка має вхід  $X_{вх}(t)$  та вихід  $X_{вих}(t)$ . Також до складу цієї моделі входять технічна частина (повітряне судно (ПС)), авіаційний персонал (пілот, диспетчер (Л-О)) та середовище (С), які взаємодіють між собою згідно відповідних алгоритмів та технологій (Т). Середовище включає в себе як фактори, що впливають на ПС (наприклад, метеумови), так і фактори, що впливають на Л-О [10]. Технології і алгоритми діяльності Л-О строго регламентовані відповідними нормативами – керівництвом з льотної експлуатації, технологією роботи диспетчера тощо.

В моделі системи «Л-О – ПС – С», представленій на рис. 1, в якості вхідних впливів на систему  $X_{вх}(t)$  розглядаються задані функції та установлені інтервали часу аналізу стійкості системи; в якості станів системи  $S(t)$  – умови виконання польоту ПС (нормальна ситуація, ускладнення умов польоту, складна ситуація, аварійна ситуація, катастрофічна ситуація); в якості вихідних впливів системи на зовнішнє середовище  $X_{вих}(t)$  – результати завершення польоту (виконання плану

польоту, економічні збитки, інцидент, поломка авіаційної техніки, аварія, катастрофа).

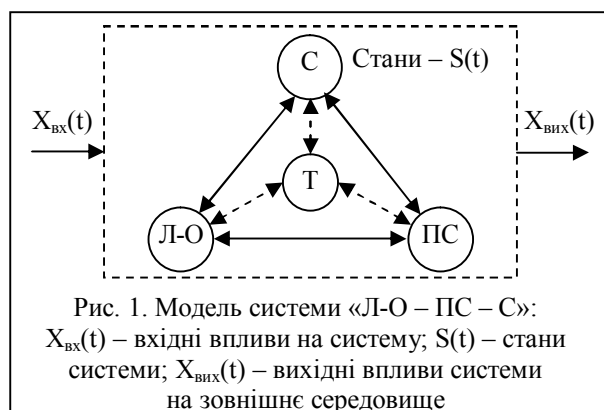


Рис. 1. Модель системи «Л-О – ПС – С»:  $X_{вх}(t)$  – вхідні впливи на систему;  $S(t)$  – стани системи;  $X_{вих}(t)$  – вихідні впливи системи на зовнішнє середовище

Для моделювання умов розвитку польотних ситуацій доцільно використовувати орієнтовані графи, які характеризуються деяким визначеним набором станів АНС та всіма можливими переходами між ними (рис. 2).

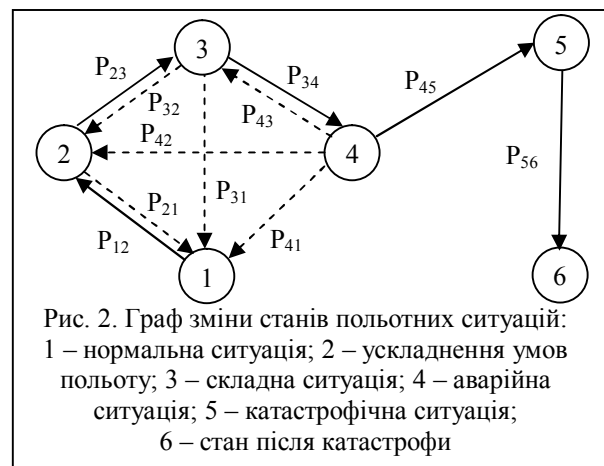


Рис. 2. Граф зміни станів польотних ситуацій: 1 – нормальна ситуація; 2 – ускладнення умов польоту; 3 – складна ситуація; 4 – аварійна ситуація; 5 – катастрофічна ситуація; 6 – стан після катастрофи

Зміни станів польотних ситуацій від менш небезпечних до більш небезпечних при відсутності парирування відмов з боку техніки, людини та середовища, та, відповідно, зміни станів від більш небезпечних до менш небезпечних за умови парирування відмов, можна описати наступною множиною ймовірностей:  $P_{12}$  – ймовірність переходу від нормальної ситуації до ускладнення умов польоту;  $P_{23}$  – ймовірність переходу від ускладнення умов польоту до складної ситуації;  $P_{34}$  – ймовірність переходу від складної ситуації до аварійної;  $P_{45}$  – ймовірність переходу від аварійної ситуації до катастрофічної;  $P_{56}$  – ймовірний стан системи після катастрофічної ситуації;  $P_{21}$  – ймовірність переходу від ускладнення умов польоту до нормальної ситуації;  $P_{32}$  – ймовірність переходу від складної ситуації до ускладнення умов польоту;  $P_{31}$  – ймовірність переходу від складної ситуації до нормальної;  $P_{43}$  – ймовірність переходу від аварійної ситуації до складної;  $P_{42}$  – ймовірність переходу від аварійної

ситуації до ускладнення умов польоту;  $P_{41}$  – ймовірність переходу польотної ситуації від аварійної до нормальної.

### Сценарії розвитку особливих випадків в польоті

Семантична модель типу дерева інциденту (рис. 3) зазвичай включає одну головну подію – ОБП, що з'єднується за допомогою конкретних логічних умов з проміжними (вітки А, Б, В) та первинними (листя  $l, n; l, m; l, k$ ) передумовами, які в сукупності сприяли його появі.

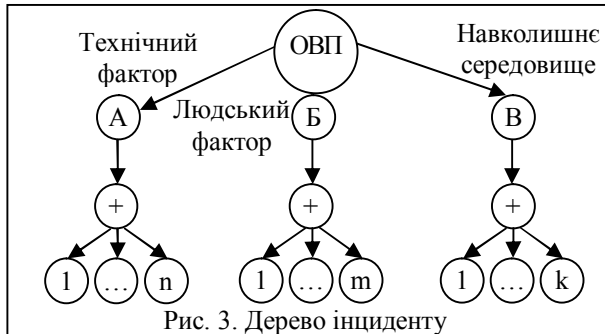


Рис. 3. Дерево інциденту

Наприклад, при виникненні ОБП типу відмови авіадвигуна на зльоті технічними факторами є потрапляння стороннього предмета у двигун (гайки, викрутки, дрібні камінці), поломка двигуна і т.п., людським фактором – свідомі та несвідомі дії авіаційних фахівців [11; 12], навколишнім середовищем – метеоумови, орнітологічна обстановка, стан злітно-посадкової смуги тощо.

Для побудови дерева подій (рис. 4) в якості центральної події також завжди розглядають деякий ОБП (наприклад, відмова двигуна на зльоті), але в якості віток (А, Б, В, Г) – сценарії розвитку ОБП, а листків – можливі наслідки її розвитку ( $q_i$ ). На відміну від дерева інцидентів, дерево подій не має логічних вузлів <i>, <або>.

По суті, дана семантична модель представляє собою ймовірнісний граф, побудований таким чином, щоб сума ймовірностей кожного розгалуження складала одиницю.

Останнім часом інтенсивно розробляються діаграми впливу, які відносяться до класу семантичних функціональних мереж.

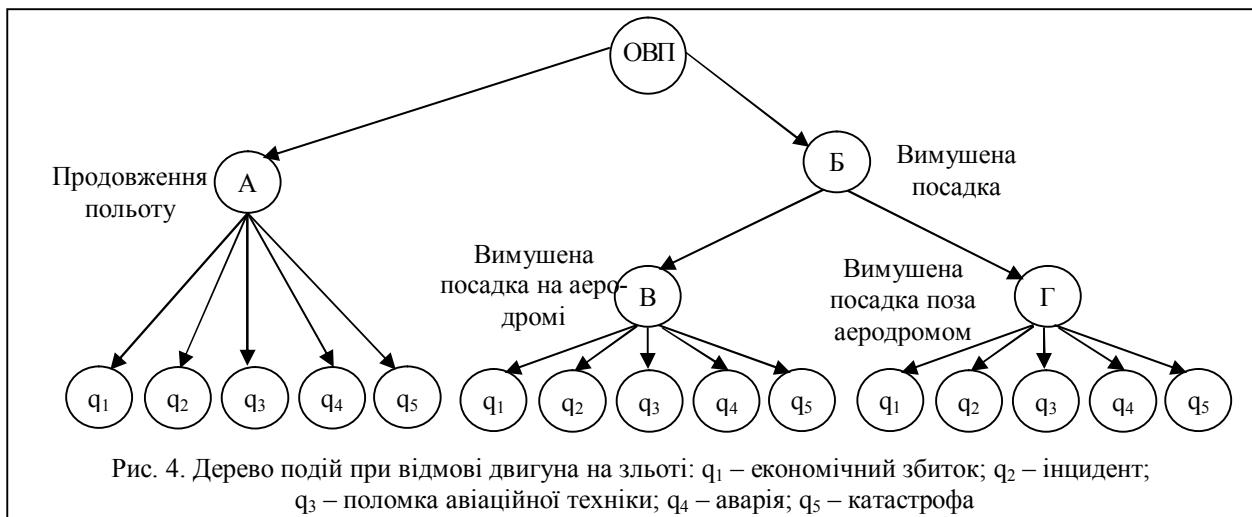


Рис. 4. Дерево подій при відмові двигуна на зльоті:  $q_1$  – економічний збиток;  $q_2$  – інцидент;  $q_3$  – поломка авіаційної техніки;  $q_4$  – аварія;  $q_5$  – катастрофа

Такі мережі також являються графами, але відрізняються додатковою інформацією, яка міститься в їх вузлах та дугах (ребрах). Серед них найбільш зручні для дослідження умов виникнення ОБП мережі стохастичної структури типу Петрі та GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) [13]. У мережеві моделі GERT вузлом є стадія розвитку польотної ситуації:

- $G_1$  – нормальна ситуація,
- $G_2$  – ускладнена ситуація,
- $G_3$  – складна ситуація,
- $G_4$  – аварійна ситуація,
- $G_5$  – катастрофічна ситуація),

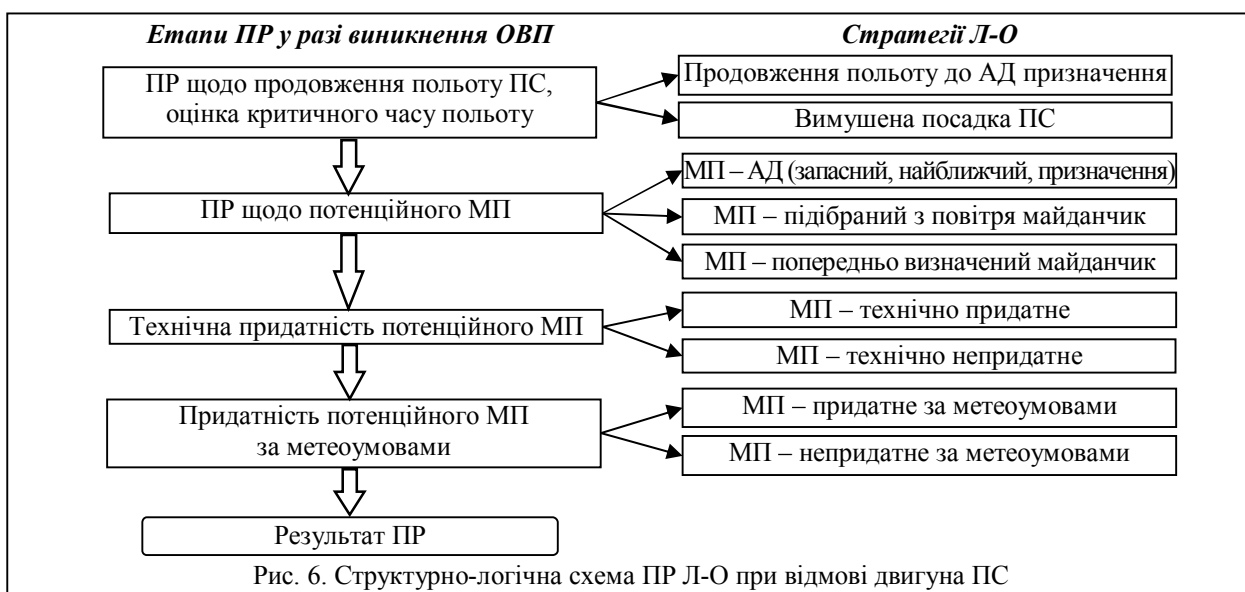
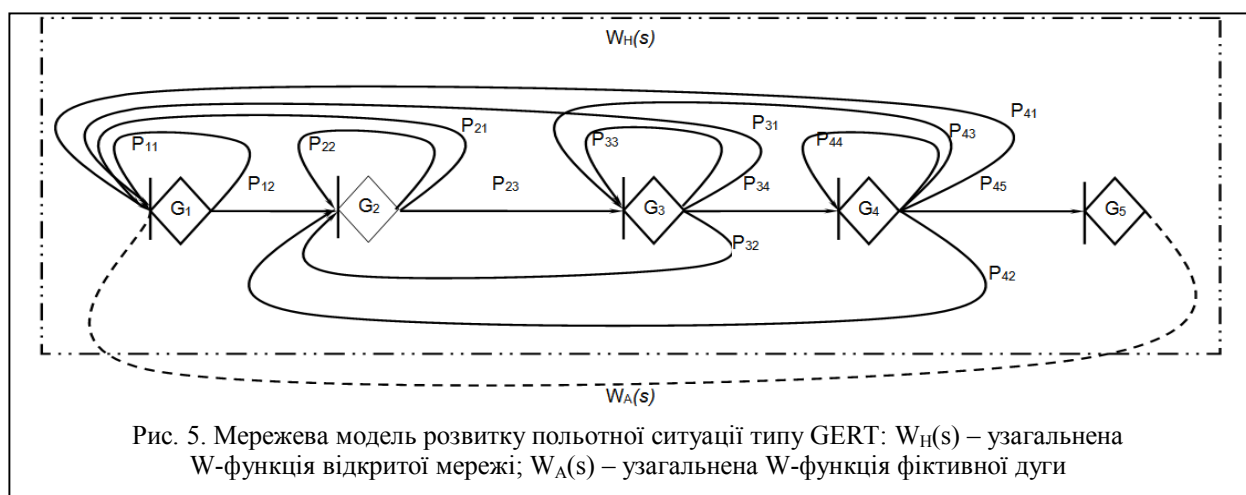
а дугами  $P_{11}-P_{ij}$  – процес переходу між стадіями польотної ситуації (рис. 5).

Для моделювання розвитку позаштатної ситуації у разі виникнення ОБП, була розроблена струк-

турно-логічна схема ПР Л-О на прикладі відмови двигуна [14] (рис. 6), згідно з якою Л-О ПР щодо:

- 1 – можливості продовження польоту до аеродрому призначення і критичного часу польоту ПС;
- 2 – типу потенційного місця посадки (МП) (аеродром (АД) або посадковий майданчик);
- 3, 4 – виду аеродрому (запасний, найближчий, призначення) та посадкового майданчика (підібраний з повітря або попередньо визначений);
- 5, 6 – технічної придатності потенційного МП;
- 7, 8, 9, 10 – можливості посадки в наявних метеоумовах.

На рис. 7 представлено приклад розрахунку дерева рішень в задачі вибору оптимального варіанта завершення польоту: вимушена посадка на найближчому технічно придатному аеродромі з придатними метеоумовами.



За допомогою дерева рішень проведено аналіз розвитку позаштатної польотної ситуації, яка сталася 3 липня 2001 року при виконанні третього розвороту для посадки в аеропорту Іркутська з літаком Ту-154М RA-85845 ВАТ «Владивосток-Авіа» і завершилася катастрофою [15]. Всі, хто знаходився на борту ПК (4 члени екіпажу, 5 бортпроводників і 136 пасажирів), загинули. Основними параметрами, порушення яких вплинули на результат даного польоту, були швидкість  $V$ , крен  $\beta$ , кут атаки  $\alpha$  і висота  $H$  ПС.

Значення ймовірностей сприятливого або несприятливого результату польоту в залежності від порушення певного параметра, обчислені експериментальним шляхом, наводяться в табл. 1. Структурну схему розвитку позаштатної польотної ситуації подано на рис. 8 (жирними лініями позначено дії екіпажу, що призвели до катастрофи ПС).

Виконаний аналіз дозволив зробити такі висновки:

1. Виникнення і розвиток позаштатної ситуації під час заходу на посадку стало наслідком пору-

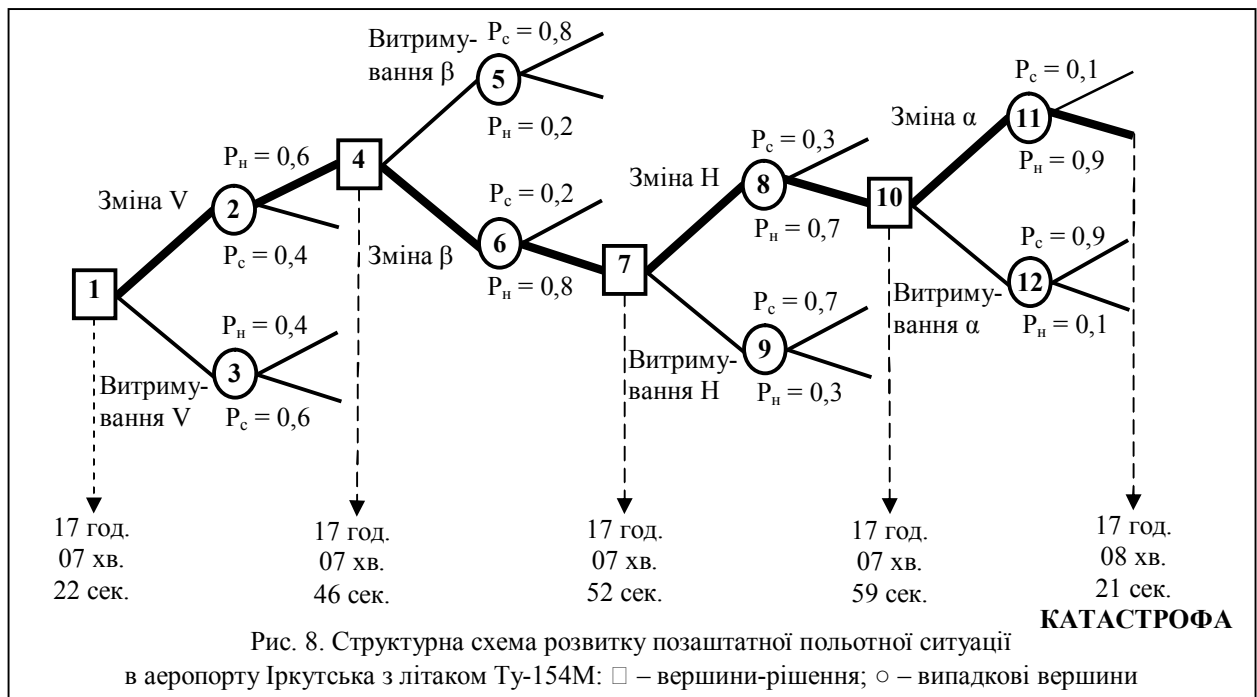
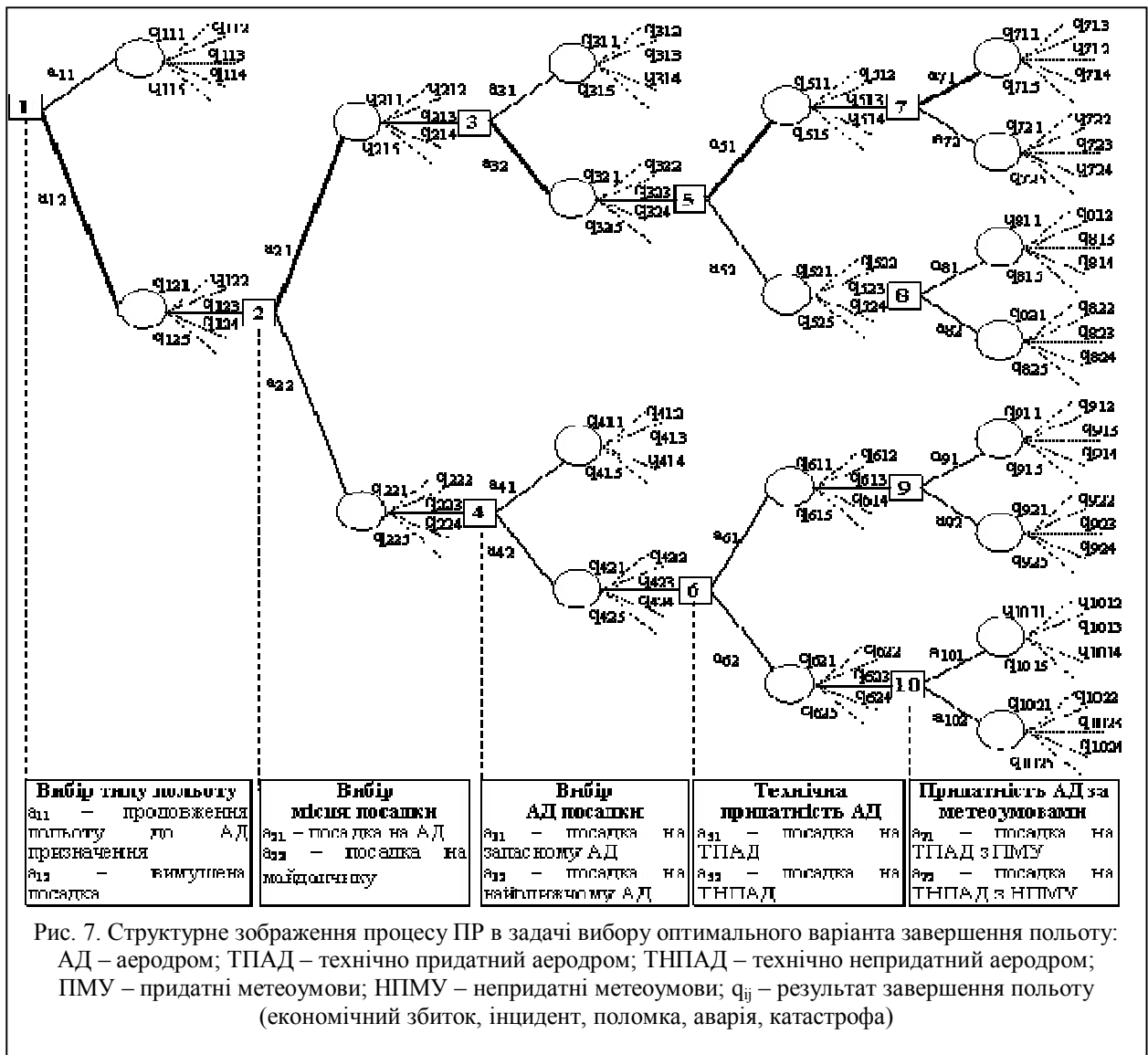
шення взаємодії в екіпажі, що призвело до неодноразового втручання в керування літаком командира ПС і до відсутності належного контролю за витриманням основних параметрів польоту (швидкості, кута крену, висоти, кута атаки).

2. У процесі третього розвороту літак був виведений на кути атаки спрацювання сигналізації, що попереджає про наближення до критичних режимів.

3. Дії пілотів ПС з виведення літака з небезпечного режиму зниження різким взяттям штурвалу на себе були неадекватними в ситуації, яка склалася, що призвело до звалювання літака, переходу його у штопор і зіткнення із землею.

4. Неузгодженим і неадекватним діям пілотів сприяв фактор поспіху у виконанні необхідних процедур, а також високий рівень психоемоційного напруження, що межує зі стресом.

Таким чином, дерево рішень дало можливість провести структурний аналіз проблеми, що дозволить в аналогічних ситуаціях знайти оптимальну альтернативу дій і попередити розвиток ситуації за неправильною схемою.



Значення ймовірностей сприятливого та несприятливого результатів польоту

Параметри польоту, що порушені	Значення ймовірностей сприятливого результату польоту, $P_c$	Значення ймовірностей несприятливого результату польоту, $P_n$
Порушення швидкості польоту, $\Delta V$	0,4	0,6
Порушення кута крену літака, $\Delta \beta$	0,2	0,8
Порушення висоти польоту, $\Delta H$	0,3	0,7
Порушення кута атаки літака, $\Delta \alpha$	0,1	0,9

### Інформаційна модель системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях

Для визначення оптимального місця посадки у разі виникнення ОВП розроблено інформаційну модель системи підтримки прийняття рішень (СППР) авіадиспетчера в позаштатних ситуаціях, що містить моделі прийняття рішень  $M_{ПР}$  і моделі розвитку польотної ситуації  $M_c$ . Структурно-логічні моделі прийняття рішення Л-О  $M_{ПР}$  та розвитку польотної ситуації  $M_c$  описуються множиною можливих альтернатив прийняття рішення Л-О  $\bar{A}$ , розвитку ситуації  $\bar{S}$ , а також ймовірних результатів завершення польоту  $\bar{Q}$  дерева рішень. Модель прийняття рішень Л-О  $M_{ПР}$  представимо у вигляді (1):

$$M_{ПР} = \{\bar{A}\} = A(\bar{P}_{БД}, \bar{V}_{БМ}, \bar{P}_{ЛО}), \quad (1)$$

де  $\bar{P}_{БД}$  – параметри бази даних;

$\bar{V}_{БМ}$  – моделі прийняття рішень;

$\bar{P}_{ЛО}$  – параметри бази Л-О.

Модель розвитку польотної ситуації  $M_c$  представимо як (2):

$$M_c = \{\bar{S}\} = S(\bar{P}_{БД}, \bar{V}_{БМ}, \bar{P}_s), \quad (2)$$

де  $\bar{P}_{БД}$  – параметри бази даних;

$\bar{V}_{БМ}$  – моделі прийняття рішень;

$\bar{P}_s$  – ймовірності виникнення наслідків ситуації  $\bar{Q} = \{q\}$ .

Ефективність альтернативних варіантів завершення польоту оцінюється на основі двошарової прямонаправленої штучної нейронної мережі (ШНМ) (двошарового перцептрона). Вихідним параметром ШНМ є визначена за допомогою функцій належності величина потенційного збитку, що відповідає вибору певного альтернативного варіанта завершення польоту  $\bar{G}$ ,  $\bar{G} = \{g_r\}$ ,  $r = \bar{1}, \bar{5}$  [16].

За критерій ефективності альтернативних варіантів завершення польоту  $Y_G$  прийнятий потенційний збиток внаслідок вибору певного альтернативного рішення при обмеженому часі польоту  $t_{пол} \leq t_{крит}$  (3–4):

$$Y_{Гаер} = f_G([\bar{B} \cup \bar{C}]P_{BC,G}); \quad (3)$$

$$Y_{Гмайд} = f_G([\bar{D} \cup \bar{E} \cup \bar{F}]P_{DEF,G}), \quad (4)$$

де  $Y_{Гаер}$ ,  $Y_{Гмайд}$  – потенційний збиток внаслідок вибору в якості варіанта завершення польоту аеродрому або посадкового майданчика відповідно;

$f_G$  – активаційна функція, яка застосовується поелементно до компонентів вектор-рядка, що розміщений у дужках;

$P_{BC,G}$ ,  $P_{DEF,G}$  – вагові коефіцієнти ШНМ, що є ймовірностями  $p_{ij}$  реалізації певного рішення на дереві рішень.

Розробка моделей прийняття рішень  $M_{ПР}$  та розвитку польотної ситуації  $M_c$  у разі виникнення ОВП включає наступні етапи:

1. Ідентифікація польотної ситуації  $S(t)$ .
2. Аналіз технології роботи  $T(t)$  Л-О (пілота, диспетчера) при виникненні польотної ситуації  $S(t)$ .
3. Алгоритм дій Л-О (пілота, диспетчера) при виникненні польотної ситуації  $S(t)$ .
4. Моделювання прийняття рішення Л-О  $M_{ПР}$  та розвитку польотної ситуації  $M_c$ .
5. Програмна реалізація моделей.

### Висновки

Розглянуто динамічну модель системи «людина-оператор – повітряне судно – середовище» та описано зміни станів польотних ситуацій від менш небезпечних до більш небезпечних і навпаки.

Проведено аналіз причин виникнення та сценаріїв розвитку ОВП за допомогою дерева інцидентів та дерева подій. Представлено приклад розрахунку дерева рішень в задачі вибору оптимального варіанта завершення польоту: вимушена посадка на найближчому технічно придатному аеродромі з додатними метеоумовами.

За допомогою дерева рішень проведено аналіз розвитку позаштатної польотної ситуації, яка сталася у 2001 р. в аеропорту Іркутська з літаком Ту-154М і завершилася катастрофою.

Розроблено інформаційну модель СППР авіадиспетчера в позаштатних ситуаціях, в якій для вибору оптимального варіанта завершення польоту використовується дерево рішень.

Запропонований підхід дозволяє моделювати розвиток польотних ситуацій, а також своєчасно діагностувати та прогнозувати можливі дії Л-О в

ОВП як в процесі тренажерної підготовки операторів складних систем управління, так і в СППР, що застосовуються в реальних умовах експлуатації ПС.

### Список літератури

1. Фундаментальные концепции человеческого фактора: сб. материалов по человеческому фактору № 1 / Circ. ICAO 216-AN/131. – Канада, Монреаль: ICAO, 1989. – 37 с.
2. Руководство по обучению в области человеческого фактора / Doc. 9683-AN/950. – 1-е изд. – Канада, Монреаль: ICAO, 1998. – 333 с.
3. Харченко В.П. Прийняття рішень оператором авіонавігаційної системи: монографія / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда. – Кіровоград: КЛА НАУ, 2012. – 292 с.
4. Казак В.Н. Математическая модель системы «Самолет – пилот – среда» в условиях развития особой ситуации в полете / В.Н. Казак, Е.Н. Тачинина // Проблемы информатизации та управління. – 2006. – № 3 (18). – С. 1-4.
5. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: учеб. пос. для студентов ВУЗов / П.Г. Белов. – М.: Издат. центр «Академия», 2003. – 512 с.
6. Кирхар Н. В. Модели деятельности пользователя компьютеризованной системы / Н.В. Кирхар, Д.В. Ходаков // Вестник Харьковского национального технического университета: Информационные технологии. – № 4 (27). – 2007. – С. 370-378.
7. Сёмик Т.М. Современные информационные технологии для изучения механизмов индивидуальной психофизиологической адаптации человека / Т.М. Сёмик, Т.А. Андон // Проблемы програмування: спец. вип. – 2008. – № 2-3. – С. 695-702.
8. Таха Х.А. Введение в исследование операций: пер. с англ. / Х.А. Таха. – 6-е изд. – М.: Издат. дом «Вильямс», 2001. – 912 с.
9. Филлипс Д. Методы анализа сетей: пер. с англ. / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас. – М.: Мир, 1984. – 496 с.
10. Human Factors Guidelines for Safety Audits Manual / Doc. 9806-AN/763. – 1-st Edition. – Canada, Montreal: International Civil Aviation Organization, 2002. – 138 p.

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. Shmelova T.F. Analysis of Human-Operator's Decision-Making in Air Navigation System / T.F. Shmelova, Y.V. Sikirda // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – №9 (52). – P. 287-292.

13. Шмелева Т.Ф. Качественный анализ семантической модели развития полетной ситуации / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сікірда // Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем: V міжнар. наук.-практ. конф., Кіровоград, 27-28 жовтня 2010 р.: тези доповідей. – Кіровоград: Державна льотна академія України, 2010. – С. 117-121.

14. Шмельова Т.Ф. Технологія розробки дерева прийняття рішень у випадку відмови двигуна на зльоті / Т.Ф. Шмельова, І.Л. Якуніна // Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем: V міжнар. наук.-практ. конф., Кіровоград, 27-28 жовтня 2010 р.: тези доповідей. – Кіровоград: Державна льотна академія України, 2010. – С. 128-132.

15. Сікірда Ю.В. Анализ принятия решений оператором во внештатных полетных ситуациях с помощью дерева решений / Ю.В. Сікірда, Е.А. Шеголев // АВІА-2006: VII міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 25-27 верес. 2006 р. – Т. 1: Аерокосмічні системи моніторингу та керування. – К.: Національний авіаційний університет, 2006. – С. 21.54-21.57.

16. Беляев Ю.Б. Моделирование процесса принятия решений оператором авіаційної ергатичної системи в особливих випадках польоту / Ю.Б. Беляев, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // Автоматизація виробничих процесів. – 2003. – № 2 (17). – С. 17-23.

Надійшла до редколегії 11.10.2013

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

### АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В АЭРОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ С ПОМОЩЬЮ СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сікірда, І.Л. Якуніна

Рассмотрена динамическая модель системы «человек-оператор – воздушное судно – среда» и описаны изменения состояний полетных ситуаций от менее опасных к более опасным и наоборот. Представлено использование диаграмм причинно-следственных связей под названием «дерево» (дерева инцидентов, дерева событий и дерева решений) для анализа причин возникновения и сценариев развития особых случаев в полете. Разработана информационная модель системы поддержки принятия решений авиадиспетчера во внештатных полетных ситуациях.

**Ключевые слова:** системный анализ, полетная ситуация, вероятность перехода, особый случай в полете, граф, семантическая модель, дерево инцидентов, дерево событий, дерево решений, сеть GERT, система поддержки принятия решений.

### ANALYSIS OF DECISION-MAKING MODELS IN AIR NAVIGATION SYSTEM BY SEMANTIC NETWORKS

T.F. Shmelova, Y.V. Sikirda, I.L. Yakunina

The dynamic model of «human-operator – aircraft – environment» system has considered and the changes of flight situations' states from less dangerous to more dangerous and conversely have described. Usage of the causation charts called "tree" (incident trees, event trees and decision trees) for analysis of the reasons of occurrence and of the scenarios of development of flight emergencies has presented. The information model of the air traffic controllers' decision making support system in flight emergencies has designed.

**Keywords:** system analysis, flight situation, transition probability, flight emergency, semantic model, incident tree, event tree, decision tree, GERT network, decision making support system.