

*Міністерство освіти і науки України*  
Національний авіаційний університет

Харченко В.П., Шмельова Т.Ф., Сікірда Ю.В.

**ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ  
В СОЦІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ**

**М о н о г р а ф і я**

**Київ 2016**

УДК 656.7.052  
ББК 39.57

**Автори:**

*В.П. Харченко*  
*Т.Ф. Шмельова*  
*Ю.В. Сікірда*

**Рецензенти:**

**С.М. Неділько**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри обслуговування повітряного руху Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету;

**Ю.Б. Беляєв** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інтегрованих автоматизованих систем управління, Національний університет харчових технологій;

**К.С. Сундучков** - доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

*Рекомендовано до друку вченою радою Національного авіаційного університету (протокол № 8 від 26 жовтня 2016 р.).*

Харченко В.П. Прийняття рішень в соціотехнічних системах: монографія / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда. – Київ: НАУ, 2016. – 309 с.

В монографії проведено системний аналіз та формалізовано фактори, що впливають на діяльність операторів соціотехнічної системи. Надано детерміновані, стохастичні, нейромережеві, марковські, GERT-моделі прийняття рішень оператором соціотехнічної системи з урахуванням впливу індивідуальних і соціальних факторів з практичними рекомендаціями для розрахунку відповідних моделей. Наведено оцінку впливу факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства на діяльність операторів соціотехнічної системи.

Для науковців, викладачів, докторантів, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

© Харченко В.П., Шмельова Т.Ф., Сікірда Ю.В., 2016  
©НАУ, 2016

## ЗМІСТ

<b>Список умовних скорочень.....</b>	<b>5</b>
<b>Вступ.....</b>	<b>7</b>
<b>1. Дослідження процесів прийняття рішень оператором соціотехнічної системи.....</b>	<b>19</b>
1.1. Проблеми прийняття рішень оператором соціотехнічної аеронавігаційної системи.....	19
1.2. Системний аналіз факторів, що впливають на прийняття рішень оператором соціотехнічної системи.....	33
1.3. Оцінка впливу факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства на діяльність оператора соціотехнічної системи.....	70
1.4. Декомпозиція процесу прийняття рішень в соціотехнічній системі.....	84
<b>2. Моделі прийняття рішень оператором соціотехнічної системи.....</b>	<b>100</b>
2.1. Аналіз моделей прийняття рішень оператором соціотехнічної системи.....	100
2.2. Детерміновані моделі прийняття рішень оператором соціотехнічної системи.....	109
2.3. Моделі прийняття рішень в умовах ризику і невизначеності.....	134
2.4. Альтернативний мережевий аналіз розвитку польотних ситуацій за допомогою стохастичних мереж типу GERT.....	172
<b>3. Моделі біполярного вибору оператором аеронавігаційної системи.....</b>	<b>193</b>
3.1. Моделі переваг операторів соціотехнічної системи.....	193
3.2. Рефлексивні моделі біполярного вибору оператором аеронавігаційної системи.....	211
3.3. Графоаналітичні моделі прийняття рішень оператором соціотехнічної системи.....	227
3.4. Метод узагальнення неоднорідних факторів за допомогою теоретико-множинного	239

підходу.....	
<b>Висновки</b> .....	249
<b>Список використаних джерел</b> .....	250
<b>Додатки</b> .....	286
Додаток А. Експертний метод оцінювання впливу факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства на авіаційну діяльність.....	287
Додаток Б. Приклад прийняття рішень екіпажем повітряного корабля у разі відмови електрогенераторів методом мережевого планування.....	292
Додаток В. Приклад прийняття рішень екіпажем повітряного корабля в позаштатних польотних ситуаціях в умовах ризику за допомогою дерева рішень.....	295
Додаток Г. Приклад розрахунку стохастичної мережі типу GERT для аналізу розвитку польотної ситуації.....	300
Додаток Д. Приклад прийняття рішень екіпажем повітряного корабля в умовах невизначеності.....	304

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АВ – аеродром вильоту  
АД – аеродром  
АДВ – аеродромна диспетчерська вишка  
АЕС – авіаційна ергатична система  
АНІ – аеронавігаційна інформація  
АП – авіаційні події  
АПр – аеродром призначення  
АНС – аеронавігаційна система  
АРМ – автоматизоване робоче місце  
АС – автоматизована система  
АСППІ – автоматизована система підготовки передпольотної інформації  
АТС – авіатранспортна система  
АФЧХ – амплітудно-фазочастотна характеристика  
БД – база даних  
ВА – військова авіація  
ДПО – динамічна повітряна обстановка  
ЕПК – екіпаж повітряного корабля  
ЕС – ергатична система  
ЗА – запасний аеродром  
ЗнС – зовнішнє середовище  
ЗПС – злітно-посадкова смуга  
ІЗ – інформаційне забезпечення  
КЕ – керувальний елемент  
КЛЕ – Керівництво з льотної експлуатації  
КПК – командир повітряного корабля  
ЛМС – людино-машинна система  
Л-О – людина-оператор  
ЛТХ – льотно-технічні характеристики  
ЛПР – людина, яка приймає рішення  
МАК – Міжнародний авіаційний комітет  
МП – місце посадки  
МУ – метеорологічні умови  
НМЯ – небезпечні метеорологічні явища  
ОВП – особливий випадок у польоті  
ОД – область досяжності

ОК – об’єкт керування  
ОКХ – освітньо-кваліфікаційна характеристика  
ООД – орієнтовна основа діяльності  
ОПП – освітньо-професійна програма  
ОПР – обслуговування повітряного руху  
ПВЯ – професійно важливі якості  
ПД – психологічна дихотомія  
ПК – повітряний корабель  
ПКС – потенційно конфліктна ситуація  
ПН – професійне навчання  
ПР – прийняття рішень  
ПРР – пошуково-рятувальні роботи  
РД – рульова доріжка  
РНЗ – радіонавігаційні засоби  
РТЗ – радіотехнічні засоби  
РФЗ – рівень фізичного зношування  
СМЛ – соціонічна модель людини  
СМУ – складні метеорологічні умови  
СППР – система підтримки прийняття рішень  
СТ АНС – соціотехнічна аеронавігаційна система  
СТО – світлосигнальне обладнання  
СТС – соціотехнічна система  
ССУ - складна система управління  
СУБД – система управління базами даних  
ТІМ – тип інформаційного метаболізму  
ТО – технологічні операції  
ТТХ – тактико-технічні характеристики  
УПР – управління повітряним рухом  
ЦА – цивільна авіація  
ШІ – штучний інтелект  
ШНМ – штучна нейронна мережа  
ADM – Aeronautical Decision Making  
FAA – Federal Aviation Administration  
ICAO – International Civil Aviation Organization

## ВСТУП

У теперішній час однією з основних стратегічних проблем людства на шляху до сталого розвитку є безпека і надійність 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 [270]. Надзвичайні ситуації, катастрофи, аварії на гідротехнічних, хімічних і військових виробництвах, газо- і нафтопроводах, атомних електростанціях, а також на транспорті стають частим і звичайним явищем. Авіаційні системи, в яких відбувається тісна взаємодія між людиною та технологічними компонентами, також еволюціонували в сторону комплексних соціотехнічних систем [270; 276]. Соціотехнічні системи, як правило, мають дві спільні риси: наявність небезпечних видів діяльності та застосування високих технологій.

*Метою досліджень* є представлення однієї з концепції – прийняття рішень людиною-оператором (Л-О) як елемента сучасної соціотехнічної людино-машинної системи.

Поява терміну «*sociotechnical systems*» є наслідком тісної взаємодії соціальних і технічних факторів, що створює новий, часом непередбачуваний синергетичний ефект. Великомасштабні високотехнологічні системи, такі як виробництво ядерної енергії та авіація називають соціотехнічними системами, так як вони вимагають складних взаємодій між людськими і технологічними компонентами [256; 279; 280].

*Теорія соціотехнічних систем* є теорією про взаємодію людей, суспільства, технічних засобів і технологій. Соціотехнічна теорія, на відміну від соціально-технічної системи, пропонує цілий ряд різних шляхів досягнення спільної оптимізації.

Вважається, що авіація є самим безпечним видом масових перевезень і однією із самих безпечних соціотехнічних виробничих систем в історії людства. Усього за сторіччя авіація пройшла шлях у сфері безпеки польотів від нестабільної системи до першої «ультрабезпечної» системи в історії

транспорту, тобто такої системи, у якій кількість катастрофічних відмов у сфері безпеки польотів складає менш одного на мільйон виробничих циклів [264].

За даними ІСАО [269] останнім часом кількість авіаційних подій (АП) у світі зменшилася. Унаслідок зменшення кількості авіаційних подій, а також збільшення вильотів, частота авіаційних подій у світі в 2012 р. скоротилася до 3,2 подій на мільйон вильотів, а у 2013 р. – до 2,8 подій на мільйон вильотів: це найнижчий показник з тих пір, як ІСАО стала відслідковувати частоту авіаційних подій у світі. Але хоча усунення авіаційних подій та/або серйозних інцидентів залишається кінцевою метою людської діяльності в області забезпечення безпеки польотів, проте авіаційні системи не можуть бути цілком вільні від небезпечних факторів і пов'язаних з ними ризиків. Ніяка діяльність людини або створеної нею системи не гарантована від повної відсутності експлуатаційних помилок та їх наслідків [2; 265; 270; 276]. Таким чином, безпека є динамічною характеристикою авіаційної галузі, за допомогою якої фактори ризику для безпеки польотів повинні неухильно знижуватися. Важливо відзначити, що на прийняття показників ефективності забезпечення безпеки польотів часто впливають внутрішні та міжнародні нормативи, а також культурні особливості [267; 298]. Поки фактори ризику для безпеки польотів і експлуатаційні помилки знаходяться під розумним контролем, такою відкритою і динамічною системою, якою є цивільна авіація, можна управляти, забезпечуючи необхідний баланс між виконанням польотів сучасними повітряними кораблями і вимогою захисту пасажирів і майна [266].

ІСАО постійно розробляє та удосконалює більш *проактивні*, засновані на оцінці ризиків методи, спрямовані на подальше зменшення кількості авіаційних подій у світі, а також призиває авіаційні співтовариства визнати важливість дотримання єдиного глобального підходу для поліпшення і моніторингу безпеки [269]. Сучасний підхід, що заснований на характеристиках (performance-based approach – PBA) [268], базується на наступних трьох принципах:

– основний акцент на бажані/необхідні результати;



– прийняття інформованих рішень, орієнтованих на бажані/необхідні результати;

– використання фактів і даних при прийнятті рішень.

При цьому принцип «використання фактів і даних при прийнятті рішень» припускає, що задачі повинні відповідати широко відомому в західному менеджменті критерію *SMART* [268], що представляє собою аббревіатуру з п'яти англійських слів: *specific* (конкретний), *measurable* (вимірний), *achievable* (досяжний), *relevant* (порівнянний) і *timebound* (визначений у часі). Такий рівень точності визначень задач може бути досягнутий тільки шляхом послідовного і структурованого опису неоднорідних компонентів авіаційної галузі – авіаційних підприємств, авіаційного персоналу, авіаційної інфраструктури, технічного обладнання, процедур, правил та інформації, застосування яких спрямовано на створення умов та використання повітряного простору людиною за допомогою повітряних суден [7; 9].

У даний час у світовій практиці складається новий підхід до забезпечення безпеки польотів. Замість звичного для нас терміну «система управління безпекою польотів», ІКАО вводить інше визначення – «*система менеджменту безпеки авіаційної діяльності*» [266]. Дане формулювання має на увазі зв'язування в одне ціле, у єдину систему різних об'єктів і суб'єктів авіаційної діяльності. До суб'єктів авіаційної діяльності відносяться розробники і виробники авіаційної техніки, авіакомпанії-експлуатанти, аеропорти, організації, що здійснюють технічне обслуговування і ремонт повітряних кораблів, а також наземне обслуговування. У цей же ряд входять органи обслуговування повітряного руху, авіаційні навчальні заклади, науково-дослідні та проектні авіаційні організації, авіаційна влада. Кожний з суб'єктів авіаційної діяльності використовує для забезпечення виробничих процесів та діяльності цивільної авіації відповідні об'єкти: повітряні кораблі, їх компоненти та обладнання, виробниче обладнання, авіаційну наземну техніку, аеродромне і трасове обладнання (радіо- та електротехнічні засоби), інженерно-технічні споруди, інше рухоме та нерухоме майно тощо. Об'єднати названі елементи авіаційної галузі є досить складною задачею.

Починаючи з періоду «організаційної ери» (1990-ті рр. – теперішній час) безпека польотів стала розглядатися системно, охоплюючи організаційні, людські і технічні фактори. Також у цей час в авіації з'явилося поняття «авіаційної події з організаційних причин», з огляду на той вплив, що чинять організаційна культура і політика на ефективність системи контролю за факторами ризику для безпеки польотів. Модель «швейцарського сиру» Д. Різона показує, що значну роль у причинності авіаційних подій відіграють організаційні та управлінські фактори [3; 266].

Але у документах ІКАО немає чіткої номенклатури показників безпеки авіаційної діяльності та методів їх визначення у межах кожного авіапідприємства, запропоновано тільки підходи до їх якісної оцінки [266]. Побудова ефективної системи менеджменту безпеки авіаційної діяльності потребує комплексного дослідження середовища, в якому функціонують авіапідприємства. Оцінювання ступеня впливу факторів середовища менеджменту авіапідприємства на ефективність функціонування системи менеджменту безпеки авіаційної діяльності є перспективною задачею.

*Розглянемо ознаки аеронавігаційної системи, як соціотехнічної системи.* Аеронавігаційна система являє собою складну людино-машинну систему (ЛМС), яка завдяки використанню спеціальних технічних засобів забезпечує організацію повітряного руху безпечним, регулярним та ефективним аеронавігаційним обслуговуванням. Виконання цих вимог за різної інтенсивності та щільності польотів, несприятливих погодних умов, можливих відмов засобів аеронавігації і впливу людського фактора, є складним завданням, вирішенням якого займаються вчені й авіаційні фахівці протягом усієї історії авіації. Статистичні дані про авіаційні події (АП) за останні десятиліття вказують на домінуючу роль впливу людського фактора на загальну кількість АП, що становить близько 80% [3; 84; 85; 176]. Тому оцінювання, аналіз, прогнозування та підвищення ефективності людського фактора залишаються актуальним.

Значна частка АП припадає на свідомі порушення членами екіпажів повітряних кораблів (ПК) льотних законів, правил та

інструкцій [84; 164] та порушення в процесі передпольотної підготовки. Це свідчить, по-перше, що аеронавігаційну систему (АНС) за принципами функціонування слід вважати соціотехнічною системою (СТС)<sup>1</sup>, і, по-друге, що саме оптимізація соціально-психологічних факторів як у процесі виконання польоту, так і на стадії передпольотної підготовки обумовлює значні можливості скорочення кількості АП. Отже, вирішення проблеми моделювання і оптимізації діяльності операторів та їх колективів в АНС як соціотехнічної системи, є метою досліджень.

Визначимо фактори та обставини, що слід обов'язково враховувати для досягнення цієї мети.

1. *Системний характер проблеми.* Підвищення безпеки функціонування людини-оператора (Л-О) лежить за межами однієї галузі знань і може бути досягнуте тільки у межах системного підходу. Дослідження професійної діяльності людини є предметом досліджень для інженерної психології, ергономіки, психології і фізіології праці. Незважаючи на постійне удосконалення техніки, автоматизацію процесу діяльності, функції людини ускладнюються, а економічна і соціальна значущість результатів його праці та наслідків підвищується. Зростаюча ціна помилок оператора визначає постійну необхідність пошуку шляхів і засобів забезпечення ефективного функціонування людини в нормальних і екстремальних умовах діяльності.

2. *Недосконалість існуючих моделей діяльності оператора.* Одним з основних факторів аварій і катастроф, що сталися внаслідок людської помилки [280] є відсутність «операційного розуміння ситуації». «Операційне розуміння ситуації» є життєво важливим елементом діяльності у тих випадках, коли велика інтенсивність інформаційного потоку і неправильне рішення

---

<sup>1</sup> *Аеронавігаційна соціотехнічна система* – складна великомасштабна, високотехнологічна людино-машинна система (ЛМС), функціонування якої пов'язане з діяльністю Л-О в умовах високого ризику/високої безпеки, результати дії яких можуть бути небезпечними, часто катастрофічними з точки зору втрати життя і майна [270]. Чим більше Л-О за допомогою високих технологій контролює виробничий процес, тим більш непрозорим стає результат діяльності системи, що супроводжується високим ступенем ризику виникнення катастрофічних наслідків [267].

може призвести до тяжких наслідків. Моделі поведінкової діяльності Л-О М. Ендслі «Situational Awareness» («операційне розуміння ситуації») та групи людей «Team Situational Awareness», «SHELL-Team» [267; 279] вводять це поняття та визначають можливості Л-О ефективно діяти в критичних ситуаціях для відносно простих ергатичних систем, які ще не стали соціотехнічними.

Кібернетична модель американського військового полковника Дж. Бойда OODA (Observe – спостерігай, Orient – орієнтуйся, Decide – вирішуй, Act – дій) [275] є спрощеною моделлю людської діяльності в умовах збройної боротьби. В моделі фактично має місце розвиток ситуації по спіралі, взаємодія із зовнішнім середовищем на кожному витку спіралі та відповідний вплив на супротивника. Але в циклі немає наслідування досвіду, що є найважливішим елементом систем підтримки прийняття рішень. У моделі прийняття рішення в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації повітряного корабля (ПК), розробленою авторами, як супротивник визначений особливий випадок в польоті (ОВП).

Еволюцію авіаційних систем у бік соціотехнічних систем можна дослідити за змінами та доповненнями відомої моделі людського фактора SHELL (1972 р.), інтерфейсами, пов'язаними з культурою людини-оператора – «SHELL model and CRM» – «Software (procedures), Culture (культура), Hardware (machines), Environment, Liveware, Liveware (humans)» [270].

*3. Неповний перелік факторів, що впливають на прийняття рішення, недостатнє дослідження їх синергії та порогового ефекту.* Для допомоги пілоту та зниження аварійності у разі аварійних ситуацій, керівництвом FAA (Federal Aviation Administration - Федеральне управління цивільної авіації) рекомендовані ряд моделей управління небезпекою та ризиками, а саме 5P, 3P, CARE, TEAM, OODA, DECIDE та ін. [294]. Авторами пропонується систематизація факторів, що впливають на прийняття рішення (ПР) Л-О відповідно до теоретичних і практичних рекомендацій за результатами моделей, що застосовуються як у авіації, так і в складних ЛМС, а саме: факторів зовнішнього середовища, факторів, що впливають на

ПР Л-О, стадію розвитку польотної ситуації, умов експлуатації ПК.

Відтак у нормальній ситуації оператором виконуються стандартні процедури пілотування та обслуговування повітряного руху (ОПР), які чітко регламентовані нормативними документами. Позаштатні ж ситуації вимагають оперативного втручання Л-О в розвиток подій для попередження переходу ситуації в ранг катастрофічної. При цьому керівництво з льотної експлуатації розраховано тільки на очікувані умови експлуатації ПК і не включає в себе дії екіпажу в екстремальних умовах, зустрічі з якими можна надійно уникнути шляхом уведення експлуатаційних обмежень і правил. Через це в близько 20% випадків екіпаж не має чітких інструкцій з парировання позаштатних ситуацій на борту ПК [84; 85]. Основна частина авіаційних подій виникає в так званих неочікуваних умовах експлуатації ПК [84; 85]. Крім досвіду, що входить до професійної підготовки Л-О, ергономічних особливостей АНС та інформаційного забезпечення Л-О, на професійну діяльність Л-О значний вплив мають так звані непрофесійні чинники, особливо у разі ПР Л-О в неочікуваних умовах експлуатації ПК [164; 297; 298].

4. *Недосконалість методик відбору, підготовки та контролю стану операторів.* Існуючі підходи орієнтовані на перевірку і контроль окремих чинників (психофізіологічного [82; 83; 281], поведінкового [91; 92], ергономічного [71–73], професійного [92] тощо) і не враховують функціонального стану Л-О в умовах динамічної зміни зовнішніх та внутрішніх факторів [270; 276; 280; 289]. Навколишні умови визначають реакцію Л-О, а його реакція, у свою чергу, змінює умови навколишнього середовища. Представлення АНС як соціотехнічної системи 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 Г. Хофстед припускає, що культура є «колективним програмуванням розуму» [270]. Вченими,

останнім часом, застосовується термін «відхилення за совістю» при розгляданні причин авіаційних подій через недостатній розвиток у людини, що приймає рішення (ЛПР) відповідних культурних цінностей [3; 84]. Слід підсилити роль цих факторів у відповідних методиках.

5. *Неадекватність математичного апарату, що використовується для моделювання та оптимізації діяльності оператора.* Одним із засобів дослідження діяльності оператора є її формалізація і математичний опис. Для класичного математичного апарату це неможливо: властивості складних систем суперечать аксіоматичним визначенням множин і операцій. Альтернативним рішенням є використання теоретико-множинного підходу до формалізації окремих підсистем та рівнів ПР оператором складної ергатичної системи (ЕС), застосування теоретико-експериментальних методів для математичних прогнозів, що коригуються за результатами експериментів, або розроблення нової аксіоматики суто для складних ЕС і створення нової стратегії оптимізації діяльності оператора в системі керування. Урахування впливу на ПР Л-О АНС окрім професійних факторів (знання, навичок, вміння, досвіду), факторів непрофесійного характеру (індивідуально-психологічних, психофізіологічних та соціально-психологічних), дозволяє прогнозувати дії Л-О на основі моделювання передбачення «великомасштабних» наслідків індивідуальних дій за допомогою теорії рефлексивного вибору В. Лефевра [86; 87].

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 [36], В.Г. Денисов, В.Ф. Оніщенко [51]; моделювання динамічних характеристик Л-О – І.С. Цибулевський [172], В.М. Казак [63; 64]; характеристики Л-О – М.А. Котик [71–73], Б.Ф. Ломов [88; 89] та ін.);

– соціальної психології (групове ПР – Г.М. Андрєєва [18], Д. Майєрс [90], Дж. Морено [106], Н.В. Бахарєва [182]; сприйняття інформації, ПР, як способу організації взаємодії із зовнішнім середовищем – К. Бріггс, І. Майєрс [90];

інформаційний обмін особистості з середовищем – А. Аугустінавічюте [26], соціоніка із застосуванням в системі професійного відбору авіаційних фахівців – М.Ф. Михайлік, С.Д. Малишевський [84; 85]).

Процеси подання, розпізнання і сприйняття інформації, прийняття оптимальних рішень досліджені у працях В.Г. Денисова [51], Р.Л. Кіні, Х Райфа [125]; ергономічні засади ПР – у роботах О.М. Реви [126; 127]. ПР Л-О в інформаційних системах та декомпозиційно-агрегативні підходи розв'язання багатокритеріальних задач – у роботах А.М. Вороніна [39]. Розвиток теорії ПР та їх практичне застосування у вигляді інформаційного забезпечення систем підтримки прийняття рішень (СППР) відображено у працях Б.М. Герасимова [41–43], В.М. Локазюка [42], І.Б. Сіроджи [148; 149]. Проектуванню адаптивних систем керування складними технологічними об'єктами присвячено праці [62; 128]. Теоретичні засади моделювання систем штучного інтелекту досліджували В.М. Глушков, О.Г. Івахненко, П.К. Анохін, Г.С. Поспелов [17; 118; 119]; інтелектуальні СППР при управлінні повітряним рухом (УПР) – В.М. Неділько [110], І.М. Глухих [44], К.К. Петров [115], науково-методологічні основи забезпечення функціональної стійкості автоматизованих систем (АС) УПР розглянуто в працях С.М. Недільки [109]. Розвиток інтелектуальних засобів для систем керування транспортом та автоматичним ПР у конфліктних ситуаціях, удосконалення системи аеронавігаційного обслуговування та дослідження АНС як СТС – В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова. Математичні моделі людини в умовах морального вибору представлені теорією рефлексії В.О. Лефевра [86; 87], працями Т.А. Таран., В.М. Шемаєва [153; 179]. Математичні моделі пам'яті Л-О розроблені В.Ф. Прісняковим і Л.М. Прісняковою [121; 122]. Структура середовища менеджменту підприємства докладно розглянута у працях таких видатних науковців у галузі менеджменту, як М. Мескона, М. Альберта та Ф. Хедоурі [94; 293]. Багато досліджень пов'язано з визначенням впливу факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства на ефективність його комерційної діяльності. 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. Дослідження спрямовані на вирішення окремих питань; інтеграція їх результатів у межах системного підходу ще не здійснена. Крім того, відзначимо, що названі дослідження спираються на класичний математичний апарат, можливості якого щодо формалізації функціонування складних систем є обмеженими. Системний же підхід потребує розгляду всіх взаємозв'язків різних компонентів авіаційної системи, визнаючи, що зміни в одній області можуть вплинути на іншу (можливо, непередбачену) область [129; 137; 141; 270].

Із наведеного огляду впливають такі задачі, розв'язання яких необхідне для досягнення мети роботи:

1. Соціотехнічний аналіз АНС, виявлення, систематизація та формалізація факторів, які впливають на ПР оператора в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК.
2. Декомпозиція процесу ПР оператором аеронавігаційної СТС.
3. Розроблення моделей ПР і розвитку польотної ситуації у разі виникнення аварійної ситуації, методики аналізу ПР і методології прогнозування розвитку аварійної ситуації.
4. Оцінювання, оптимізація ПР, розрахунок сценаріїв розвитку аварійної польотної ситуації.
5. Інформаційне забезпечення системи підтримки прийняття рішень (СППР) оператором АНС в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК.
6. Розроблення інформаційно-аналітичного діагностичного комплексу оцінювання дій оператора, прогнозування розвитку польотної ситуації, дослідження закономірностей діяльності операторів і їх колективів.
7. Оцінювання впливу факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства на діяльність операторів соціотехнічної системи.

Для розв'язання поставлених у роботі задач використані методи: теоретико-множинний підхід для формалізації окремих підсистем та рівнів ПР оператором АНС, теоретико-експериментальні – для розробки математичних моделей



інтелектуальної діяльності, теорії ймовірності, випадкових процесів та математичної статистики для оброблення експериментальних даних, методи експертних оцінок для оброблення експертних даних, дослідження операцій для побудови математичних моделей поведінки оператора в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК, а також методи математичного та комп'ютерного моделювання, апарат нейронних мереж, дисперсійний аналіз, теорія графів, теорія рефлексії.

Для забезпечення гармонізації із чинними міжнародними нормативними документами, дослідження виконуються в рамках концепцій ІКАО з проблем людського фактора, які можуть виникнути при впровадженні систем CNS/ATM [1; 6]: «орієнтована на людину автоматизація», «ситуативна обізнаність», «контроль за помилками».

Дослідження мають зв'язок з наступними держбюджетними науково-дослідними роботами:

– «Моделювання комплексу для оцінювання ризику прийняття рішень авіадиспетчером з урахуванням індивідуальних якостей людини-оператора в автоматизованій системі з застосуванням методів штучного інтелекту» (2007 – 2008 рр., науковий керівник Т.Ф. Шмельова);

– «Розробка системи оцінювання ефективності прийняття рішень людиною-оператором авіаційної ергатичної системи в неочікуваних умовах експлуатації повітряного судна з урахуванням психофізіологічних якостей пілота і диспетчера» (2009-2010 рр., науковий керівник Т.Ф. Шмельова);

– «Розробка системи підтримки прийняття рішень людиною-оператором авіаційної ергатичної системи при виникненні особливих випадків в польоті» (2011-2012 рр., науковий керівник Т.Ф.Шмельова).

– «Розробка комплексу оцінювання та прогнозування ситуації в соціотехнічних аеронавігаційних системах за умов ризику та невизначеності» (2013-2014 рр., науковий керівник – В.П. Харченко).

– «Інформаційно-аналітичний діагностичний комплекс для дослідження закономірностей діяльності операторів і їх

колективів в аеронавігаційній системі» (2013-2014 рр., науковий керівник – Т.Ф. Шмельова).

– «Методологія ситуаційного колективного управління пілотованими і безпілотними літальними апаратами в єдиному повітряному просторі» (2015-2017 рр., науковий керівник – В.П. Харченко).

Напрямок досліджень авторів є розроблення системи оцінювання ефективності ПР Л-О СТ АНС в очікуваних і в неочікуваних умовах експлуатації ПК з урахуванням впливу факторів професійного та непрофесійного (соціально-психологічних, індивідуально-психологічних і психофізіологічних) характеру.

Розроблення методологічних і методичних принципів для побудови інтегрованої динамічної системи ситуаційного управління пілотованими і безпілотними літальними апаратами (БПЛА) в єдиному повітряному просторі (ПП) в умовах зміни паритетів в суспільстві, тобто в умовах ризику, невизначеності, багатокритеріальності, багатофункціональності, динаміки зовнішнього середовища.

# 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ОПЕРАТОРОМ АЕРОНАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

## 1.1. Проблеми прийняття рішень оператором соціотехнічної аеронавігаційної системи

Аеронавігаційні системи за принципами функціонування можна віднести до соціотехнічних систем, в яких відбувається тісна взаємодія між людиною та технологічними компонентами [270]. Більшість досліджень пов'язане з забезпеченням безпеки в атомній енергетиці та хімічній промисловості [274; 279]. В АНС забезпечення безпеки досить актуальне для попередження загроз на оперативному рівні, наприклад, при поломці технічного обладнання або помилці експлуатаційного персоналу [79]. Забезпечення безпеки польотів в АНС за допомогою високотехнологічних процесів насамперед залежить від надійності людини-оператора та його своєчасних професійних рішень.

Для проведення досліджень процесів ПР Л-О в АНС як СТС розглянемо АНС з точки зору системного аналізу, як систему, яка є сукупністю підсистем і елементів, що забезпечує ціль функціонування. Аеронавігаційна система<sup>2</sup>, є необхідною складовою авіаційного транспорту і призначена для високоефективного забезпечення польотів. Предметом дослідження є ПР користувачами повітряного простору<sup>3</sup> при аеронавігаційному обслуговуванні<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> *Аеронавігаційна система* (air navigation system) – сукупність організацій, персоналу, інфраструктури, технічного обладнання, процедур, правил та інформації, що застосовуються для забезпечення користувачів повітряного простору безпечним, регулярним та ефективним аеронавігаційним обслуговуванням [9].

<sup>3</sup> *Користувач повітряного простору* – юридична або фізична особа, яка має право провадити діяльність, пов'язану з використанням повітряного простору (пілот, диспетчер, бортінженер, льотний диспетчер та інші) [9].

<sup>4</sup> *Аеронавігаційне обслуговування* – обслуговування, яке здійснюється провайдером аеронавігаційного обслуговування на всіх етапах польоту повітряних суден, що включає організацію повітряного руху, зв'язок, навігацію, спостереження (радіотехнічне обслуговування), пошук і рятування, метеорологічне обслуговування та надання аеронавігаційної інформації [9].

Підсистеми АНС – організації, персонал, інфраструктура, технічне обладнання, процедури, правила та інформація, а також користувачі повітряного простору (рис. 1.1).

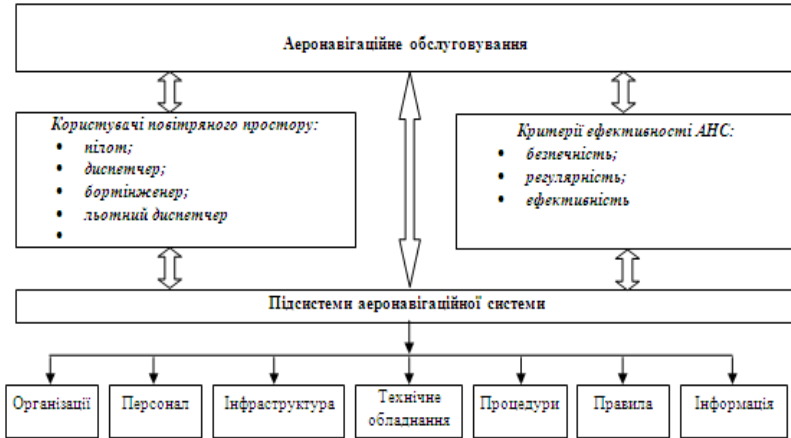


Рис. 1.1. Структурна схема аеронавігаційної системи

Аеронавігаційна система є частиною авіатранспортної системи (АТС)<sup>5</sup>. Вітчизняними Правилами створюються умови для ефективного функціонування АТС та встановлюються вимоги щодо виконання польотів ПК та ОПР<sup>6</sup> у повітряному просторі відповідно до стандартів та Рекомендованої практики Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) [4; 5; 9–12].

<sup>5</sup> *Авіатранспортна система* є сукупністю разом діючих ПК, комплексу наземних засобів підготовки і забезпечення польотів, системи управління процесом діяльності особового складу. АТС повинна відповідати наступним критеріям: безпеки польотів, регулярності та ефективності експлуатації ПК. Кожний авіаційний фахівець, який PR, є складовою частиною структури АТС, підсистеми і елементи якої взаємодіють між собою, за допомогою яких здійснюється підготовка, забезпечення та виконання польотів.

<sup>6</sup> *Обслуговування повітряного руху* – польотно-інформаційне обслуговування, аварійне обслуговування, консультативне обслуговування, диспетчерське обслуговування повітряного руху (районне диспетчерське обслуговування, диспетчерське обслуговування підходу або аеродромне диспетчерське обслуговування) [4].

Дослідженню питань підвищення ефективності функціонування транспортних систем присвячені розробки відомих учених: Т.Г. Анодіної [16], О.О. Бакаєва, М.П. Бусленка, В.С. Дем'янчука, В.О. Ігнатова, Б.М. Герасимова [42; 43], В.В. Калашнікова, І.М. Коваленка, Г.О. Крижанівського [20; 49; 75], О.І. Кухтенка, Ю.С. Лігума, В.І. Мокшанова [186], Ю.М. Федорова, Ю.М. Цветкова, В.С. Ширшова, В.М. Казака [63; 64; 79; 182] та ін. Проблемам розвитку та удосконалення систем аеронавігаційного обслуговування польотів в Україні на основі супутникових систем CNS/ATM присвячені роботи В.П. Харченка [79; 168–170]. Системи навігаційного забезпечення координації руху транспортних засобів за допомогою сучасних супутникових технологій представлені в роботах Г.Л. Баранова. Теорію та кількісне оцінювання функціональної стійкості розподілених інформаційно-керувальних систем досліджують О.А. Машков, О.В. Барабаш, забезпечення функціональної стійкості АС УПР – С.М. Неділько [109]. Концептуальні основи інтелектуальної підтримки ПР в АС ОПР з елементами штучного інтелекту розглянуто у працях В.М. Недільки [110], методи досліджень складних ергатичних систем, зокрема в багатокритеріальних задачах ПР – у працях А.М. Вороніна, Ю.К. Зіятдінова [39]. Але питання оцінювання, аналізу, прогнозування та підвищення ефективності АНС, не зважаючи на їх висвітлення у працях багатьох авторів, потребують подальших досліджень.

Аеронавігаційна система функціонує в умовах постійного впливу багатьох факторів, тому проблема забезпечення стійкості АНС залишається недостатньо вирішеною і має як наукове, так і практичне значення. Враховувати численні фактори, як внутрішні, так і зовнішні, дозволяють дослідження АНС як СТС. Аеронавігаційна система відноситься до ЛМС, тобто ергатичної системи (ЕС), до її складу входять техніка і люди, що її обслуговують. Основною ланкою АНС є людина, і від її рішень залежить ефективність функціонування, надійність і стійкість системи. Дослідження *ергатичної стійкості* системи як системи, до складу якої входять технічні і людські ресурси, аналіз їх взаємодії і поведінки є актуальною проблемою.

*Ергатична стійкість* – забезпечення стійкості ЛМС, як технічної її частини, так і Л-О, в заданих межах при впливі факторів внутрішнього і зовнішнього середовища [211; 237] в позаштатних польотних ситуаціях. Ергатична стійкість системи полягає в здатності Л-О виконувати встановлений обсяг своїх функцій у випадках відмов в інформаційній, обчислювальній, енергетичній та біологічній частинах системи, а також у разі впливу зовнішнього середовища. Ергатична стійкість складної ЛМС, як її особливість, доповнює властивості надійності, відмовостійкості та живучості. Тобто АНС розглядається як ЕС (ЛМС), в якій вкладена підсистема Л-О є складною системою, на яку впливають фактори внутрішнього і зовнішнього характеру, і яка повинна при цьому зберігати свої експлуатаційні параметри за рахунок таких системних якостей, як адаптивність, стійкість, живучість.

*Адаптивність* – це здатність системи змінюватися у разі зміни умов функціонування заради збереження своїх експлуатаційних показників у визначених межах [128].

*Стійкість* – властивість системи у разі незначних змін умов функціонування зберігати свої експлуатаційні показники [62].

Як складна система ЕС, як і технічна система повинна мати комплексну системну якість – живучість. Комплексний характер проблеми аналізу та оцінювання живучості робить неможливим вирішення цієї проблеми на основі будь-якого одного параметра; необхідним стає розгляд інтегральних багатокритеріальних (багатокритеріальних) показників.

*Живучість* – властивість, що характеризує, зокрема, здатність системи ефективно функціонувати за наявності ушкоджень (відмов) або відновлювати цю здатність за визначений проміжок часу. З поняттям живучості тісно пов'язані також такі властивості системи, як адаптивність та стійкість [132]. Живучість, як правило, визначається для технічних систем в разі накопичення в системі критичної кількості відмов, коли повернення до стандартного режиму функціонування через зміну внутрішнього стану та зовнішнього середовища малоімовірне [24]. Наявність живучості забезпечує динамічну функціональну відповідність системи змінним умовам експлуатації на досить тривалому проміжку часу.

Технічна система є більш живучою, якщо в умовах поступового накопичення відмов, погіршення умов експлуатації і наявності небажаних впливів вона найбільше відповідатиме зазначеним цілям функціонування безпеки, регулярності, ефективності.

Розглянемо АНС як систему керування, де основною ланкою є Л-О, що сприймає інформацію, переробляє її, приймає рішення і що робить певні дії на органи керування чи здійснює передачу інформації.

Структуру процесу ПР у вигляді системи, що відображає структурні та причинно-наслідкові зв'язки його компонентів, показано на рис. 1.2. Об'єкт керування, зовнішнє середовище і Л-О є підсистемами АНС і самі по собі є складними системами, мають всі ознаки складних систем, взаємодіють між собою. Аеронавігаційна система як АЕС [126; 127; 150] – це складна цілеспрямована поліергатична високоорганізована з ієрархічною структурою керування стохастична система, відмінними ознаками якої можна вважати наявність:

- мети функціонування – забезпечення безпеки польоту через підтримання на необхідному рівні чи покращення характеристик роботи ОК – ПК, регулярності й ефективності повітряних перевезень;

- людини-оператора, що виступає як керувальна ланка, що оцінює відповідність результатів роботи системи поставленій цілі і ПР щодо необхідності керувальних дій;

- підсистеми збору, передавання і оброблення інформації про стан ОК, Л-О, зовнішнього середовища, характер керувальних дій та їх результатів; характер впливу зовнішнього середовища на Л-О і навпаки;

- органів керування;

- підсистеми упередження ПР.

Остання функція виконується СППР [54; 114; 117; 305], що є неодмінною властивістю АЕС нового покоління. З урахуванням названих відмінних особливостей АНС як АЕС має структуру (рис.1.2 і 1.3):

- підсистема ОК – ПК;

- підсистема Л-О, до складу якої входять підсистеми «Пілот» і «Диспетчер»;

- підсистема «Зовнішнє середовище»;
- підсистема «Штучний інтелект (ШІ)»;
- підсистема «Підтримки прийняття рішень (ППР)»;
- підсистема «Ситуація».

Робота пілота і авіадиспетчера є різновидом операторської діяльності. Якщо звичайний оператор має справу з технічними пристроями, параметрами їх роботи і їм адресуються керувальні дії, то диспетчер керує в авіаційній ергатичній системі (АЕС) через її операторів – пілотів ПК, одержувачі його команд – люди [34; 56; 57], і навпаки, пілот в своїй професійній діяльності спілкується з іншими операторами. Тобто в АЕС діє принцип подвійного оператора: пілот – диспетчер (рис. 1.2). Актуальними є дослідження закономірностей діяльності як операторів, так і їх колективів як у процесі виконання професійних обов’язків так і в соціальному житті.

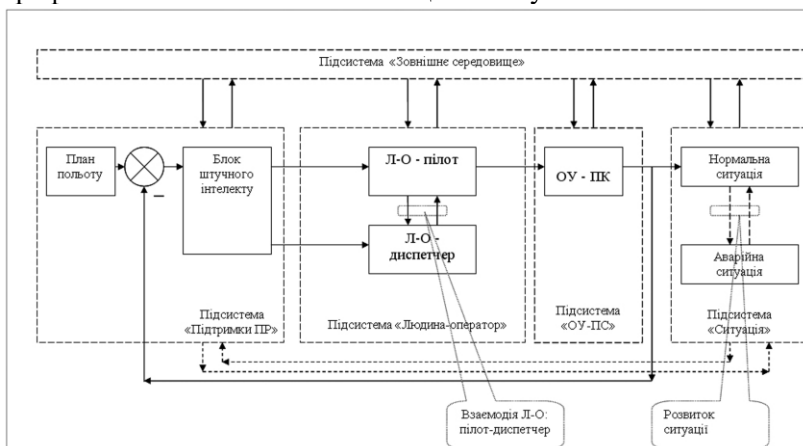


Рис. 1.2. Підсистеми в АЕС

З усіх ергономічних властивостей авіаційного оператора найбільший інтерес становлять зорові, слухові, сенсорні і інші відчуття, рухові функції (швидкість, точність, координація рухів і та ін.) і психічні процеси. З останніх найважливіше значення мають увага, пам'ять, мислення. Істотне місце серед ергономічних властивостей людини займають властивості нервової системи (урівноваженість, сила, рухливість нервових



процесів), які визначають загальну здатність пілота (диспетчера) до його професійної діяльності. Усе це необхідно враховувати в процесі прогнозування діяльності пілота (диспетчера) в реальному часі і в процесі навчання. Особливо важливо враховувати індивідуальні особливості людини, оскільки кожен оператор, незважаючи на єдність існуючих норм, регламентів і прийнятих процедур, вносить до процесу функціонування системи (УПР, літаководіння) особисто свої характеристики, властиві цій конкретній людині [51; 178–181].

Характер роботи оператора різний і залежить від багатьох причин, зокрема від динамічних властивостей об'єкта керування і усіх підсистем і ланок, що входять в систему, законів управління, способів кодування інформації, характеру завдань, поставлених перед оператором, впливу зовнішнього середовища, умов керування, і, нарешті, від психофізіологічних, соціально-психологічних, індивідуально-психологічних властивостей і можливостей оператора [165; 166; 230]. Великими можливостями для підтримки різних видів операторської діяльності під час ПР, прогнозування та своєчасної видачі рекомендацій оператору складної системи особливо в екстремальних ситуаціях, є нові ЛМС – «СППР». У зарубіжній літературі ці системи відомі як Decision Support Systems. Системи підтримки прийняття рішення можна визначити як інтерактивну комп'ютерну систему, призначену для підтримки різних видів діяльності під час ПР стосовно слабоструктурованих і неструктурованих проблем [41–43]. У зв'язку з цим дослідження і проектування СППР під час оцінювання функціонального стану ЛПР з позиції синергетичної концепції керування складними системами є актуальною проблемою. Ця концепція дозволяє врахувати індивідуальні особливості функціонування Л-О, виявлені в ході проведення експериментів, установити причинно-наслідкові відносини між інформативними показниками діяльності, поведінки, психофізіології і оцінити функціональний стан як системну організацію, що динамічно змінюється в залежності від характеру розв'язуваного завдання зовнішнього середовища [38; 29–31; 41–43; 136; 137].

Крім аналізу професійної діяльності операторів, повне і всебічне дослідження авіаційної транспортної системи на всіх етапах її розроблення та експлуатації неможливе без моделювання процесів, що відбуваються в ній. Натепер актуальним завданням є моделювання розвитку позаштатних польотних ситуацій, що характеризуються високим рівнем неповноти і невизначеності наявної інформації. Проблемою моделювання процесів, що відбуваються в авіаційній транспортній системі, тривалий час займаються Санкт-Петербурзький державний університет цивільної авіації (Г.А. Крижановський) [75] і Національний авіаційний університет, м. Київ, О.Є. Литвиненко В.М., Васильєв, В.П. Харченко [34; 164]. Дослідженням механізмів розвитку позаштатних польотних ситуацій присвячені праці С.Р. Маханова, В.Є. Чепіги [93; 102], В.Г. Ширшова [182], С.С. Граськіна і П.Є. Дубовика, але їх недоліком є недостатній розгляд особливостей оператора, що приймає рішення та оцінювання ситуації, в якій приймається рішення.

Метою цих досліджень є підвищення безпеки польотів шляхом розробки моделей ПР Л-О та розвитку позаштатних польотних ситуацій, що дозволяє авіаційному оператору оперативно приймати рішення щодо вибору оптимальної альтернативи дій в умовах неповноти і невизначеності інформації та вибору оптимальної дії, що приводить до мінімального збитку. Якість обраної альтернативи залежить від повноти даних, використовуваних для ідентифікації ситуації, в якій приймається рішення.

Діяльність авіаційного оператора протікає в умовах дефіциту часу і є надзвичайно складною; вона складається з безлічі сенсорних, моторних і розумових дій і операцій. Незважаючи на різноманітний характер професійної діяльності Л-О, в інженерній психології у цій діяльності можна прослідкувати чотири основні етапи [51; 172]:

1. Сприйняття інформації про об'єкт керування, параметри зовнішнього середовища, самої системи (виявлення, декодування, виділення значущої інформації, виявлення змін тощо).

2. Обробка інформації, тобто зведення її до виду, придатного для ПР (порівняння заданих та поточних (дійсних) параметрів і режимів функціонування об'єкта керування, аналіз і узагальнення отриманої інформації, виділення проблемних ситуацій, їх порівняння, видокремлення критичних об'єктів і ситуацій тощо).

3. Прийняття рішення про необхідні дії на підставі даних, отриманих у процесі аналізу інформації, та які містяться в концептуальній моделі, що відображує результат формування у операторів таких психічних утворень, як знання, навички, уміння.

4. Передавання інформації про рішення або здійснення керувальних дій.

Протягом перших двох етапів отримується інформація, протягом двох останніх – відбувається її реалізація власне до ПР (рис. 1.3).

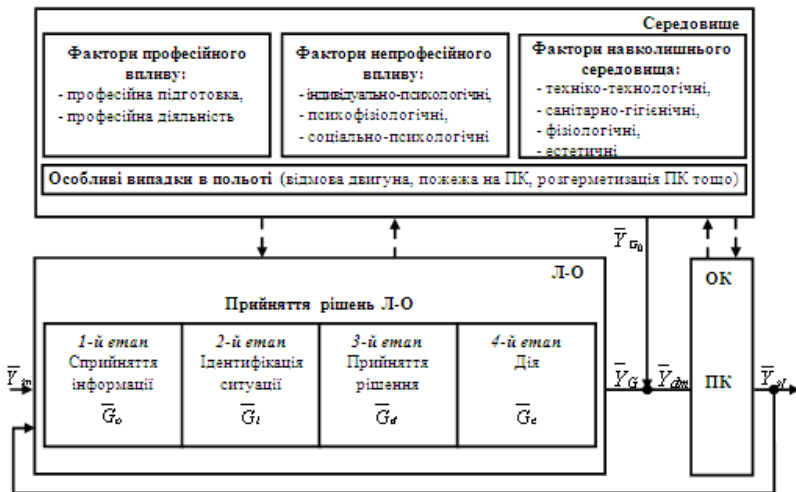


Рис. 1.3. Система Л-О – ПК – зовнішнє середовище:  $\bar{Y}_{sn}$  – вектор заданих вхідних значень розвитку польотної ситуації;  $\bar{Y}_G$ ,  $\bar{Y}_{G_0}$  – вектори керувальних дій Л-О без урахування та з урахуванням впливу середовища відповідно;  $\bar{Y}_{dm}$  – вектор ПР Л-О;  $\bar{Y}_{sf}$  – вектор фактичних значень розвитку польотної ситуації

Проведемо аналіз та інтерпретацію ЛМС (в ергатичних, гуманітарних, біосоціальних системах) як ЛМС, де основною ланкою є ЛПР.

**Прийняття рішень в ергатичних системах.** *Ергатична система* - складна цілеспрямована система керування, до складу якої входить Л-О (чи група операторів), технічний пристрій (засоби діяльності Л-О), об'єкт діяльності і середовище, в якому знаходиться людина. На першому етапі розвитку ЕС метою оптимізації ЕС вважалося пристосування людини до технічного пристрою. На другому етапі – пристосування технічного пристрою до людини, його психологічних, фізіологічних, антропометричних і інших характеристик. Для третього етапу характерний розгляд ЕС з позицій аналізу людських чинників як сукупних інтегральних якостей. Саме Л-О породжує і трансформує цілі функціонування ЕС, приймає рішення і досягає цілей за допомогою відповідних засобів діяльності.

Існує декілька класифікацій ЕС: за кількістю діючих в ній операторів (моно-, поліергатичні), за структурою (ієрархічні), за розмірами (малі, складні, ультраскладні), ступенем організованості, функціональним критерієм (детерміновані, стохастичні) та інші. Більш традиційною назвою ЕС є назва людино-машинна система. Згідно з принципом організації в ЕС (ЛМС) виділяють три складові частини [42; 162; 179; 180]: об'єкт керування (ОК); зовнішнє середовище; людина-оператор (пілот, диспетчер, інженер, тощо).

**Прийняття рішень у гуманістичних системах.** За визначенням американського вченого Л. Заде (L. Zadeh), *гуманістичними* є системи, на поведінку яких великий вплив здійснюють судження, сприйняття або емоції людини, це економічні системи, правові системи, загальноосвітні системи та ін. Сама людина (індивід) та процеси її мислення мають змогу розглядатись як гуманістичні системи. Отже, гуманістичні системи – це будь-які системи, у складі яких є людина [55; 127].

Залежно від цілей, які реалізує людина в гуманістичній системі, може бути виділена деяка множина класів гуманістичних систем [127]:

– *медичні гуманістичні системи*, в яких метою діяльності фахівця-лікаря (колективу медичних співробітників) є

профілактика, підтримка та відновлення здоров'я людини-пацієнта;

– *освітні гуманістичні системи*, в яких мета діяльності фахівця-педагога (викладача), або педагогічного (викладацького) колективу є передача тим, хто навчається (учням, студентам, слухачам тощо) необхідних знань, навичок та вмій, у тому числі вмій вчитись;

– *спортивні гуманістичні системи*, в яких метою фахівця-тренера (колективу тренерів) є такий розвиток і формування психологічних та фізіологічних здібностей спортсмена (команди), що забезпечують найкращий спортивний результат;

– *ергатичні гуманістичні системи*, в яких метою діяльності фахівця-оператора (колективу або групи операторів) є одержання нового продукту праці.

**Людина в біосоціалній системі.** У працях О.О. Ухтомського проводяться дослідження людини, як підсистеми в біосоціалній системі. Концепція О.О. Ухтомського щодо біосоціалної природи людини ґрунтується на єдності природничих і гуманітарних знань про людину [159]. О.О. Ухтомський ввів у науковий обіг поняття про «інтегральний образ» як елементарну одиницю процесу пізнання, що забезпечує цільову детермінацію поведінки Л-О, і передбачив ідею про ймовірнісний характер поведінки людини. Концепція О.О. Ухтомського про біосоціалну природу людини вперше об'єднує в єдине ціле *фізіологічні, психофізіологічні і соціокультурні детермінанти поведінки і психіки людини*. Ядром цієї концепції є сформульований О.О. Ухтомським принцип домінанти, що дозволяє вивчати як механізми інтегративної діяльності мозку, так і психофізіологічні, соціалні закономірності поведінки і психіки людини. Як новий синтетичний підхід до природи людини концепція Ухтомського, побудована на стику природничих і гуманітарних знань, виявляє діалектичну єдність біологічних і соціалних коренів природи людини і дає можливість органічно зв'язати природничонаукові уявлення про поведінку і психіку людини із законами моральної поведінки людини в світі, які виводять зміст і сенс життя людини за її суто фізіологічні, природні межі. Все це дозволяє

розглядати концепцію О.О. Ухтомського щодо біосоціальної природи людини як один з варіантів побудови комплексної науки про людину.

**Теорія функціональних систем** розглядає організм людини як сукупність безлічі взаємодійних модулів різного рівня організації та навколишньої дійсності, що забезпечують адаптацію організму до умов проживання. Соціальна адаптація організму – здатність його функціональних систем забезпечувати досягнення соціально-значущих результатів. Математична концепція системного уявлення людини як складної організаційної структури, елементи якої (фізіологічні, поведінкові психологічні) взаємодіють один з одним у межах однієї організації, мета якої збереження сталості внутрішнього середовища (гомеостазису) або певних значень ресурсу (П.К. Анохін) [17].

У галузі ЛМС розроблено достатню кількість методів і засобів контролю функціонального стану ЛПР. Подібні системи базуються на використанні методів і засобів контролю, прогнозу та корегуванні стану ЛПР [72; 73; 150; 179–181]. Нині важко говорити про ефективність цих методів з таких причин: незважаючи на велику кількість методик контролю функціонального стану Л-О, вони здебільшого призначені для застосування не в реальному масштабі часу; ці методики не враховують системного характеру стану Л-О, що значно знижує їх ефективність під часи практичного застосування.

Порівняльний аналіз ЛМС як ергатичних, гуманістичних, біосоціальних систем наведено в табл. 1.1. Аеронавігаційна система «екіпаж – ПК – середовище – органи ОПР», як АЕС – це така, в якій ергатичний елемент (Л-О) виробляє і обслуговує продукт виробництва, а саме – повітряні перевезення [9], як гуманістична система – система, на яку впливають рішення людей, як біосоціальна система – система, в якій враховується біосоціальна природа людини, що об'єднує в єдине ціле фізіологічні, психофізіологічні і соціокультурні детермінанти поведінки і психіки людини. Продуктом систем типу «людина – машина» є рішення, яке приймає Л-О. Тому дуже важливо розглядати Л-О теж як складну підсистему у складі загальної ергатичної системи, яка має всі властивості складної системи:

- емерджентність;

- синергетика;
- вкладеність;
- наявність загальної цілі функціонування, яка домінує над цілями функціонування складових системи;
- відсутність повної інформації про систему в цілому у будь-якого з компонентів;
- нелінійність відношень між компонентами, внаслідок чого незначний збурювальний вплив може викликати помітний ефект, і, навпаки, значний впливальний імпульс може бути не результативним; наявність зворотних зв'язків як позитивних, так і негативних;
- відкритість;
- взаємодія із зовнішнім середовищем в умовах невизначеності факторів впливу на складові системи і мінливості стану зовнішнього і внутрішнього середовищ тощо.

Таблиця 1.1

### Порівняльний аналіз ЛМС

№ з/п	Назва	Характеристики системи
1	Людино-машинна система	<i>Людино-машинна система</i> – система, в якій людина-оператор або група операторів взаємодіє з технічним пристроєм в процесі виробництва матеріальних цінностей, керування, оброблення інформації і т. ін.
2	Ергатична система	<i>Ергатична система</i> – складна цілеспрямована система керування, до складу якої входить Л-О (чи група операторів), технічний пристрій (засоби діяльності Л-О), об'єкт діяльності і середовище, в якому перебуває людина
3	Гуманістична система	<i>Гуманістичні</i> – системи, на поведінку яких впливають судження, сприйняття або емоції людини, це так звані, економічні, правові, загальноосвітні, медичні, спортивні системи тощо. Саму людину (індивід) та процеси її мислення мають розглядатись як гуманістичні системи. Метою діяльності Л-О (групи операторів) ергатичної гуманістичної системи є одержання нового продукту праці

№ з/п	Назва	Характеристики системи
4	Біосоціальна система	<i>Біосоціальна система</i> – система в якій вирізняється біосоціальна властивість оператора складної системи керування, тобто об'єднуються в єдине ціле фізіологічні, психофізіологічні та соціокультурні детермінанти поведінки і психіки людини
5	Соціотехнічна система	<i>Соціально-технічна система</i> – великомасштабна, високотехнологічна система, яка характеризується складними взаємодіями між людськими і технологічними компонентами, функціонування якої пов'язано з діяльністю Л-О в умовах <i>високого ризику/високої небезпеки</i> , небезпечний результат діяльності якої може бути катастрофічними щодо втрати життя і майна

Безпека польотів є важливою науково-технічною проблемою для всіх авіаційних держав. В чому полягає ключ до її вирішення? Відповідь дає статистика АП (20% з причин відмов техніки проти 80% з причин, пов'язаних з ЛФ). За даними МАК, з 87% тяжких АП з вини ЛФ, 33% - свідомі порушення членами екіпажів ПК льотних законів, правил та інструкцій, 67%. – істинні помилки людини, 42% - порушення в процесі передпольотної підготовки [84]. Тобто причина не тільки в людині, її діях, поведінці, а і в її свідомості, культурі поведінки. Необхідно оптимізацію діяльності операторів АНС як соціотехнічної системи проводити у наступних напрямках: оптимізація прийняття рішень; оптимізація дій всередині колективів операторів (екіпаж, пілот-диспетчер, диспетчерська зміна); удосконалення системи професійного відбору операторів; удосконалення професійної підготовки операторів. Фактори, які впливають на перелічені процеси є різноякісними, частково неформалізованими; не досліджені взаємодії оператора з оточуючим середовищем та іншими людьми; внутрішні психічні проблеми ПР не мають загально визначених моделей і навіть концепцій.

Такими чином, класична постановка проблеми оптимізації людського фактора як багатокритеріальної паретооптимальної



задачі є неможливою, а оптимізація має здійснюватись як розв'язання низки окремих оптимізаційних задач.

Доцільним є ввести окрім поняття функціональної стійкості, що розглядає, насамперед, відмовостійкість технічної частини ЕС, враховувати надійність Л-О за рахунок введення нового поняття як ергатична стійкість, яке повинне досліджувати окрім технічної частини і людські ресурси. Під ергатичною стійкістю розуміється забезпечення функціонування ЛМС в заданих межах при впливі факторів внутрішнього і зовнішнього середовища [237] в позаштатних польотних ситуаціях, тобто ергатична стійкість полягає у здатності Л-О виконувати встановлений обсяг своїх функцій у випадках відмов в інформаційній, обчислювальній, енергетичній та біологічній частинах системи, у разі впливу зовнішнього середовища.

## **1.2. Системний аналіз факторів, що впливають на прийняття рішень оператором соціотехнічної системи**

Авіаційні системи, в яких відбувається тісна взаємодія між людиною та технологічними компонентами, еволюціонували в бік комплексних соціотехнічних систем [267]. Соціотехнічні системи, як правило, мають дві спільні ознаки: наявність небезпечних видів діяльності та застосування високих технологій. Чим більше 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 (табл. 1.2).

Натепер однією з основних стратегічних проблем людства на шляху до сталого розвитку є безпека і стійкість роботи техногенного виробництва, яке являє собою складну систему, що містить взаємопов'язані технічні, економічні та соціальні об'єкти; має багаторівневу ієрархічну структуру і характеризується високим рівнем ризику [270].

Надзвичайні ситуації, катастрофи, аварії на гідротехнічних, хімічних і військових виробництвах, газо- і нафтопроводи, атомних електростанціях, а також на транспорті стають частим і звичайним явищем. Як вже вказано, статистичні дані вказують,

що людські помилки складають до 80% усіх авіаційних подій [3; 84].

Таблиця 1.2

Ознаки АНС як СТС			
Соціотехнічна система			
Ознаки СТС	Підсистеми	Умови функціонування	Фактори, що впливають на ПР Л-О
Поліергати́чна	Л-О	Невизначеність	Професійна підготовленість
Складна	Технічна частина	Небезпека	Індивідуально-психологічні
Цілеспрямована	Технології	Ризик	Соціально-психологічні
Високоорганізована	Зовнішнє середовище	Віддаленість	Психофізіологічні
Великомасштабна	Внутрішнє середовище	Розподіленість	Досвід
Високотехнологічна	Підсистеми штучного інтелекту і АЕС	Непрозорість	Ергономічні

Причини більшості авіаційних подій пов'язані з індивідуальними властивостями та психологією людини-оператора, впливом соціального середовища, до якого належить Л-О [267; 270; 276]. Окремий контроль психофізіологічних, поведінкових, ергономічних, професійних, інформаційних характеристик ЛПР не враховує динаміку стану Л-О в умовах зміни факторів навколишнього природного і соціального середовища [159]. Зовнішні і внутрішні умови, що впливають на Л-О, визначають реакцію Л-О, а його реакція, у свою чергу, змінює умови навколишнього середовища і впливає на вектор розвитку польотної ситуації.

Одним з можливих підходів до рішення проблеми є комплексне дослідження закономірностей діяльності операторів і їх колективів в АНС як соціотехнічній системі [213; 230; 232; 235–237; 286; 287].

Дослідження еволюції авіаційної системи в напрямі комплексних соціотехнічних систем зі змінами та доповненнями відомої моделі людського фактора SHELL (1972 р.), яку з 2004 р. поповнює інтерфейс, пов'язаний з культурою Л-О, тобто «SCHELL model and CRM» – Software (procedures), Culture (культура), Hardware (machines), Environment, Liveware, Liveware (humans)», дотепер [1; 2; 6; 270; 271, 294], наведено в табл. 1.3. Згідно з концепцією в центрі моделі SHELL – людина, як найбільш важливий компонент системи. Модель являє собою одну з розробок системи "людина-машина-середовище". Основна увага в моделі SHELL приділяється людині та її взаємодії з іншими компонентами авіаційної системи:

- a) Суб'єкт (L-Liveware) (оператори на робочих місцях);
- b) Об'єкт (H-Hardware) (машини та обладнання);
- c) Процедури (S-Software) (правила, документація тощо);
- d) Середовище (E-Environment) (експлуатаційні умови, в яких повинні взаємодіяти компоненти системи SHELL).

Інтерфейс Liveware- Liveware являє собою взаємодію операторів на робочому місці.

Льотні екіпажі, диспетчери управління повітряним рухом (УПР), інженери з технічного обслуговування повітряних суден та інший експлуатаційний персонал працюють в колективах, і тому взаємовідносини в такому колективі, накладають свій відбиток на їхню поведінку і працездатність. Даний інтерфейс охоплює такі аспекти, як лідерство, співробітництво, взаємодія у команді й міжособистісні стосунки. З появою концепції оптимізації роботи екіпажу в кабіні (CRM) цьому виду інтерфейсу стало приділятися значна увага. Підготовка за програмою CRM і її поширення на сферу діяльності авіадиспетчера (оптимізація роботи команди - TRM) і технічного обслуговування (оптимізація роботи персоналу з технічного обслуговування - MRM) сприяє підвищенню ефективності взаємодії і націлено на контроль за помилками людини-оператора. У полі зору цього інтерфейсу знаходяться також аспекти корпоративної культури, психологічного клімату в колективі і виробничих потреб авіакомпанії, які можуть істотно впливати на працездатність людини [271; 294].

Таблиця 1.3

## Еволюція моделей людського фактора

Рік	Модель	Зміст моделі	
1972	SHEL	Software (procedures) Hardware (machines) Environment Liveware	Програми (процедури) Устаткування (машини) Середовище Людина-оператор
1990	Reason's «Swiss Cheese Model»	Active errors Latent errors Windows of opportunity Causation chain	Активні помилки Приховані помилки Можливості Ланцюг причинності
1993	SHELL	Software (procedures) Hardware (machines) Environment Liveware Liveware (humans)	Програми (процедури) Устаткування (машини) Середовище Людина-оператор Людина-оператор (люди)
1999	CRM	Crew Resource Management	Оптимізація роботи екіпажу повітряного корабля
2000	TEM	Threat and Error Management	Керування загрозами і помилками
2000	MRM	Maintenance Resource Management	Управління ресурсами технічного обслуговування
2004	SHELL-T SHELL- Team	Software (procedures) Hardware (machines) Environment Liveware Liveware (humans) Team	Програми (процедури) Устаткування (машини) Середовище Людина-оператор Людина-оператор (люди) Команда
2004	SCHELL model and CRM	Software (procedures) Culture Hardware (machines) Environment Liveware Liveware (humans)	Програми (процедури) Культура Устаткування (машини) Середовище Людина-оператор Людина-оператор (люди)
2004	LOSA	Line Operation Safety Audit	Експлуатація Безпека Аудит (Аудит безпеки польотів)
2009	HEAD	Human Environment Analysis and Design	Людина Зовнішнє середовище Аналіз Розробка
2009	SMART	Specific Measurable Achievable Relevant Timebound	Конкретний Вимірний Досяжний Порівнянний Визначений у часі
2010	HFACS	Human Factors Accident Classification System	Людина Фактори Аварія Класифікація Система

Міжнародна організація цивільної авіації постійно розробляє та удосконалює більш *проактивні*, засновані на оцінці ризиків методи, спрямовані на подальше зменшення кількості авіаційних подій у світі, а також призиває авіаційні співтовариства визнати важливість дотримання єдиного глобального підходу для підвищення і моніторингу безпеки [269]. Сучасний підхід, заснований на характеристиках (performance-based approach – PBA) [268], припускає, що задачі повинні відповідати широко відомому в західному менеджменті критерію SMART, що представляє собою аббревіатуру з п'яти англійських слів: specific (конкретний), measurable (вимірний), achievable (досяжний), relevant (порівнянний) і timebound (визначений у часі). У Керівництві FAA «Aeronautical decision-making» (Прийняття рішень в авіації) [294] подаються моделі, рекомендовані для зниження аварійності та допомоги в прийнятті важливих рішень пілота ПК у разі виникнення позаштатних ситуацій (рис.1.4).

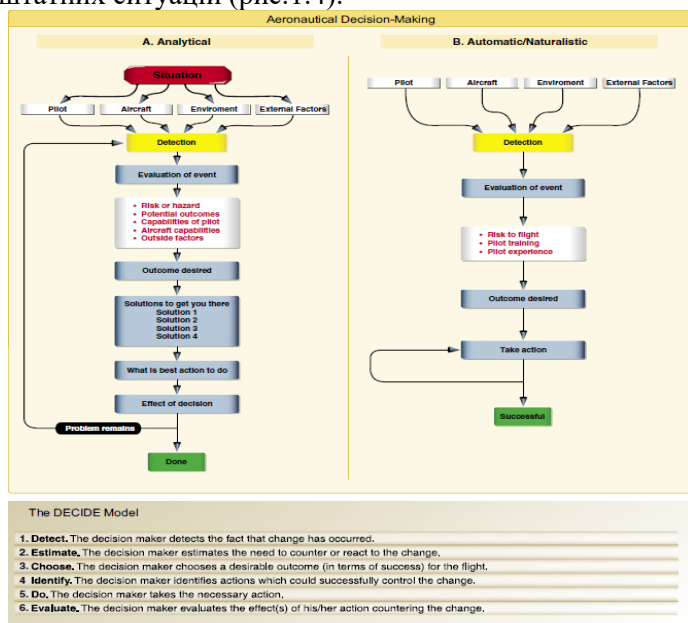


Рис. 1.4. Модель ПР з Керівництва FAA "The Pilot's handbook of Aeronautical Knowledge " [294]

Таблиця 1.4

**Моделі прийняття рішень і управління ризиками,  
рекомендовані практикою FAA**

Позначення моделі	Зміст моделі (English)	Зміст моделі (переклад)
PAVE	Pilot Aircraft EnVironment External pressures	Пілот Повітряний корабель Навколишнє середовище Зовнішній тиск
TEAM	Transfer Eliminate Accept Mitigate	Передача (ризик) Ліквідація Прийняти Зменшення
CARE	Consequences Alternatives Reality External factors	Наслідки, Альтернативи Реальність Зовнішні фактори
3P	Perceive Process Perform	Сприйняти оцінювати виконувати
5P	Plan Plane Pilot Passengers Programming	План польоту Повітряний корабель Пілот Пасажири Програмування (устаткування)
CRM	Crew Resource Management	Управління ресурсами екіпажу
DECIDE	Detect Estimate Choose a course of action Identify solutions Do the necessary actions Evaluate the effects of the actions	Виявлення (проблеми) Оцінювання Обрання дії Визначення рішення Виконати необхідні дії Оцінка дій.
OODA	Observe Orient Decide Act	Спостерігати Орієнтуйся Вирішуй Дій

Aeronautical decision-making (прийняття рішень в авіації) – процес ПР в унікальному середовищі – авіації. Це систематичний підхід до психічних процесів, який повинні послідовно використовувати пілоти, для обрання найкращої стратегії відповідно до обставин, що склалися. Наприклад, модель 5P складається з п'яти «Р» (план польоту, повітряний корабель, пілот, пасажери і програмування) і використовується для оцінювання поточної ситуації та ПР пілотом під час польоту або у разі виникнення позаштатної ситуації. Кожне рішення може істотно збільшити або зменшити ризик успішного завершення польоту і ґрунтується на здатності пілота, приймати обґрунтовані і своєчасні рішення (табл.1.4, [294]). Модель 3P (сприймати обставини, що склалися під час виконання польоту, оцінювати ситуацію щодо її впливу на безпеку польотів, виконувати дії) моделі ADM пропонує системний підхід для ефективного ПР, який може бути використаний на всіх етапах польоту.

Відзначено основні фактори, що впливають на Л-О в процесі виконання професійних обов'язків [267; 271] (табл. 1.5). Ці типи факторів створюють оперативний контекст, у якому нормальний, здоровий, кваліфікований, досвідчений персонал працює на нижчому, ніж очікувалося, рівні. Одним з можливих підходів до вирішення цих проблем є формалізація і математичний опис діяльності операторів АНС як складної СТС на основі системного аналізу [230; 232; 235–237; 286; 287]. Урахування впливу на ПР Л-О АНС, окрім професійних факторів (знання, навички, вміння, досвід) впливу, факторів непрофесійного характеру (індивідуально-психологічних, психофізіологічних та соціально-психологічних) [230; 267], дозволяє прогнозувати дії Л-О в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК. Системний підхід вимагає розгляду всіх взаємозв'язків різних компонентів авіаційної системи, визнаючи, що зміни в одній області можуть вплинути на іншу [230; 231; 235].

Людина в авіації залишається елементом, що пов'язує технічні й організаційні складові функціонування авіаційної системи, забезпечує можливість активного впливу на решту її елементів.

Таблиця 1.5

**Фактори, що впливають на Л-О в процесі виконання професійних обов'язків**

Фізичні фактори	Фізіологічні фактори	Психологічні фактори	Психосоціальні фактори
Фізичні можливості Л-О: сила, органи зору і слуху. До місця роботи Л-О мають ставитися вимоги до фізичних особливостей оператора, а саме: до тепла, тиску, світла, шуму, вібрації, часу доби тощо	Фактори, що впливають на внутрішні процеси Л-О, зокрема: наявність кисню, загальне здоров'я, спосіб життя, харчування, хвороби, шкідливі звички (застосування тютюну, наркотиків або алкоголю), особисті стреси, втома, вагітність тощо	Фактори, що впливають на психологічну готовність Л-О до обставин, що можуть скластися в польоті, тобто адекватність підготовки, знань і досвіду, візуальні або вестибулярні відчуття, робоче навантаження. Психологічна придатність готовності Л-О до виконання обов'язків також включає мотивацію, ставлення до ризику, навички ПР, а також здатність Л-О самостійно впоратися з надзвичайною ситуацією	Зовнішні фактори в системі соціального індивідуума, такі самі як в умовах роботи, так і в умовах поза роботою, що чинять додатковий тиск на Л-О (суперечка з керівником, трудові спори, проблеми в сім'ї, особисті фінансові проблеми або інші внутрішні напруження)

На процес ПР Л-О впливає безліч аспектів, серед яких можна виділити деякі найбільш важливі чинники непрофесійного характеру. Вплив таких чинників є найбільш актуальним у разі виникненні позаштатної ситуації, що потребує особливої концентрації і повної психофізичної і емоційної віддачі. У різних позаштатних ситуаціях важливість факторів непрофесійного характеру змінюється, залежно від складності і небезпеки виникаючих подій в самій ситуації, від обстановки на робочому місці і від подій, що відбуваються довкола Л-О.



Генезис психологічних процесів неможливий без участі особового компонента. Указуючи, що психічні процеси формуються протягом життєдіяльності, О.М. Леонтьєв підкреслює, що формування це відбувається в процесі засвоєння світу предметів і явищ, створеного людиною. Біологічно успадковані властивості, таким чином, становлять лише одну, з умов формування психічних функцій. Основна ж умова їх формування – оволодіння світом предметів і явищ, створених людством [82].

*Психологічна надійність* зумовлюється можливістю помилки ЛПР без порушення працездатності її організму. Диференціація аспектів психологічної надійності (психологічних процесів), зокрема в професійній сфері, залежить від складових, які регламентують комплекс специфічних завдань. Впливовість окремого фактора визначатиметься досвідом попередньої діяльності людини, зокрема пізнанням і навчанням [82; 88; 89; 131]. У цьому сенсі, розуміння людський фактор змістовно наближається до особистісного фактору, що означає наявність впливів особистості людини на формування відношення до оточуючої дійсності, подальшої взаємодії з нею та прийняття відповідного рішення. Вважаємо ЛПР інтегрованою в соціум у процесі набуття професійного досвіду у взаємодії з факторами й елементами навколишньої дійсності.

Формування та регуляція соціальної поведінки особистості, а також інформаційне наповнення соціальних ролей відбуваються у відповідь на вплив основних сфер життя суспільства. Виникає потреба у виявленні істотних елементів ієрархії пріоритетів, вивчення їх значущості для представника окремої професійної галузі, зокрема Л-О, в конкретному соціально-культурному просторі з урахуванням динаміки змін самих елементів.

Декомпозиція і подальша диференціація впливів на ПР Л-О факторів навколишнього середовища дає змогу, порівняти їх значущість і визначити відповідні пріоритети в системі цінностей Л-О в процесі підготовки і професійної діяльності. Системне бачення формувальних впливів на ПР Л-О містить ряд інформаційних підсистем (рис. 1.5).

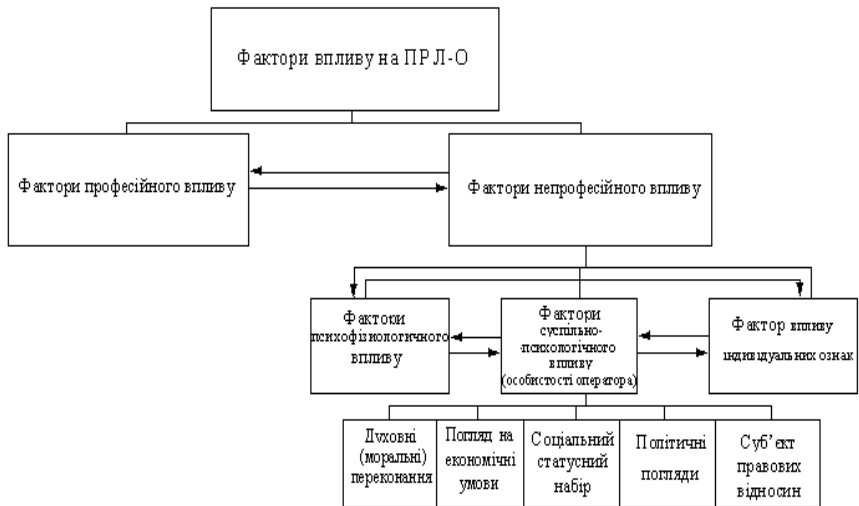


Рис. 1.5. Прийняття рішень Л-О в системі впливів

На рис. 1.6 з позицій системного підходу визначено фактори, що впливають на ПР Л-О: фактори професійного (рівень знань, навичок, умінь, освітньо-кваліфікаційна характеристика (ОКХ) тощо) та непрофесійного (психофізіологічні, індивідуально-психологічні, соціально-психологічні).

**Фактори соціально-психологічного характеру.** Фактори соціально-психологічного впливу особистості оператора включають п'ять основних кластерів, які окреслюють сфери взаємодії особистості в суспільстві. Зміст факторів наведено в табл. 1.6 [82; 83; 91; 92; 131].

Відповідно до поглядів «на суспільство» створюється система поглядів особистості, встановлюється ієрархія цінностей, визначаються мотиви поведінки, розвивається евристичний компонент, формується неповторний стиль мислення та досвід індивіда. Кожен з кластерів прямо або опосередковано може впливати на формування виконавчої дії залежно від його рейтингу в системі поглядів. Процес рейтингування відбувається в процесі рефлексії відносно мети ПР.

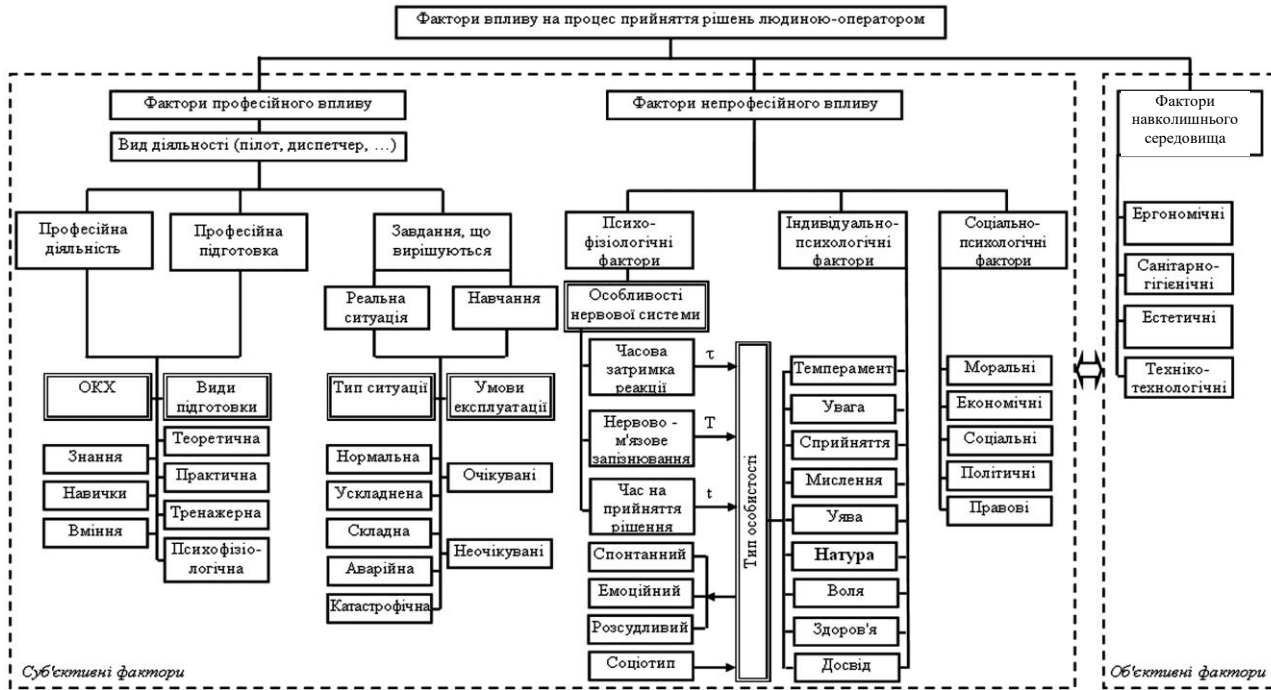


Рис. 1.6. Класифікація факторів, що впливають на ПР Л-О АНС

Таблиця 1.6

**Соціально-психологічні фактори, що впливають на Л-О**

№ з/п	Назва фактору	Зміст фактору
1	Моральні переконання	Духовна культура містить розвиток інтелек-туальних, емоційних, творчих здібностей, виховання розуму і відчуттів. Сфера духовної культури розглядається як сукупність існуючих світоглядних, наукових, митецьких, пізнавальних і етичних надбань сучасного суспільства. Духовна культура особистості визначається сукупністю обраних самою особистістю цінностей нематеріального характеру, її причетністю до релігійних течій та філософських систем [13]
2	Економічні інтереси	Економічні умови на емоційний статус людини впливають крізь численні прояви економіки і інших сфер суспільного життя, а суб'єктивно через усвідомлення задоволення, або незадоволення якістю життя. Комерціалізація більшості сфер суспільної діяльності є ознакою розвитку ринкових відносин і підвищення значущості економічних факторів в ієрархії пріоритетів і мотивів окремої особистості [13]. Економічний фактор спрямований на поліпшення власного економічного становища, збереження коштів та ресурсів підприємства
3	Соціальний орієнтир	Соціальний орієнтир «на суспільство» пов'язує особистість з іншими людьми, єдиним культурним середовищем, правилами міжособистого спілкування, й причетністю до суспільних цінностей [13; 105]. Формування різноманіття мотивів поведінки, а саме: створення конструктивних, або й дружніх відносин в екіпажі ПК; створення передумов просування по службі (мотив кар'єрного росту); уникнення конфліктних ситуацій в колективі; формування авторитету серед колег; забезпечення іміджу підприємства (сфера корпоративного інтересу) тощо

Закінчення табл. 1.6

№ з/п	Назва фактору	Зміст фактору
4	Політичні погляди	Стосовно політики особа може бути як об'єктом, так і суб'єктом. Проблема особи як суб'єкта політики полягає у визначенні можливості і ступеня її впливу на політичну владу, а також у можливості досягнення влади і способах її реалізації. Мірою політичної суб'єктивності людини є його політична позиція, активність та задоволення (незадоволення) існуючим політичним устроєм [13]
5	Правові відносини	Сфера правових відносин регламентована законами й іншими правовими документами є формальною нормою громадського життя і обов'язковою частиною сучасних суспільних відносин. Це означає її обов'язкове дотримання і включення інші сфери суспільного життя, тому у рефлексивній моделі особистості правова складова буде інтегрована - як поєднання інших сфер [13]

Розгляд кожного кластера і визначення важливості окремих елементів впливу на стратегію ПР дозволить формалізувати наповнення системи поглядів і встановити пріоритетність чинника непрофесійного характеру у разі прийняття Л-О професійного рішення (рис. 1.7). Базові спрямованості особистості в системі поглядів на суспільство подано цільовою моделлю пілота [91; 92], яка запропонована Р.М. Макаровим у структурі спрямованості особистості. Визнаючи первинність впливу та стійке значення інструкцій та керівництв в процесі формування професійної виконавчої дії слід підкреслити недостатнє дослідження вторинних факторів впливу, зокрема системи поглядів «на суспільство». Інформаційне обмеження, актуалізація, деталізація та якісне наповнення моделі впливу непрофесійних факторів у рефлексивній моделі ПР Л-О дасть можливість враховувати їх розвиток та координування в процесі підготовки оператора АН СТС.

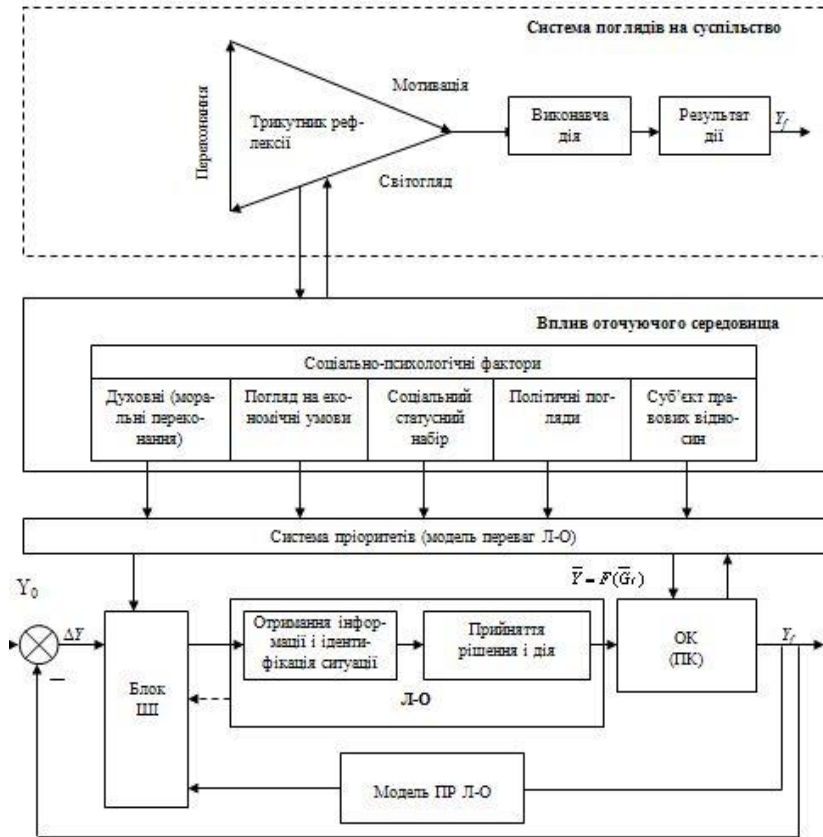


Рис. 1.7. Моделювання ПР з урахуванням соціально-психологічних факторів

Проведено системний аналіз факторів, що впливають на ПР Л-О та визначено вплив факторів непрофесійного характеру (соціально-психологічних) на професійну діяльність Л-О АНС, що розглянуто в працях [230–232; 235; 286; 287]. За допомогою експертного опитування респондентів з числа пілотів і диспетчерів визначено характер системи пріоритетів значущості впливу соціальних факторів на Л-О зі зміною віку (досвіду), а також аналіз узагальнених показників незалежно від вікових категорій [206; 230–232; 235; 286; 287]. В табл. 1.7 надається

кодування соціально-психологічних факторів при визначенні системи пріоритетів.

Таблиця 1.7

**Кодування соціально-психологічних факторів**

№ з/п	Соціально-психологічні фактори, $F_{sp}$	Кодування
1	Духовні та культурні орієнтири особистості	$f_{spm}$
2	Економічні інтереси особистості	$f_{spe}$
3	Соціальні пріоритети особистості.	$f_{sps}$
4	Політичні погляди особистості	$f_{spp}$
5	Відношення до правових норм особистості	$f_{spl}$

**Індивідуально-психологічні фактори.** Робота авіаційного спеціаліста є різновидом такої операторської діяльності, що особливістю операторів АНС є взаємодія не тільки з технічними пристроями, а й між собою. Ергономічні властивості авіаційного оператора, а саме відчуття (зорові, слухові, дотикові та інші); рухові функції (швидкість, точність, координація рухів тощо) і психічні процеси (увага, пам'ять, мислення тощо) відносять до індивідуально-психологічних факторів, що впливають на ПР Л-О. Важливо враховувати індивідуальні особливості оператора, оскільки попри регламентовану, нормовану професійну діяльність, його індивідуальні якості впливають на кінцевий результат його діяльності – безпеку польотів. У процесі розвитку індивідуальністю набуваються специфічні властивості, які виражають індивідуальну своєрідність людини, опосередковуючи прояв усіх його когнітивних, регуляторних і комунікативних процесів, всі аспекти його соціальної поведінки [51; 178–181]. До основних індивідуальних властивостей особистості належать: темперамент, характер, спрямованість, здібності [13; 82; 111; 131]. *Темперамент* – це поєднання індивідуально-психологічних властивостей, які визначають загальну активність та динаміку діяльності суб'єкта. *Характер* – це поєднання стійких властивостей поведінки, що виявляються у ставленні суб'єкта до навколишнього соціальної дійсності. Характер є результатом розвитку у зв'язку із закріпленням в

поведінці різних проявів основних психічних процесів: пізнавальних (когнітивних), емоційних, вольових. В умовах професійного відбору велику роль грає психодіагностика рис характеру Л-О, так як саме характер визначає придатність людини до нормального спілкування, сумлінне ставлення до виконуваної роботи, його моральну надійність і ін. *Спрямованість* особистості – це прояв основних життєвих прагнень людини, її мотивації. *Здібності* – це властивості особистості, що визначають її придатність до успішного виконання навчальних і професійних завдань. Як особистість людини в цілому, так і властиві їй індивідуальні властивості є результатом виховання в соціальному середовищі. Структура цього середовища, а також форми взаємодії з нею суб'єкта в онтогенезі є визначальним фактором його соціалізації. У процесі професійної діяльності індивідуальні якості Л-О трансформуються в складну систему професійно-важливих якостей (ПВЯ), які забезпечують успішне формування професійних навиків і їх надійність в екстремальних умовах діяльності Л-О. Аналіз позитивних та негативних якостей Л-О та їх зміст наведено в табл. 1.8.

Таблиця 1.8

**Індивідуальні якості людини-оператора**

Позитивні якості	Негативні (небезпечні) якості
<i>1. Темперамент</i>	
Сангвінік – рухливість, легке пристосування. Товариський, веселий, життєрадісний. Швидко захоплюється і швидко змінює вираження емоцій. Характерна гнучкість розуму та швидка реакція	Холерик – підвищена збудливість, невірноваженість поведінки. Запальний, агресивний, енергійний. Характерна циклічність у роботі
Флегматик – спокійний, урівноважений, рівний, наполегливий трудівник	Меланхолік – підвищена чутливість і ранимість, замкнений



Продовження табл. 1.8

Позитивні якості	Негативні (небезпечні) якості
<i>2. Якості уваги</i>	
Сконцентрованість – здатність зосереджуватись на предметі Розподіл – здатність утримувати в полі зору одночасно декілька предметів; Переключення – здатність швидко переводити увагу з одного предмета на інший	Розсіяність – не здатність зосереджуватись на предметі; Нерозривність – нездатність утримувати в полі зору одночасно декілька предметів; Зацікловання – нездатність швидко переводити увагу з одного предмету на інший.
<i>3. Сприйняття і спостереження</i>	
Синтетичне – здатність визначати основний зміст того, що відбувається	Емоційне – схильність виражати переживання, що викликаються певним явищем
Аналітичне – здатність виділяти й аналізувати деталі	Неадекватне – нездатність визначати основний зміст того, що відбувається, та виділяти й аналізувати деталі
<i>4. Якості мислення</i>	
Широта - здатність охопити все питання цілком, не випускаючи водночас і необхідних для справи подробиць	Вузькість – нездатність охопити все питання цілком, упущення важливих для справи подробиць
Глибина – уміння проникати в сутність складних питань	Поверховість – звернення уваги на дріб'язковість і не бачення головного
Гнучкість – свобода від сковуючого впливу закріплених у минулому прийомів і способів вирішення задач, уміння швидко змінювати дії у разі зміни обстановки чи ситуації	Косність – залежність від впливу закріплених у минулому прийомів і способів рішення задач, невміння швидко змінювати дії у разі зміни обстановки
Швидкість – здатність швидко опанувати нову ситуацію, обміркувати і прийняти правильне рішення	Квапливість – людина, не продумавши всебічно питання, вихоплює якусь одну сторону, поспішає дати рішення, висловлює недостатньо продумані відповіді й судження
Критичність – уміння об'єктивно оцінювати свої і чужі думки, ретельно і всебічно перевіряти усі висунуті положення і висновки	Некритичність – суб'єктивне оцінювання своїх і чужих думок, невміння ретельно і всебічно перевіряти усі висунуті положення і висновки

Продовження табл. 1.8

Позитивні якості	Негативні (небезпечні) якості
Логічність – послідовність мислення	Нелогічність – непослідовність мислення
Допитливість – прагнення до пізнання нового	Байдужість – небажання пізнавати нове
Нестандартність (творчість) – здатність відмовитися від стереотипу, пручатися підказаному способу вирішення завдання або проблеми, не додержуватися нав'язаного стилю діяльності	Стандартність – вироблений стереотип упізнання класу завдань за запропонованими умовами і вибір підходящого способу вирішення
<i>5. Уява</i>	
Натхненність – здатність бачити нове й прекрасне в навколишньому світі	Прозаїчність – спрямування інтересів і потреб тільки на повсякденне життя
<i>6. Натура</i>	
Холодна – емоції не мають особливого значення;	Емоційна – емоційно збудливий, імпульсивний
Пристрасна – дієвий, стрімкий	Сентиментальна – схильний до споглядальності
<i>7. Вольові якості</i>	
Цілеспрямованість – вміння ставити та досягати цілей	Сумнівність – невміння ставити та досягати цілей
Рішучість – здатність швидко і продумано вибирати цілі;	Нерішучість – повільний і непродуманий вибір цілей
Наполегливість (активність) – здатність направляти і контролювати поведінку у відповідності з наміченою метою	Пасивність – нездатність направляти і контролювати поведінку у відповідності з наміченою метою
Витримка (самовладання) – здатність стримувати психічні й фізичні прояви, що заважають досягненню мети	Нетерплячість – нездатність стримувати психічні й фізичні прояви, що заважають досягненню мети
Самостійність – здатність за власною ініціативою ставити цілі та досягати їх, не прибігаючи до сторонньої допомоги	Сугестивність (схильність до навіювання) – відсутність власної точки зору, ініціативи
Сміливість – відсутність страху	Боягузтво – схильність до страху
Дисциплінованість – підпорядкування встановленому порядку, правилам	Недисциплінованість – нездатність підпорядкування встановленому порядку, правилам

Закінчення табл. 1.8

Позитивні якості	Негативні (небезпечні) якості
Відповідальність – високе почуття обов'язку	Безвідповідальність – відсутність почуття обов'язку
Спостережливість (обачність) – здатність передбачати небезпеку	Необачність – нездатність передбачати небезпеку
Несхильність до ризику – здатність діяти тільки в умовах абсолютної безпеки	Схильність до ризику – здатність діяти, знаючи про можливу небезпеку, з надією на успішний результат
<i>8. Стан здоров'я</i>	
Позитивні якості	Негативні (небезпечні) якості
Здоровий – правильна, нормальна діяльність організму, його повне фізичне і психічне благополуччя	Хворий – розлад здоров'я, порушення діяльності організму
<i>9. Досвід роботи (професіоналізм)</i>	
З досвідом роботи (професіонал) – знання, навички та вміння повністю відповідають вимогам певної сфери діяльності	Без досвіду роботи (непрофесіонал) – знання, навички та вміння не повністю відповідають вимогам певної сфери діяльності

Проведено аналіз індивідуально-психологічних факторів, їх цінності в системі професійного відбору авіаційного спеціаліста [165; 232; 286]. Для визначення впливу індивідуально-психологічних факторів на ПР Л-О при розвитку польотної ситуації від нормальної до аварійної введено кодування факторів (табл. 1.9).

*Психофізіологічні якості людини-оператора.* Характер роботи оператора різноманітний і залежить від багатьох причин, зокрема від динамічних властивостей ОК і всіх ланок, що входять у систему; законів керування, засобів кодування інформації, характеру завдань, поставлених перед оператором: зовнішніх умов керування, і, нарешті, від психофізіологічних властивостей і можливостей оператора [51; 102; 153; 172; 179; 180; 188]. Діяльність оператора, як керувальної ланки в замкненій системі керування представлена такими етапами: отримання і сприйняття інформації від різноманітних пристроїв і зовнішнього середовища; опрацювання отриманої інформації і

необхідного керувального впливу; перекладення керувального впливу до органів керування або видача будь-яких керувальних команд (моторні функції оператора).

Таблиця 1.9

**Кодування індивідуально-психологічних якостей Л-О**

№ з/п	Індивідуально-психологічні якості Л-О, $F_{ip}$	Кодування
1	Темперамент	$f_{ipt}$
2	Увага	$f_{ira}$
3	Сприйняття	$f_{ipp}$
4	Мислення	$f_{ipth}$
5	Уява	$f_{ipi}$
6	Натура	$f_{ipn}$
7	Воля	$f_{ipw}$
8	Здоров'я	$f_{iph}$
9	Досвід	$f_{exp}$
10	Пам'ять	$f_{me}$

Функції Л-О в складній ЕС керування зводяться в основному до компенсуючого спостереження за багатьма індикаторами; операцій контролю за розмірами регульованих параметрів ОК; математичного та логічного оброблення інформації, що надходить; узагальнення результатів контролю і порівняння їх із планом дії; прийняття цього рішення щодо керування об'єктом і реалізації його через органи керування шляхом прикладення відповідного впливу на них [102; 179]. Узагальнена робоча характеристика операторської діяльності Л-О є функцією часу, протягом якого Л-О зберігає можливість виконувати дії, з огляду на характер ОК:

$$t = f(R_u, Q_u, \varepsilon, L_o),$$

де  $Q_v$  – передатна функція Л-О, що описує перетворену з точністю  $\varepsilon$  інформацію (описується оператором  $R_v$ ) у керувальний вплив на ОК  $L_o$ . При цьому точність «поглинає» випадкову функцію  $n(t)$   $\varepsilon > n(t)$ .

Час існування стійкого функціонального стану Л-О є випадковим і, як правило, підкоряється нормальному закону розподілу, що дозволяє характеризувати її математичним очікуванням і дисперсією:

$$M(t) = f_M(R_v, Q_v, \varepsilon, L_o);$$

$$D(t) = f_D(R_v, Q_v, \varepsilon, L_o).$$

Отримані оператори відображають системні характеристики операторської діяльності людини: точність, надійність, складність, напруженість та ін.

Досліджуючи складну поліергатичну систему на стійкість за відомими критеріями, враховуючи характер ОК, психофізіологічні властивості Л-О, а саме, запізнювання реакції, час на ПР, нервово-м'язове запізнювання, можна визначити межу стійкого функціонального стану Л-О. Застосування апарату передатних функцій дозволяє описати діяльність Л-О в процесі керування ПК [51; 62; 95; 137; 187; 205; 232; 286].

Для прогнозування розвитку польотних ситуацій важливо володіти інформацією про поточний емоційний стан Л-О, що керує ПК, а також мати кількісну оцінку його можливостей для здолання ускладнень у польоті [137; 202; 205]. Дослідження в світовій практиці щодо визначення змін в емоційному стані Л-О в АЕС проводяться, в основному, за рахунок безпосередніх вимірювань таких фізіологічних характеристик, як пульс, кров'яний тиск, тремор рук, піт, зміни в радужній оболонці ока, тощо, що застосовують відповідну медичну апаратуру, датчики [27; 45; 51; 70; 172]. Такі дослідження фізичного стану Л-О, безумовно, мають практичний інтерес, але виникають труднощі отримання фактичних замірів емоційного стану Л-О в процесі виконання нею професійних обов'язків, наприклад, під час керування ПК, особливо, при виникненні позаштатних ситуацій. Необхідний розвиток досліджень з отримання реальних

характеристик емоційного стану Л-О, без втручання в ергономічні умови його операторської діяльності. Поширеними засобами оцінювання стану роботи пілота є параметри пілотування та переговори в кабіні екіпажу. Більш доступними є параметри пілотування (відхилення елеронів, руля напрямку тощо), які реєструються сучасними засобами [27; 45; 51].

Для оперативного визначення відхилень емоційного стану пілота та упередження прийняття ним рішення в умовах ризику застосовувалася концепція психічної діяльності людини, в основу якої покладено відому властивість свідомості людини затримувати або прискорювати плин суб'єктивного часу відносно реального часу [84; 85]. Існує три типи емоційної діяльності людини-оператора:

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

Деформації емоційного стану визначаються за допомогою апріорних моделей діяльності Л-О, побудованих на основі апостеріорних досліджень фактичного матеріалу розслідування авіаційних подій, отриманих Міжнародним авіаційним комітетом (МАК). Дії пілота в оптимальному (спонтанному), емоційному та розсудливому режимах діяльності визначені фазовими траєкторіями відхилення елеронів і руля напрямку [147] – таблиця 1.10.

Авторами запропоновано систему моніторингу емоційного стану Л-О під впливом навколишнього середовища (виникнення особливого випадку в польоті, аварійної ситуації, психоемоційної напруги) з визначенням відповідної стійкості ЕС «Л-О – ПК» [35; 185; 208; 220; 243; 250; 258; 260]. За статистикою 7% причин АП, що виникають з вини людського фактора, є порушенням взаємодії між членами екіпажу ПК (ЕПК) [2; 84]. Значна кількість інцидентів і випадків пошкодження ПК на землі (до 34%) також спричинена порушеннями взаємодії в різних колективах авіаційних фахівців, які забезпечують виконання польотів [3; 84; 85]. Причини більшості АП пов'язані з психологією авіаційних фахівців та їх взаємодією в колективі.

*Спонтанне (оптимальне) пілотування* характеризується правильністю та своєчасністю дій пілота в особливій ситуації. За зростанням емоціонального напруження можливий перехід пілота до потенційно небезпечних видів психічної діяльності: *емоційної* – із випередженням дій відносно реального часу та *розсудливої* – із запізненням дій відносно реального часу. Оптимальне (спонтанне) пілотування забезпечується, здебільшого, інтуїтивними підсвідомими психічними процесами і характеризується правильністю (безпомилковістю) дій пілота в ситуаціях, що виникли, в межах попереднього досвіду. При цьому дії пілота синхронізовані в часі з фізичним процесом руху ПК, тобто узгоджені між реальним (фізичним) та суб'єктивним (психічним) перебігом процесів у часі та просторі, або відстають не більш як на дві секунди.

Для своєчасного розпізнавання небезпечного емоційного стану пілота пропонується застосування методу фазової площини [62], сутність якого полягає в побудові фазових траєкторій за диференціальними рівняннями в системі координат: відхилення величини, що регулюється,  $x$  та швидкості її зміни  $y = dx/dt$ . Фазові портрети на площині ( $x$  – відхилення елерона,  $y$  – темп відхилення елерона) показано на рис. 5.4–5.7. У розглядуваному випадку необхідно виконати обернене перетворення: за наявними фазовими портретами отримати рівняння рухів пілота в трьох ситуаціях: під час спонтанного, розсудливого та емоційного керування. Наведені фазові портрети відповідають логарифмічній спіралі, що розгортається [108; 146]. При цьому передатна функція може бути описана диференціальними рівняннями другого порядку, якщо  $-1 < \xi < 0$ :

$$T^2 \frac{d^2 x}{dt^2} + 2\xi T \frac{dx}{dt} + x(t) = 0,$$

де  $T$  – стала часу, с;  $\xi$  – коефіцієнт демпфірування.

У цьому випадку рівняння має комплексні спряжені корені  $\lambda_1 = \alpha + j\omega$  та  $\lambda_2 = \alpha - j\omega$  і його розв'язання має наступний вигляд:

$$x(t) = Ae^{\alpha t} \cos \omega t ,$$

$$y(t) = \frac{dx}{dt} = Ae^{\alpha t} (\alpha \cos \omega t - \omega \sin \omega t) ,$$

$$R^2 = x^2 + y^2 = A^2 e^{2\alpha t} [\cos^2 \omega t + (\alpha \cos \omega t - \omega \sin \omega t)^2] ,$$

де  $A$  – амплітуда відхилення елеронів, град.;  $\omega$  – частота відхилення елеронів,  $\omega = 2\pi/T$ ;  $R$  - співвідношення для радіуса-вектора відхилення елеронів/

Під час спонтанного керування поточний радіус-вектор  $R$  відхилення елеронів ПК відносно точки рівноваги на фазовій площині не перевищує наперед визначеного з урахуванням індивідуальних особливостей кожного пілота оптимального значення  $R_{opt}$ . У разі виходу радіус-вектора  $R$  відхилення елеронів за межі максимально допустимого  $R_{max}$  можна зробити висновок про перехід пілота до небезпечних видів керування.

Альтернативним методом ідентифікації емоційного стану пілота в екстремальних умовах польоту є дисперсійний аналіз [165; 171], комплексне застосування якого разом з методом фазової площини забезпечить точність та надійність отриманих результатів.

Ідентифікація поточного емоційного стану пілота проводиться на основі отриманих методами дисперсійного аналізу моделей спонтанного (оптимального), емоційного та розсудливого типів діяльності Л-О [146; 165; 205; 321]:

- 1) дисперсійний аналіз відносно точки;
- 2) дисперсійний аналіз за умови, що кожна точка вважається випадковим вектором із початком на початку координат і кінцем у певній точці;
- 3) дисперсійний аналіз відносно ділянки, яка являє собою поле, точки всередині якого відповідають емоційному стану пілота.

Розроблено алгоритм ідентифікації поточного емоційного стану пілота із застосуванням методів дисперсійного аналізу і алгоритм діагностики емоційного стану Л-О та визначення стійкості ергатичної системи «Диспетчер – Пілот – ПК» при деформації емоційного досвіду при виникненні позаштатної



ситуації в польоті за допомогою критерія Найквіста [35; 243; 250; 258; 260].

Графіки, наведені в табл. 1.10, відтворюють типи деформацій емоційного досвіду пілота, що керує ПК, залежно від відхилень елеронів при появі емоційного напруження.

Таблиця 1.10

**Матеріал апостеріорних досліджень фактичного матеріалу розслідування АП, отриманих МАК**

Матеріал розслідування АП	Фазові траєкторії відхилення елеронів і руля напрямку	Графічна модель	Дисперсійний аналіз графічної моделі
Емоційний досвід не деформований («спонтанне» керування)			
Деформація емоційного досвіду (перехід до «розсуд-ливого типу» керування)			
Подальша деформація емоційного досвіду (перехід до «емоційного типу» керування)			
Розподіл висловів між пілотом та диспетчером у разі виникнення аварійної ситуації	<p>Кількість висловів</p> <p>Обсяг висловів у словах</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Кількість успішних висловів пілота (команда)</li> <li>- - - Кількість неуспішних висловів пілота</li> <li>· · · Загальна кількість висловів пілота</li> </ul>		

Результатом розслідування МАК авіаційних подій є також статистика успішних і неуспішних висловів у процесі радіообміну між пілотом та диспетчером у разі виникнення позаштатної ситуації [84; 147] (табл. 1.10).

На нормальний емоційний стан Л-О вказує використання ним в середньому восьми висловів по два слова в кожному за один сеанс радіозв'язку. Зменшення кількості висловів при одночасному збільшенні слів в них свідчить про ріст емоційного напруження оператора.

Апріорний аналіз радіообміну між пілотом і диспетчером у разі виникнення позаштатної ситуації за апостеріорними моделями розподілу висловів дозволить діагностувати емоційний стан операторів (пілота, диспетчера) за фразеологією, що є напрямком подальших досліджень. Можливість застосування в реальному часі цих графічних моделей дозволить своєчасно розпізнати емоційний стан пілота. Кодування психофізіологічних якостей Л-О наводиться в табл. 1.11.

Таблиця 1.11

**Кодування психофізіологічних якостей Л-О**

№ з/п	Психофізіологічні якості Л-О, $\bar{F}_{pf}$	Позначення	Кодування
1	Часова затримка сенсорної реакції Л-О	$T_{\tau}$	$f_{pft}$
2	Нервово-м'язове запізнювання	$T_n$	$f_{pfn}$
3	Коефіцієнт підсилення Л-О, який залежить від часу на ПР	$T_t$	$f_{pft}$
4	Спонтанний тип діяльності Л-О	$D_1$	$f_{pfd1}$
5	Емоційний тип діяльності Л-О	$D_2$	$f_{pfd2}$
6	Розсудливий тип діяльності Л-О	$D_3$	$f_{pfd3}$

Отримуємо множину факторів непрофесійного характеру, що впливають на Л-О під час ПР:

$$\bar{F}_{npr} = \{ \bar{F}_{ip}, \bar{F}_{pf}, \bar{F}_{sp} \},$$

де  $\bar{F}_{ip}$  – індивідуально-психологічні фактори;  
 $\bar{F}_{pf}$  – психофізіологічні фактори;  $\bar{F}_{sp}$  – соціально-психологічні фактори.

Сумісна діяльність відіграє важливу роль у процесі роботи екіпажу ПК і диспетчерської зміни. Особливості взаємодії в групах авіаційних фахівців найбільше проявляються в особливих випадках польоту. Вид професійної діяльності впливає на психологічний та соціальний типи особистості. Психофізіологічний базис і попередній соціальний досвід у процесі асиміляції професійної діяльності людиною, враховуючи процес професійного навчання, наближаються до необхідного професійного рівня, а також збагачується особистісними ознаками. Зовні це проявляється як індивідуальний стиль виконання професійних завдань. В процесі ПР особистість професіонала постає, як сукупність соціальних ролей та образів, що є ознакою різноманітності соціального буття людини [61; 82; 91]. Нині комплектування льотних екіпажів та інших колективів авіаційних фахівців документами не регламентується. Незважаючи на безліч методик оцінювання та підвищення ефективності діяльності льотного складу, в Україні майже не використовуються соціометричний і соціонічний підходи до комплектування льотних екіпажів, диспетчерських змін та інших колективів авіаційних фахівців [14; 85; 106]. Вище розглянуті концептуальні моделі людського фактора: *SHEL*, яка представляє людину у взаємодії з: правилами «S» (Software); об'єктом керування «H» (Hardware); середовищем «E» (Environment); іншими людьми «L» (Liveware) [4]; *Різона* (Reeson's Swiss Cheese Model), згідно з якою АП є результатом поєднання активних і прихованих помилок [2; 267; 270; 276]. На разі поширення набувають соціонічні моделі людини, які дають змогу отримати кількісні оцінки впливу людського фактора.

#### *Діагностика соціонічних моделей людини-оператора..*

Класична соціоніка ґрунтується на підході, який запропонував К.Г. Юнг (1875-1961) – швейцарський психіатр, засновник аналітичної психології. У своїй праці «Психологічні типи» він запропонував типологію характеру, спираючись на чотири основні психічні функції, що властиві людині [124; 263]: мислення, емоції, відчуття, інтуїція. Тест Катаріни Бріггс та Ізабель Майєрс, розроблений у 1959 р. «Myers-Briggs Type Indicator» (МВТІ), крім юнговських психологічних дихотомій

(ПД) «екстраверсія-інтроверсія», «логіка-етика», «сенсорика-інтуїція», використовує ПД «рішення-сприйняття» тобто, «спосіб організації своєї взаємодії із зовнішнім середовищем» [84; 90].

Литовський психолог Аушра Аугустінавічюте дійшла висновку, що тип є вродженою психічною структурою, яка визначає конкретний вид інформаційного обміну особистості із середовищем. Людина розглядається як інформаційна система, що має конкретні канали зв'язку з характерними для них обмеженнями [26]. Таким чином, Л-О з точки зору соціоніки являє собою складне системне утворення, яке реалізує себе на чотирьох рівнях функціонування і відрізняється типами, що визначаються за допомогою психологічних дихотомій, описаних К.Г. Юнгом, К. Бріггс, І. Майерс і А. Аугустінавічюте (рис. 1.8):

- біологічному (людина-природа);
- психологічному (людина-людина);
- соціальному (людина-суспільство);
- інформаційному (людина-ноосфера).

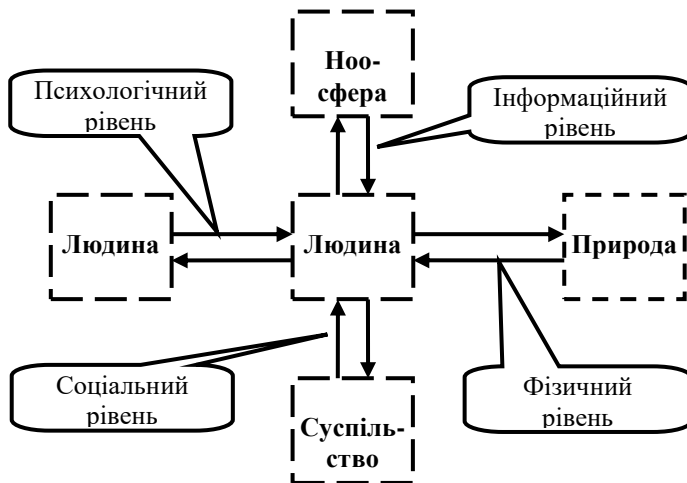


Рис. 1.8. Рівні функціонування людської особистості

Для формування ефективної команди на базі соціонічних моделей необхідне точне знання соціотипу її членів. Натепер для визначення соціотипу використовують два методи: інтроспекції і тестування. Метод інтроспекції використовується досить рідко, оскільки потребує певного рівня психологічних знань і навичок його застосуванні. Тому за основу психодіагностичних обстежень у дослідженні брався метод тестування за допомогою тесту ММ-1, розробленого російськими вченими С.Д. Лейченком, О.В. Малишевським і М.Ф. Михайликом, за результатами досліджень яких професійні досягнення авіаційних фахівці залежать від соціонічних типів. Авторами розглянуто 16 соціонічних типів людей (типів інформаційного метаболізму (ТІМ)), які обмінюються з навколишнім світом і між собою інформацією за певними законами [84]:

1. Логіко-інтуїтивний екстраверт ЛЛЕ.
2. Логіко-інтуїтивний інтроверт ЛЛІ.
3. Інтуїтивно-логічний інтроверт ІЛІ.
4. Інтуїтивно-логічний екстраверт ІЛЕ.
5. Інтуїтивно-етичний екстраверт ІЕЕ.
6. Інтуїтивно-етичний інтроверт ІЕІ.
7. Етико-інтуїтивний інтроверт ЕІІ.
8. Етико-інтуїтивний екстраверт ЕІЕ.
9. Етико-сенсорний екстраверт ЕСЕ.
10. Етико-сенсорний інтроверт ЕСІ.
11. Сенсорно-етичний інтроверт СЕІ.
12. Сенсорно-етичний екстраверт СЕЕ.
13. Сенсорно-логічний екстраверт СЛЕ.
14. Сенсорно-логічний інтроверт СЛІ.
15. Логіко-сенсорний інтроверт ЛСІ.
16. Логіко-сенсорний екстраверт ЛСЕ.

За допомогою соціодіагностики В.В. Гуленка [47] визначається вид професійної діяльності особистості за критерієм енерговитрат, тобто, здатності вирішувати професійні завдання і повністю реалізувати свій потенціал. Взаємодія функцій особистості (етика, інтуїція, логіка, сенсорика) визначає ефективний вид діяльності:

- 1) науково-дослідної;

- 2) гуманітарно-мистецької;
- 3) соціально-комунікативної;
- 4) техніко-управлінської.

Соціонічна модель особистості з визначенням психічних функцій, типу професійної діяльності і ТІМ особистості, що визначають соціонічний портрет професії, показано на рис. 1.9.

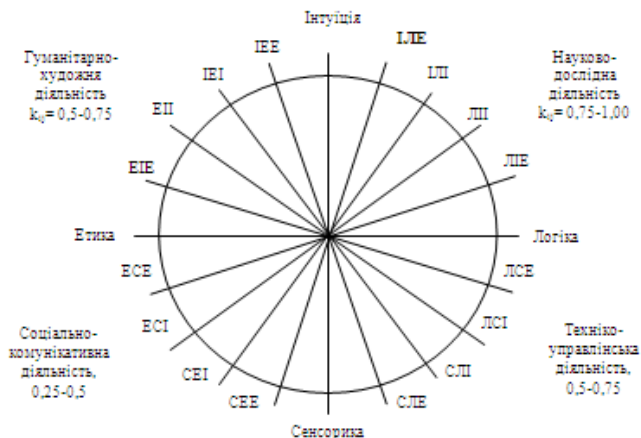


Рис. 1.9. Визначення соціонічної моделі особистості

Для оцінювання динаміки змін кількісних і якісних соціонічних показників авіаційних фахівців в їх процесі професійної підготовки і професійної діяльності доцільно застосувати автоматизовану діагностику.

### **Методика визначення соціонічної характеристики авіаційного фахівця**

1. Тестування за допомогою тесту ММ-1 [84; 131].

2. Визначення соціонічних показників:

2.1. Психічний тип Л-О за ПД:

- ПД «екстраверсія-інтроверсія»;
- ПД «логіка-етика»;
- ПД «сенсорика-інтуїція»;
- ПД «раціональність-ірраціональність».

Психологічна дихотомія «екстраверсія-інтроверсія» дає опис Л-О на інформаційному рівні, особливості її взаємодії з

інформаційним навколишнім середовищем. На психологічному рівні відрізняють розумові та емоційні типи діяльності Л-О, що визначається ПД «логіка-етика». Спосіб дії на оточуюче соціальне середовище виділяє ПД «сенсорика-інтуїція». Фізичний рівень взаємодії пов'язаний з асиметрією півкуль головного мозку і типом нервової системи людини, що визначається ПД «раціональність-іраціональність». Рівні функціонування людської особистості та відповідні ПД показано на рис. 1.9.

2.2. Розрахунок ПД за тестом ММ-1.

2.3. Визначення ТІМ, кодова назва якого складається з перших літер ПД, відповідно до рекомендацій табл. 1.12. Характеристики соціонічних моделей Л-О з точки зору авіаційної соціоніки визначають соціальну значущість типу, характерні властивості особистості, позитивні якості і прийнятні недоліки.

2.4. Визначення виду професійної діяльності особистості за критерієм енерговитрат, тобто, здатності вирішувати професійні завдання і повністю реалізувати свій потенціал за соціодіагностикою В.В. Гуленка [47]. Взаємодія функцій особистості (етика, інтуїція, логіка, сенсорика) визначає ефективний вид діяльності: науково-дослідна діяльність, гуманітарно-мистецька діяльність, соціально-комунікативна діяльність, техніко-управлінська діяльність.

*Коефіцієнт професійної діяльності Л-О  $k_{ij}$*  визначається за критерієм енерговитрат – здатність вирішувати професійні завдання і повністю реалізувати свій потенціал. Методика базується на підході до соціодіагностики В.В. Гуленка [47]. Коефіцієнт професійної діяльності  $k_{ij}$  коливається в межах і визначається за табл. 1.12 і залежить від розташування ТІМ в квадрантах видів професійної діяльності: науково-дослідна діяльність, гуманітарно-мистецька діяльність, соціально-комунікативна діяльність, техніко-управлінська діяльність:

$$0 \leq k_{ij} \leq 1,$$

де  $i$  – індекс типу професійної діяльності за стовпцем;  $j$  – індекс типу професійної діяльності за рядком.

Для визначення соціонічних характеристик авіаційних фахівців на основі опитувальника ММ-1 створено автоматизований модуль «Діагностика соціонічної моделі людини-оператора», який використовується в тренажерно-навчальній системі для реалізації індивідуального підходу в навчанні з урахуванням типу особистості студента [166; 229; 257; 278]. Для формалізації соціонічних показників особистості введено наступне кодування ТІМ (табл. 1.12).

Таблиця 1.12

**Позначення соціонічних моделей Л-О за професійною діяльністю відповідно до типу інформаційного метаболізму**

№ з/п	ПД «раціональність-ірраціональність»	Вид професійної діяльності	ТІМ	Позначення ТІМ	Код
1	Раціональність	Науково-дослідна діяльність	Логіко-інтуїтивний екстраверт	ЛЕЕ	$f_{ЛЕЕ}$
2	Раціональність		Логіко-інтуїтивний інтроверт	ЛІІ	$f_{ЛІІ}$
3	Ірраціональність		Інтуїтивно-логічний інтроверт	ІЛІ	$f_{ІЛІ}$
4	Ірраціональність		Інтуїтивно-логічний екстраверт	ІЛЕ	$f_{ІЛЕ}$
5	Ірраціональність	Гуманітарно-мистецька діяльність	Інтуїтивно-етичний екстраверт	ІЕЕ	$f_{ІЕЕ}$
6	Ірраціональність		Інтуїтивно-етичний інтроверт	ІЕІ	$f_{ІЕІ}$
7	Раціональність		Етико-інтуїтивний інтроверт	ЕІІ	$f_{ЕІІ}$
8	Раціональність		Етико-інтуїтивний екстраверт	ЕІЕ	$f_{ЕІЕ}$



Закінчення табл. 1.12

№ з/п	ПД «раціональність-ірраціональність»	Вид професійної діяльності	ТИМ	Позначення ТИМ	Код
9	Раціональність	Соціально-комунікативна діяльність	Етико-сенсорний екстраверт	ЕСЕ	$f_{ЕСЕ}$
10	Раціональність		Етико-сенсорний інтроверт	ЕСІ	$f_{ЕСІ}$
11	Ірраціональність		Сенсорно-етичний інтроверт	СЕІ	$f_{СЕІ}$
12	Ірраціональність		Сенсорно-етичний екстраверт	СЕЕ	$f_{СЕЕ}$
13	Ірраціональність	Техніко-управлінська діяльність	Сенсорно-логічний екстраверт	СЛЕ	$f_{СЛЕ}$
14	Ірраціональність		Сенсорно-логічний інтроверт	СЛІ	$f_{СЛІ}$
15	Раціональність		Логіко-сенсорний інтроверт	ЛСІ	$f_{ЛСІ}$
16	Раціональність		Логіко-сенсорний екстраверт	ЛСЕ	$f_{ЛСЕ}$

Проведено декомпозицію факторів непрофесійного характеру, що впливають ПР Л-О в АНС. Зміст і формальний опис параметрів моделей наведено в табл. 1.13. Надійність людини-оператора в АЕС значною мірою визначається рівнем його підготовленості. Система професійної підготовки оператора АНС включає як обов'язковий елемент тренажерну підготовку, яка є незамінним засобом формування й підтримки високої професійної готовності авіаційних фахівців, особливо до дій в особливих випадках польоту (при пожежах, відмовах на ПК, втраті радіозв'язку тощо) [91; 189; 271; 272; 288].

Таблиця 1.13

Декомпозиція факторів непрофесійного характеру  $\bar{F}_{np}$ 

№ з/п	Параметри	Кодування
Соціально-психологічні якості Л-О $\bar{F}_{sp} = \{f_{spm}, f_{spe}, f_{sps}, f_{spp}, f_{spl}\}$		
1	Духовні та культурні орієнтири особистості	$f_{spm}$
2	Економічні інтереси особистості	$f_{spe}$
3	Соціальні пріоритети особистості.	$f_{sps}$
4	Політичні погляди особистості	$f_{spp}$
5	Відношення до правових норм особистості	$f_{spl}$
Індивідуально-психологічні якості Л-О $\bar{F}_{ip} = \{f_{ipt}, f_{ipa}, f_{ipp}, f_{ipth}, f_{ipi}, f_{ipn}, f_{ipw}, f_{iph}, f_{exp}, f_{me}\}$		
6	Темперамент	$f_{ipt}$
7	Увага	$f_{ipa}$
8	Сприйняття	$f_{ipp}$
9	Мислення	$f_{ipth}$
10	Уява	$f_{ipi}$
11	Натура	$f_{ipn}$
12	Воля	$f_{ipw}$
13	Здоров'я	$f_{iph}$
14	Досвід	$f_{exp}$
15	Пам'ять	$f_{me}$
Психофізіологічні якості Л-О $\bar{F}_{pf} = \{f_{pfc}, f_{pfn}, f_{pft}, f_{pfd1}, f_{pfd2}, f_{pfd3}\}$		
16	Часова затримка сенсорної реакції	$f_{pfc}$
17	Нервово-м'язове запізнювання	$f_{pfn}$
18	Коефіцієнт підсилення оператора	$f_{pft}$

№ з/п	Параметри	Кодування
Соціотипи Л-О		
$\bar{F}_{st} = \{f_{ЛЕ}, f_{ЛП}, f_{ЛЛ}, \dots, f_{ЛСЕ}\}$		
18	Спонтанний тип	$f_{pfд1}$
19	Емоційний тип	$f_{pfд2}$
20	Розсудливий тип	$f_{pfд3}$
21	Логіко-інтуїтивний екстраверт	$f_{ЛЕ}$
22	Логіко-інтуїтивний інтроверт	$f_{ЛП}$
23	Інтуїтивно-логічний інтроверт	$f_{ЛЛ}$
24	Інтуїтивно-логічний екстраверт	$f_{ЛЕ}$
25	Інтуїтивно-етичний екстраверт	$f_{ЛЕЕ}$
26	Інтуїтивно-етичний інтроверт	$f_{ЛЕ}$
27	Етико-інтуїтивний інтроверт	$f_{ЛЕП}$
28	Етико-інтуїтивний екстраверт	$f_{ЛЕЕ}$
29	Етико-сенсорний екстраверт	$f_{ЕСЕ}$
30	Етико-сенсорний інтроверт	$f_{ЕСП}$
31	Сенсорно-етичний інтроверт	$f_{СЕП}$
32	Сенсорно-етичний екстраверт	$f_{СЕЕ}$
33	Сенсорно-логічний екстраверт	$f_{СЛЕ}$
34	Сенсорно-логічний інтроверт	$f_{СП}$
35	Логіко-сенсорний інтроверт	$f_{ЛСП}$
36	Логіко-сенсорний екстраверт	$f_{ЛСЕ}$

Це обумовлено рідким виникненням особливих випадків у процесі професійної діяльності оператора і тому відповідною підтримкою ним у зв'язку з цим необхідних знань, навичок і умінь. Виявлені в методиці проведення тренажерної підготовки операторів АНС до дій в особливих випадках польоту такі істотні недоліки, як суб'єктивність (оцінка знань, навичок і умінь оператора інструктором) і малоінформативність (одержання лише поверхневих уявлень про структуру знань, навичок і умінь оператора), потребують розроблення й створення в межах автоматизованої системи професійної

підготовки оператора АНС експертної системи діагностики помилкових дій оператора, що забезпечує комплексне автоматичне оцінювання сукупності елементарних дій Л-О при виконанні ним навчальних вправ.

Симуляція різних ситуацій для операторів АНС, оцінювання їх поведінки в екстремальних умовах з урахуванням впливу факторів зовнішнього середовища (професійного і непрофесійного характеру) дозволять прогнозувати розвиток ситуації від нормальної до аварійної чи навпаки, а також моделювати дії Л-О в ОВП з упередженням.

Проблема надійності людської ланки в ергатичній системі, до якої належить АНС, актуальна з часу появи перших літальних апаратів. Виконанням вимог до безпеки польотів за значної інтенсивності та щільності польотів, несприятливих погодних умов, можливих відмов засобів аеронавігації і впливу людського фактора займаються вчені з різним фахом. Дослідження професійної діяльності людини є важливою та складною проблемою інженерної психології, ергономіки, психології, фізіології праці тощо.

Незважаючи на постійне вдосконалення техніки, автоматизацію процесу діяльності, функції людини ускладнюються, а економічна і соціальна значущість результатів його праці та наслідків збільшується. Зростаюча ціна помилок оператора визначає постійну необхідність пошуку шляхів і засобів забезпечення ефективного функціонування людини в нормальних і екстремальних умовах діяльності.

Напрямок роботи авторів визначено розробленням системи оцінювання ефективності ПР Л-О АНС в очікуваних і в неочікуваних умовах експлуатації ПК з урахуванням впливу факторів зовнішнього середовища, тобто впливу на ПР Л-О факторів професійного та непрофесійного характеру. Професійну діяльність Л-О та особливості ПР в очікуваних і в неочікуваних умовах експлуатації об'єкта керування (наприклад, ПК) неможливо розглядати без аналізу його професійної підготовки та середовища, що формує Л-О як особистість [82].

Сучасна школа професійної підготовки Л-О в АНС, що базується на фундаментальних положеннях робіт С.Л.

Рубінштейна, Л.С. Вигодського, О.М. Леонтьєва [61; 82; 131] та інших, розглядає процес навчання як особливий вид діяльності з освоєння досвіду людства, у процесі якого навчання безперервно пов'язано з удосконаленням особистісних властивостей Л-О. У процесі професійного навчання, професійної діяльності та набутого досвіду індивідуальні якості Л-О трансформуються в складну систему професійно важливих якостей (ПВЯ), які, в свою чергу, забезпечують успішне формування професійних навиків та їх надійність особливо в екстремальних умовах діяльності. Таким чином, є взаємозалежність між особистісними властивостями Л-О, його професійною діяльністю (професійною підготовкою), рівнем розвитку ПВЯ та здатністю людини до інтегративної реалізації в процесі професійної діяльності. Системі формування ПВЯ притаманна властивість складної системи – емерджентність, тобто складний інтегративний комплекс ПВЯ не є адитивним відповідно до окремих якостей Л-О. Освоєння жорстких алгоритмів професійної діяльності та оптимальний рівень розвитку ПВЯ у Л-О визначає їх надійність в екстремальних умовах та специфіки ПР.

За нормальної ситуації оператором виконуються стандартні процедури пілотування та ОПР, які чітко регламентовані нормативними документами. Позаштатні ситуації вимагають оперативного втручання Л-О в розвиток подій для попередження переходу ситуації в ранг катастрофічної.

Професійну діяльність (професійну підготовку) Л-О розглянуто на прикладах:

- у професійному навчанні – визначення критеріїв формування змісту професійної підготовки операторів авіаційних систем та моделювання системи професійного навчання за допомогою теорії катастроф [19; 120; 184];

- у професійній діяльності – визначення стійкості авіаційної ергатичної системи «Пілот-ПК» при заданому рівні професійної підготовки на прикладі пілотів легкомоторної авіації (ЗАНГ – застосування авіації в народному господарстві) [65; 95; 187];

- при допуску до самостійної професійної діяльності – система оцінювання авіаційного спеціаліста до стажування і

після проходження стажування при допуску до самостійної роботи [6; 8; 158; 212–215; 245; 300; 301].

Комплект критеріїв апробовано під час розроблення варіативної частини освітньо-професійної програми (ОПП) авіадиспетчера. В результаті апробації виявлено, зокрема, що в науково-методичному комплексі спеціальності дублюються певні теми навчальних програм; одночасно встановлено непоодинокі випадки відсутності необхідних модулів знань.

Формалізацію факторів професійного характеру, що впливають на ПР Л-О в АНС, відображено в табл. 1.14.

Таблиця 1.14

**Декомпозиція факторів професійного характеру, що впливають на ПР Л-О в АНС. Зміст і формальний опис параметрів моделей**

Позначення факторів	Фактори	Параметри	Кодування
$\bar{F}_p$	Фактори професійного характеру $\bar{F}_p = \{F_{ed}, F_{exp}\}$	Знання, навички, вміння, здобуті людиною-оператором в процесі навчання	$F_{ed}$
		Знання, навички, вміння, здобуті людиною-оператором у процесі професійної діяльності	$F_{exp}$

Системно-теоретичне дослідження систем базується на трьох положеннях: зв'язок, складність та стійкість. Система професійного навчання (ПН) як складна поліергатична система має складність двоякої природи, тобто структурну або статичну складність, яка вміщує зв'язок і структуру підсистем, та динамічну складність, пов'язану з поведінкою системи протягом певного часу [20; 66].

**1.3. Оцінка впливу факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства на діяльність оператора соціотехнічної системи**

Авіація вважається першою «ультрабезпечною» соціотехнічною системою в історії транспорту, тобто, системою,

в якій кількість катастрофічних відмов у сфері безпеки польотів складає менше однієї на мільйон виробничих циклів [264]. За оцінками, існує більша ймовірність загинути від удару блискавки (один випадок на 10,5 млн.), ніж розбитися в авіакатастрофі в США та Європі (один випадок на 29 млн.). І це незважаючи на те, що за 2014 рік загальна кількість пасажирів підвищилась до 3,3 млрд. осіб порівняно з 106 млн. пасажирів у 1960 році [282].

Зараз спостерігається менша кількість авіаційних подій зі смертельним результатом або випадків конструктивної загибелі повітряного корабля (ПК) [269]. За 2014 рік Мережа безпеки авіації [273] зареєструвала в цілому 21 катастрофу, в результаті чого 990 людей загинуло. Це робить 2014 рік найбезпечнішим роком за кількістю смертельних випадків і 24 самим безпечним роком в історії авіації за кількістю жертв. Враховуючи, що у 2014 році було виконано близько 33 млн. польотів, одна катастрофа пасажирського ПК приходить на 4,125 млн. польотів.

Рівень безпеки польотів значно покращився за рахунок удосконалення технологій, навігаційних систем, двигунів, а також впровадження конструкцій, які безпечно руйнуються, та електродистанційної системи управління. Стандарти навчання екіпажу та управління безпекою теж стали помітно вище. Такі інновації, як системи електронних комунікацій, що дозволяють пілотам і диспетчерам спілкуватися один з одним за допомогою текстових повідомлень, сприяють подальшому підвищенню безпеки авіації [282]. Але кожен день авіаційна галузь стикається з безліччю ризиків, які потенційно можуть поставити під загрозу успіх операційної діяльності, якщо ними адекватно не управляти. В табл. 1.15 представлено результати авторитетного щорічного дослідження глобального ризику Allianz Risk Barometer 2014 [282].

Наведені в табл. 1.15 дані свідчать, що на даний час авіаційних фахівців найбільше турбують перериви в наданні авіаційних послуг (через пошкодження техніки, недоліки в технології та організації авіаційної діяльності, негативний вплив людського фактору тощо) та збої у ланцюжках постачань. Посилення конкуренції та стагнація на ринку авіаційних послуг,

зміни в законодавстві, що регулює авіаційну діяльність, політичні та соціальні кризи, підвищення цін на сировину (нафту), технологічні інновації також мають високий рейтинг у цьому переліку ризиків.

Таблиця 1.15

**Ключові ризики авіаційної індустрії**

№ з/п	Вид ризику	Частка, %
1	Тероризм	5
2	Забруднення навколишнього середовища	5
3	Вибухонебезпека	5
4	Кібер-атаки	5
5	Технологічні інновації	7
6	Підвищення цін на сировину	7
7	Політичні / соціальні кризи	8
8	Стихійні лиха	9
9	Зміни в законодавстві та регулюванні	9
10	Стагнація на ринку авіаційних послуг	12
11	Посилення конкуренції	14
12	Перериви в наданні авіаційних послуг, збої у ланцюжках постачань	14
Всього		100

Актуальним є дослідження комплексного впливу неоднорідних факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства на безпеку авіаційної діяльності та виявлення серед них факторів ризику.

У результаті проведення системного аналізу середовища менеджменту авіапідприємства класифіковано та формалізовано різні фактори, що впливають на авіаційну діяльність. За допомогою теоретико-множинного методу системно узагальнено неоднорідні фактори внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства. Методом експертних оцінок визначено ступінь впливу факторів середовища менеджменту авіапідприємства на безпеку авіаційної діяльності [246]. Середовище менеджменту авіапідприємства представляє собою сукупність певних



обставин і факторів у середині і навколо нього, що впливають на прийняття рішень [94; 293] (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Середовище менеджменту авіапідприємства

Внутрішнє середовище менеджменту авіапідприємства представляє собою сукупність компонентів, пов'язаних між собою за допомогою певних структур у його межах. Основними змінними внутрішнього середовища менеджменту авіапідприємства є цілі, задачі, структури, технології та кадри авіапідприємства. Внутрішні змінні звичайно називають соціотехнічними підсистемами, тому що вони мають соціальний компонент (людей) і технічний компонент (інші внутрішні змінні).

Зовнішнє середовище менеджменту авіапідприємства – це сукупність елементів, які не входять до складу авіапідприємства, але здійснюють певний вплив на нього.

Основними характеристиками зовнішнього середовища авіапідприємства є взаємозв'язок його факторів, складність, рухливість та невизначеність. Зовнішнє середовище менеджменту авіапідприємства розділяється на два види:

– зовнішнє середовище менеджменту авіапідприємства *прямого впливу*, яке включає в себе елементи, що безпосередньо впливають на операції авіапідприємства та відчувають на собі прямий вплив його операцій: споживачі авіаційних, аеронавігаційних, аеропортових послуг та послуг з наземного або технічного обслуговування, конкуренти, партнери, закони і державні установи;

– зовнішнє середовище менеджменту авіапідприємства *опосередкованого впливу*, які можуть не здійснювати негайний вплив на операції авіапідприємства, але з часом будуть відображатись на них: стан економіки, науково-технічний прогрес, політичні та соціокультурні фактори, міжнародні події.

Запропоновано теоретико-множинний метод узагальнення неоднорідних факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства [246], що дозволяє врахувати структурну ієрархічність, різноманітність, динамічну нестабільність факторів та визначити умови для їх оцінювання:

$$\bar{F} = \bar{F}_{ie} \cup \bar{F}_{eedi} \cup \bar{F}_{eeii},$$

де  $\bar{F}_{ie} = \{\bar{G}, \bar{Ta}, \bar{S}, \bar{Te}, \bar{Pe}\}$  – множина факторів внутрішнього середовища менеджменту авіапідприємства (цілі  $\bar{G}$ , задачі  $\bar{Ta}$ , структури  $\bar{S}$ , технології  $\bar{Te}$ , кадри  $\bar{Pe}$ );  $\bar{F}_{eedi} = \{\bar{C}, \bar{Co}, \bar{Pa}, \bar{L}\}$  – множина факторів зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства прямого впливу (споживачі  $\bar{C}$ , конкуренти  $\bar{Co}$ , партнери  $\bar{Pa}$ , закони  $\bar{L}$ );  $\bar{F}_{eeii} = \{\bar{ES}, \bar{SP}, \bar{PF}, \bar{SF}, \bar{IE}\}$  – множина факторів зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства опосередкованого впливу (стан економіки  $\bar{ES}$ , науково-технічний прогрес  $\bar{SP}$ ,

політичні фактори  $\overline{PF}$ , соціокультурні фактори  $\overline{SF}$ , міжнародні події  $\overline{IE}$ ).

На рис. 1.11 представлено графічну інтерпретацію методу узагальнення неоднорідних факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства за допомогою теоретико-множинного підходу.

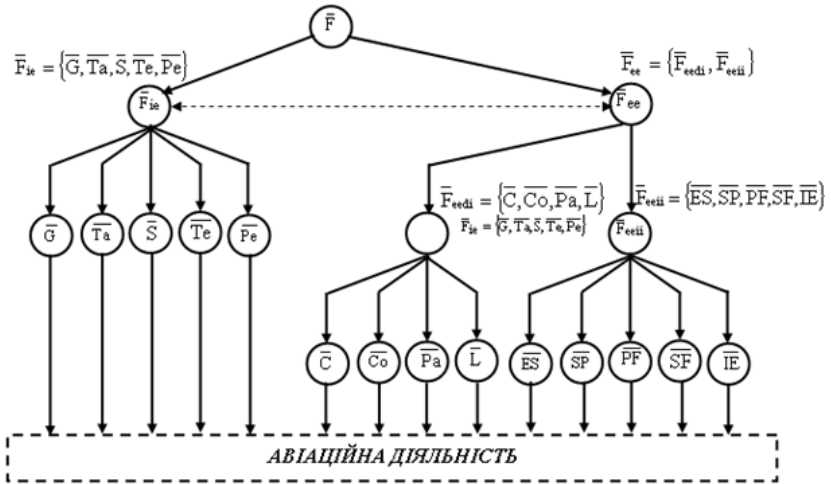


Рис. 1.11. Графічна інтерпретація методу узагальнення неоднорідних факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства

Для проведення системного аналізу середовища менеджменту авіапідприємства виконана декомпозиція факторів, що впливають на безпеку авіаційної діяльності (рис. 1.12).

Системний аналіз середовища менеджменту авіапідприємства проведено в порядку зменшення значущості його факторів: в першу чергу проаналізовано фактори внутрішнього середовища менеджменту, потім – фактори зовнішнього середовища менеджменту прямого впливу і, наостанок, – фактори зовнішнього середовища менеджменту опосередкованого впливу.

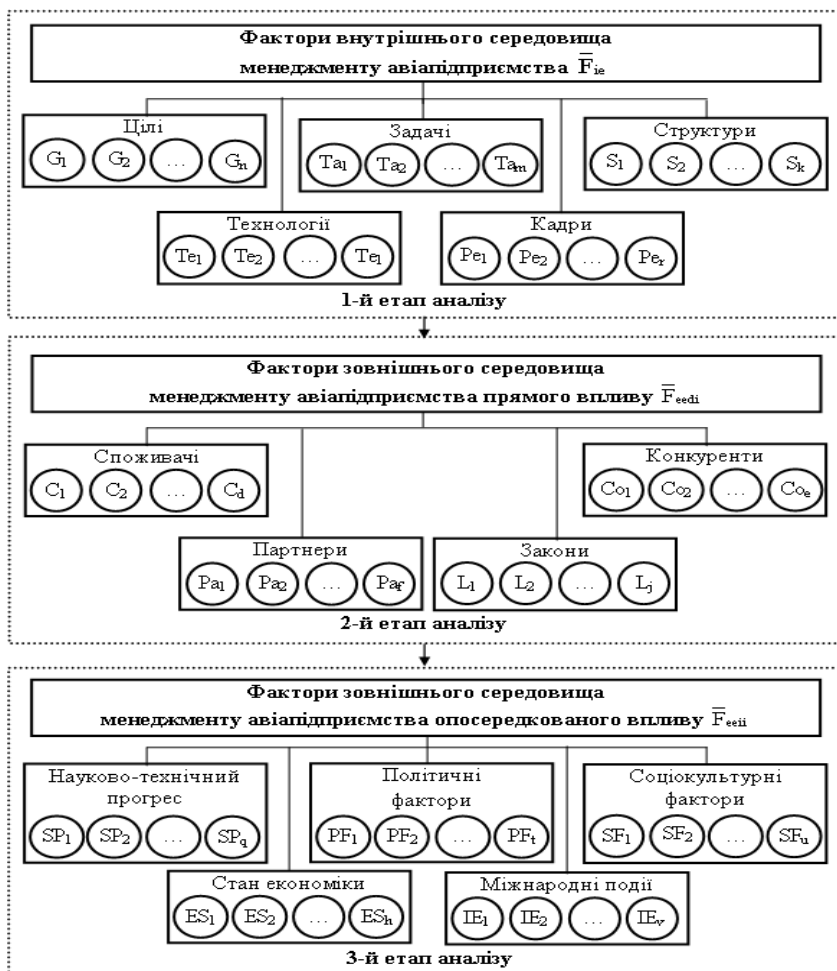


Рис. 1.12. Декомпозиція факторів середовища менеджменту авіапідприємства

Зміст і формальний опис параметрів середовища менеджменту авіапідприємства наведено в табл. 1.16, саме фактори внутрішнього середовища менеджменту авіапідприємства, зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства прямого впливу, зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства опосередкованого впливу.

Таблиця 1.16

**Зміст і формальний опис параметрів середовища менеджменту авіапідприємства**

№ з/п	Фактори	Параметри	Код
<b>Фактори внутрішнього середовища менеджменту авіапідприємства <math>\bar{F}_{ie}</math></b>			
1	<b>Цілі</b> $\bar{G} = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}$	Безпека авіаційної діяльності	$G_1$
2		Регулярність авіаційної діяльності	$G_2$
3		Економічна ефективність авіаційної діяльності	$G_3$
4	<b>Задачі</b> $\bar{Ta} = \{Ta_1, Ta_2, \dots, Ta_m\}$	Збереження життя та здоров'я людей	$Ta_1$
5		Захист від актів незаконного втручання	$Ta_2$
6		Охорона навколишнього природного середовища	$Ta_3$
7		Ефективне використання ресурсів	$Ta_4$
8		Захист від інформаційних загроз	$Ta_5$
9		Недопущення збоїв в роботі	$Ta_6$
10		Отримання прибутку	$Ta_7$
11		Виробництво якісних авіаційних послуг	$Ta_8$
12	<b>Структури</b> $\bar{S} = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$	Лінійна структура	$S_1$
13		Функціональна структура	$S_2$
14		Дивізійна структура	$S_3$
15		Проектна структура	$S_4$
16		Матрична структура	$S_5$
17		Процесна структура	$S_6$
18	<b>Технології</b> $\bar{Te} = \{Te_1, Te_2, \dots, Te_l\}$	Льотно-технічні характеристики повітряних кораблів	$Te_1$
19		Рівень фізичного зношування повітряних кораблів	$Te_2$
20		Рівень фізичного зношування спецтехніки	$Te_3$
21		Рівень фізичного зношування будівель та споруджень	$Te_4$
22		Технологічні операції з розробки авіаційних послуг	$Te_5$
23		Технологічні операції з реалізації авіаційних послуг	$Te_6$

№ з/п	Фактори	Параметри	Код
24		Технологічні операції з наземного обслуговування	Te <sub>7</sub>
25		Технологічні операції з технічного обслуговування	Te <sub>8</sub>
26		Технологічні операції з аеропортового обслуговування	Te <sub>9</sub>
27		Технологічні операції з аеронавігаційного обслуговування	Te <sub>10</sub>
28		Екіпаж ПК (льотний екіпаж і екіпаж пасажирського салону)	Pe <sub>1</sub>
29		Особи командно-керівного, командно-льотного, інспекторського та інструкторського складу	Pe <sub>2</sub>
30		Спеціалісти, які здійснюють регулювання використання повітряного простору і обслуговування повітряного руху	Pe <sub>3</sub>
31		Спеціалісти, які здійснюють організацію і технічне обслуговування ПК, а також всі види забезпечення польотів	Pe <sub>4</sub>
32	Авіаційний персонал	Спеціалісти, які обслуговують повітряні перевезення	Pe <sub>5</sub>
33	$\overline{Pe} = \{Pe_1, Pe_2, \dots, Pe_r\}$	Спеціалісти, які здійснюють організацію і проведення дослідно-конструкторських, експериментальних, науково-дослідних робіт при льотних випробуваннях авіаційної техніки	Pe <sub>6</sub>
34		Спеціалісти, які здійснюють нагляд і контроль за безпекою польотів, а також ті, які проводять службове розслідування авіаційних подій	Pe <sub>7</sub>
35		Спеціалісти, які здійснюють аналіз та контроль льотної придатності ПК при розробці, випробуванні, сертифікації і серійному виробництві	Pe <sub>8</sub>

№ з/п	Фактори	Параметри	Код
36		Спеціалісти, які здійснюють забезпечення авіаційної безпеки і безпеки авіації в цілому	Ре <sub>9</sub>
37		Авіаційні експерти	Ре <sub>10</sub>
<b>Фактори зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства прямого впливу F<sub>eedi</sub></b>			
38	Споживачі $\bar{C} = \{C_1, C_2, \dots, C_d\}$	Пасажири першого класу	C <sub>1</sub>
39		Пасажири бізнес класу	C <sub>2</sub>
40		Пасажири економ класу	C <sub>3</sub>
41		Вантажна клієнтура	C <sub>4</sub>
42		Корпоративні клієнти	C <sub>5</sub>
43		VIP-клієнти	C <sub>6</sub>
44		Замовники авіаробіт	C <sub>7</sub>
45	Конкуренти $\bar{C}_o = \{C_{o1}, C_{o2}, \dots, C_{o_e}\}$	Авіакомпанії – товариства з обмеженою відповідальністю	Co <sub>1</sub>
46		Авіакомпанії – приватні акціонерні товариства	Co <sub>2</sub>
47		Авіакомпанії – публічні акціонерні товариства	Co <sub>3</sub>
48		Авіакомпанії – державні підприємства	Co <sub>4</sub>
49		Авіакомпанії – приватні підприємства	Co <sub>5</sub>
50		Іноземні авіакомпанії	Co <sub>6</sub>
51	Партнери $\bar{P}_a = \{P_{a1}, P_{a2}, \dots, P_{af}\}$	Члени авіаційного альянсу	Pa <sub>1</sub>
52		Агентства з продажу авіаперевезень	Pa <sub>2</sub>
53		Провайдери аеронавігаційних послуг	Pa <sub>3</sub>
54		Аеропорти	Pa <sub>4</sub>
55		Хендлінгові компанії	Pa <sub>5</sub>
56		Клінінгові компанії	Pa <sub>6</sub>
57		Паливозаправляючі компанії	Pa <sub>7</sub>
58		Кетерингові фірми	Pa <sub>8</sub>
59		Організації з технічного обслуговування повітряних кораблів	Pa <sub>9</sub>
60		Автотранспортні підприємства	Pa <sub>10</sub>
61		Готелі	Pa <sub>11</sub>

№ з/п	Фактори	Параметри	Код
62	Закони $\bar{L} = \{L_1, L_2, \dots, L_j\}$	Конституція України	L <sub>1</sub>
63		Закони України	L <sub>2</sub>
64		Міжнародні угоди України	L <sub>3</sub>
65		Повітряний кодекс України	L <sub>4</sub>
66		Міжнародні конвенції та протоколи	L <sub>5</sub>
67		Стандарти і рекомендована практика ICAO (SARPs)	L <sub>6</sub>
68		Стандарти Європейської об'єднаної авіаційної влади (JAR)	L <sub>7</sub>
69		Документи Євроконтролю (ESARRs)	L <sub>8</sub>
70		Постанови Верховної ради України	L <sub>9</sub>
71		Укази Президента України	L <sub>10</sub>
72		Постанови, розпорядження Кабінету Міністрів України	L <sub>11</sub>
73		Державні стандарти України (ДСТУ)	L <sub>12</sub>
74		Накази Державіаслужби України	L <sub>13</sub>
75		Авіаційні правила України	L <sub>14</sub>
76		Галузеві керівні документи	L <sub>15</sub>
77		Авіаційні правила колишнього СРСР	L <sub>16</sub>
78		Державні стандарти СРСР (ГОСТ)	L <sub>17</sub>
79		Галузеві керівні документи (ОСТ, РД)	L <sub>18</sub>
<b>Фактори зовнішнього середовища менеджменту авіаїдприємства опосередкованого впливу <math>\bar{F}_{eeii}</math></b>			
80	Стан економіки $\bar{ES} = \{ES_1, ES_2, \dots, ES_n\}$	Прожитковий мінімум	SE <sub>1</sub>
81		Мінімальна зарплата	SE <sub>2</sub>
82		Мінімальна пенсія	SE <sub>3</sub>
83		Середній дохід населення	SE <sub>4</sub>
84		Рівень інфляції	SE <sub>5</sub>
85		Ставки банківського процента	SE <sub>6</sub>
86		Рівень безробіття	SE <sub>7</sub>
87		Стан інвестиційної діяльності у сфері транспорту	SE <sub>8</sub>
88		Розвиток туризму	SE <sub>9</sub>



№ з/п	Фактори	Параметри	Код
89	Науково-технічний прогрес $\overline{SP} = \{SP_1, SP_2, \dots, SP_q\}$	Рівень морального зношування ПК	ST <sub>1</sub>
90		Рівень морального зношування спецтехніки	ST <sub>2</sub>
91		Рівень морального зношування будівель та споруджень	ST <sub>3</sub>
92		Прогресивність технологічних схем з розробки та реалізації авіапослуг	ST <sub>4</sub>
93		Прогресивність технологічних схем з наземного, технічного, аеропортового, аеронавігаційного обслуговування	ST <sub>5</sub>
94	Політичні фактори $\overline{PF} = \{PF_1, PF_2, \dots, PF_t\}$	Стабільність політичного режиму	PF <sub>1</sub>
95		Рівень корупції	PF <sub>2</sub>
96		Рівень злочинності	PF <sub>3</sub>
97		Рівень державного регулювання в авіаційній галузі	PF <sub>4</sub>
98	Соціокультурні фактори $\overline{SF} = \{SF_1, SF_2, \dots, SF_u\}$	Соціальна структура населення	SF <sub>1</sub>
99		Національно-побутові традиції населення	SF <sub>2</sub>
100		Популярність повітряного транспорту	SF <sub>3</sub>
101	Міжнародні події $\overline{IE} = \{IE_1, IE_2, \dots, IE_v\}$	Світова економічна ситуація	IE <sub>1</sub>
102		Військово-стратегічна ситуація	IE <sub>2</sub>
103		Вплив окремих держав	IE <sub>3</sub>
104		Вплив природного середовища	IE <sub>4</sub>
105		Стан сировинних і природних ресурсів	IE <sub>5</sub>

На рис. 1.13 наведено приклад побудови ієрархічної композиції пріоритетів факторів середовища менеджменту авіапідприємства методом аналізу ієрархій [295] на основі змісту та формального опису параметрів фактору внутрішнього середовища «Технології» (табл. 1.17). Методика оброблення даних впливу з параметрів одного з факторів внутрішнього середовища менеджменту авіапідприємства «Технології» на безпеку авіаційної діяльності та аналіз отриманих результатів наводиться в додатку А.

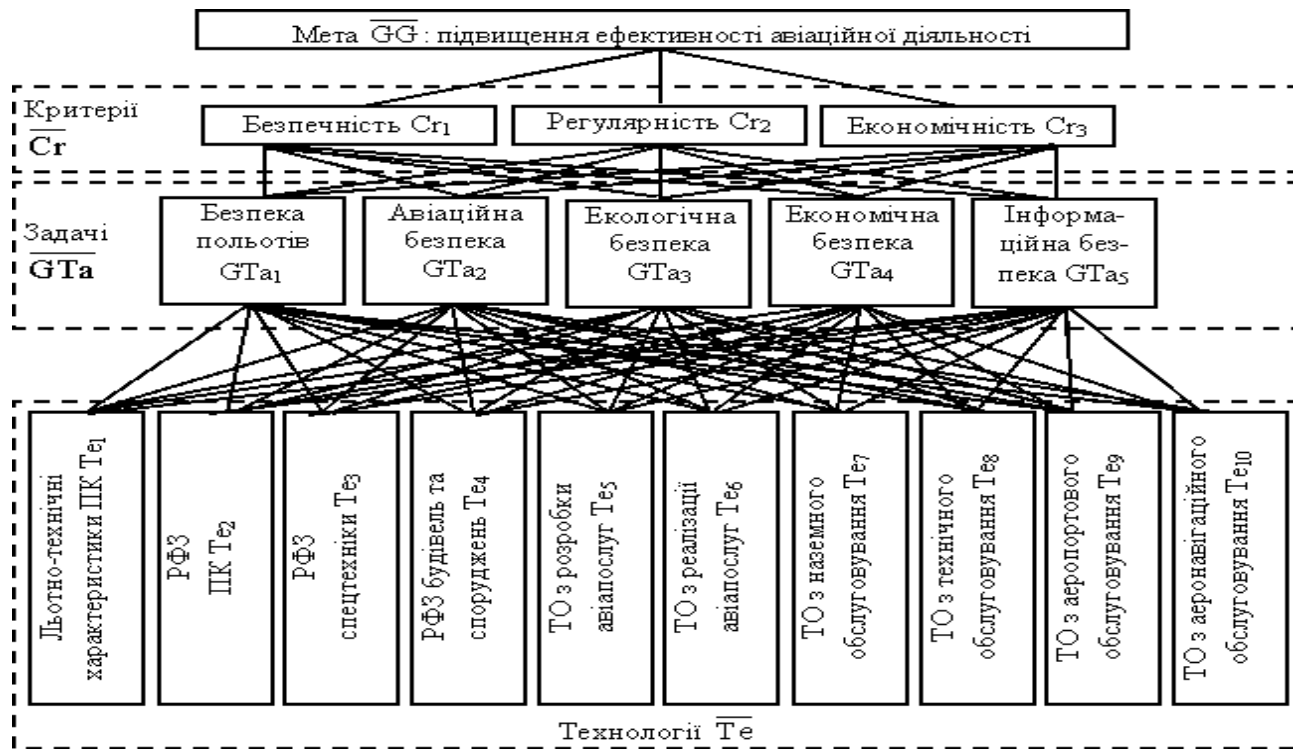


Рис. 1.13. Приклад побудови ієрархічної композиції пріоритетів факторів середовища менеджменту авіапідприємства

Таблиця 1.17

**Зміст та формальний опис параметрів фактору внутрішнього середовища менеджменту авіапідприємства «Технології»**

№ з/п	Параметри	Кодування
1	Льотно-технічні характеристики ПК	Te <sub>1</sub>
2	Рівень фізичного зношування (РФЗ) ПК	Te <sub>2</sub>
3	РФЗ спецтехніки	Te <sub>3</sub>
4	РФЗ будівель та споруджень	Te <sub>4</sub>
5	Технологічні операції (ТО) з розробки авіапослуг	Te <sub>5</sub>
6	ТО з реалізації авіапослуг	Te <sub>6</sub>
7	ТО з наземного обслуговування	Te <sub>7</sub>
8	ТО з технічного обслуговування	Te <sub>8</sub>
9	ТО з аеропортового обслуговування	Te <sub>9</sub>
10	ТО з аеронавігаційного обслуговування	Te <sub>10</sub>

Для визначення рівня безпеки потрібно мати уявлення як про внутрішнє, так і про зовнішнє середовище авіапідприємства, їх потенціали і тенденції розвитку, а також знати місце авіапідприємства в середовищі. Системні дослідження внутрішнього і зовнішнього середовища авіапідприємства, кількісне оцінювання, агрегування, вибір принципів згортки, нормалізації і пріоритетів відповідних показників авіапідприємства ведуть до рішення багатокритеріальної задачі оптимізації менеджменту авіапідприємства, що дає змогу зменшити негативний вплив факторів ризику на безпеку авіаційної діяльності, а також збільшити можливості з підвищення рівня безпеки.

Будь-яке авіапідприємство знаходиться в середовищі і функціонує в тому випадку, коли середовище дає йому таку можливість. Для визначення рівня безпеки потрібно мати уявлення як про внутрішнє, так і про зовнішнє середовище авіапідприємства, їх потенціали і тенденції розвитку, а також знати місце авіапідприємства в середовищі. Системні дослідження внутрішнього і зовнішнього середовища авіапідприємства, кількісне оцінювання, агрегування, вибір принципів згортки, нормалізації і пріоритетів відповідних показників авіапідприємства ведуть до рішення багатокритеріальної задачі оптимізації менеджменту авіапідприємства, що дає змогу зменшити негативний вплив

факторів ризику на безпеку авіаційної діяльності, а також збільшити можливості з підвищення рівня безпеки.

За допомогою експертного оцінювання отримані показники ступеню впливу факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства на діяльність Л-О СТС [241; 246; 251; 296; 302; 304; 306].

Задача багатокритеріального оцінювання факторів середовища менеджменту авіапідприємства з урахуванням пріоритету їх впливу на безпеку авіаційної діяльності передбачає одержання та візуалізацію оцінок за параметрами факторів середовища менеджменту авіапідприємства (часткові оцінки), групами факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства (агреговані оцінки), всією сукупністю факторів середовища менеджменту авіапідприємства (комплексна оцінка). Повне рішення задачі багатокритеріальної оптимізації менеджменту авіапідприємства можливе за умов побудови чіткої несуперечливої системи аксіом принципів вибору згортки, нормалізації та пріоритетів відповідних показників суб'єкта авіаційної діяльності. Запропонована методика оцінювання впливу різнорідних факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства на безпеку авіаційної діяльності дозволить розробити «Паспорти безпеки авіаційної діяльності» для кожного суб'єкта авіаційної діяльності. «Паспорти безпеки авіаційної діяльності» можуть застосовуватись Державною авіаційною службою України при проведенні сертифікаційних перевірок суб'єктів авіаційної діяльності для порівняння нормативних та фактичних показників авіапідприємств та визначення їх здатності до безпечного виконання дозволеного виду діяльності.

#### **1.4. Декомпозиція процесу прийняття рішень в соціотехнічній системі**

Згідно зі статистичними даними [85; 92; 176] причинність авіаційних подій останнє десятиріччя майже не змінюється: 70–80% аварій і катастроф відбувається через людський фактор і тільки 15–20% – через конструктивно-виробничі недоліки

авіаційної техніки. Тому своєчасне діагностування та прогнозування можливих дій Л-О АНС залишається актуальною проблемою для забезпечення безпеки польотів.

Аеронавігаційна система відноситься до складних полієргатичних систем, наявність колективу людей в контурі керування якої, значно ускладнює прогнозування процесів змінення стану об'єктів в системі (літальних апаратів, їх сукупності чи авіатранспортних потоків). Особливістю системи є те, що Л-О приймає рішення в умовах невизначеності навколишнього середовища, при неповноті заданих цілях, суперечливих показниках ефективності для визначення багатокритеріальної мети керування. Залежно від етапу функціонування АНС, як і будь-яка інша система, має об'єкт керування – ПК, потоки ПК, організаційну структуру тощо та керувальні елементи (КЕ) – ЛПР, технічні засоби, системи підтримки прийняття рішень (СППР) тощо [40; 233; 305].

Метою керування є вироблення Л-О (керувальні елементи) таких оптимальних дій  $Y_y$ , щоб забезпечити ПК (ОК) задану програму польоту  $Y_3$  при різних збурювальних діях  $Y_{36}$ , тобто змінах динамічної повітряної обстановки (ДПО), за допомогою каналу зворотного зв'язку  $Y_{зв}$ , і зведення неузгодженості  $\Delta = Y_d - Y_3$  до мінімуму. Вироблення ефективних рішень можливе в тому випадку, якщо відомі параметри відхилень дійсних значень елементів, якими керують (ПК), від заданих (заданої чи бажаної програми польоту ПК) (рис. 1.14). Аеронавігаційна система має складну гнучку та розгалужену структуру, для оптимального функціонування якої необхідна раціональна декомпозиція та агрегування з урахуванням виконання ПК відповідного етапу польоту (зліт, набір висоти, горизонтальний політ, зниження, посадка), взаємодії елементів і підсистем АНС, розвитку ситуації (нормальна, ускладнена, складна, аварійна, катастрофічна) [134]. Для моделювання раціональної керувальної дії Л-О при прогнозуванні розвитку польотної ситуації в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК представимо систематизацію змін в ДПО з точки зору можливого розвитку польотних ситуацій на одному з етапів польоту та характеристик ЛПР.

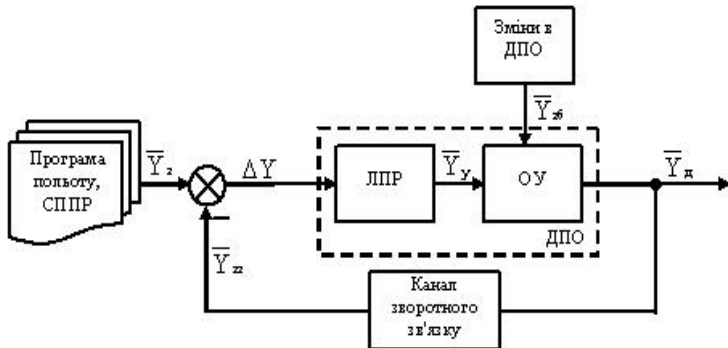


Рис. 1.14. Функціональна схема системи управління повітряним рухом

Відомо, що процес виконання польоту складається з п'яти основних етапів [20; 134]: зльоту, набору висоти, горизонтального польоту, зниження, посадки. На кожному з етапів можливе виникнення однієї з польотних ситуацій, представлених на рис. 1.15, табл. 1.19. У нормальній ситуації оператором виконуються стандартні процедури пілотування та УПР, які чітко регламентовані нормативними документами. Позаштатні ситуації потребують оперативного втручання Л-О в розвиток подій для попередження переходу ситуації в ранг катастрофічної. При цьому Керівництво з льотної експлуатації розраховано тільки на очікувані умови експлуатації ПК і не включає дії екіпажу в екстремальних умовах, зустрічі з якими можна надійно уникнути шляхом уведення експлуатаційних обмежень і правил, або які виникають настільки рідко, що вимога виконувати норми льотної придатності в них сприяла б забезпеченню більш високого рівня льотної придатності, ніж це необхідно і практично обґрунтовано [84; 85; 103; 104]. Через це в близько 20% випадків екіпаж не має чітких інструкцій з парирування позаштатних ситуацій на борту ПК [84]. Освоєння жорстких алгоритмів професійної діяльності та оптимальний рівень розвитку ПВЯ у Л-О визначає його надійність в екстремальних умовах та специфіка ПР. Проведена декомпозиція етапів і умов функціонування об'єкта керування (ПК), етапів ПР Л-О і розвитку польотної ситуації, факторів, що впливають на ПР Л-О (рис. 1.15).

Таблиця 1.19

## Декомпозиція процесу УПР в стандартних умовах

Етап	Підетап	Зміст підетапу	
G <sub>0</sub> (ПЮ)	G <sub>0,1</sub>	Підписання завдання на виліт	Зліт ПК
	G <sub>0,2</sub>	Передача G <sub>1</sub> інформації про виліт ПК	
G <sub>1</sub> (АДВ)	G <sub>1,1</sub>	Підтвердження G <sub>0</sub> про прийом інформації про виліт ПК	
	G <sub>1,2</sub>	Встановлення зв'язку з екіпажем ПК (ЕПК)	
	G <sub>1,3</sub>	Видача дозволу ЕПК на запуск	
	G <sub>1,4</sub>	Видача дозволу ЕПК на руління	
	G <sub>1,5</sub>	Видача вказівок ЕПС при рулінні ПК на попередній старт	
	G <sub>1,6</sub>	Видача ЕПК метеоінформації і дозволу на зліт	
	G <sub>1,7</sub>	Передача інформації про факт вильоту G <sub>0</sub>	
	G <sub>1,8</sub>	Прийом підтвердження про прийняття інформації про факт вильоту ПК від G <sub>0</sub>	
	G <sub>1,9</sub>	Передача G <sub>2</sub> інформації про факт вильоту ПК і відповідальності за управління рухом ПК	
G <sub>2</sub> (ДОП)	G <sub>2,1</sub>	Прийом від G <sub>1</sub> інформації про ПК і відповідальності за управління рухом ПК	Набір висоти ПК
	G <sub>2,2</sub>	Встановлення зв'язку з ЕПК	
	G <sub>2,3</sub>	Контроль за зльотом ПК	
	G <sub>2,4</sub>	Передача G <sub>3</sub> інформації про ПК і відповідальності за управління рухом ПК	
G <sub>3</sub> (РДЦ вильоту)	G <sub>3,1</sub>	Прийом від G <sub>2</sub> інформації про факт вильоту ПК і відповідальності за управління рухом ПК	Горизонтальний політ ПК
	G <sub>3,2</sub>	Встановлення зв'язку з ЕПК	
	G <sub>3,3</sub>	Контроль польоту ПК при виході ЕПК на зв'язок	
	G <sub>3,4</sub>	Контроль зайняття ПК заданого ешелону польоту	
	G <sub>3,5</sub>	Контроль ПОД1	
	...	...	
	G <sub>3,(n-1)+3</sub>	Контроль ПОД(n-1)	
	G <sub>4,n+3</sub>	Передача інформації про ПК і відповідальності за УПР ПК суміжному РДЦ	
G <sub>4,n+4</sub>	Вихід ПК з зони відповідальності G <sub>3</sub>		
...	...		

Етап	Підетап	Зміст підетапу	
$G_{m-3}$ (РДЦ прольоту)	$G_{m-3,1}$	Прийом інформації про ПК і відповідальності за УПР ПК від суміжного РДЦ	Горизонтальний політ ПК
	$G_{m-3,2}$	Вхід ПК в зону відповідальності $G_{m-3}$	
	$G_{m-3,3}$	Встановлення зв'язку з ЕПК	
	$G_{m-3,4}$	Контроль ПОД1	
	$G_{m-3,(n-1)+2}$	Контроль ПОД(n-1)	
	$G_{m-3,n+2}$	Передача інформації про ПК і відповідальності за УПР ПК суміжному РДЦ	
	$G_{m-3,n+3}$	Вихід ПС з зони відповідальності $G_{m-3}$	
$G_{m-2}$ (РДЦ посадки)	$G_{m-2,1}$	Прийом інформації про ПК і відповідальності за УПР ПК від суміжного РДЦ	Горизонтальний політ ПК
	$G_{m-2,2}$	Вхід ПК в зону відповідальності $G_{m-3}$	
	$G_{m-2,3}$	Встановлення зв'язку з ЕПК	
	$G_{m-2,4}$	Контроль ПОД	
	$G_{m-2,5}$	Контроль ПОД перед рубежем початку зниження, видача інформації для посадки	
	$G_{m-2,6}$	Передача $G_{m-1}$ інформації про приліт ПК	
	$G_{m-2,7}$	Контроль зниження ПК на заданий ешелон	
	$G_{m-2,8}$	Контроль за зайняттям ПК заданого ешелону	
	$G_{m-2,9}$	Передача відповідальності за УПР ПК $G_{m-1}$	
$G_{m-1}$ (ДОП)	$G_{m-1,1}$	Прийом від $G_{m-2}$ інформації про ПК і відповідальності за УПР ПК	Зниження ПК
	$G_{m-1,2}$	Встановлення зв'язку з ЕПК	
	$G_{m-1,3}$	Видача інформації ЕПК про полосу посадки, зниження по ешелонам	
	$G_{m-1,4}$	Контроль за рухом ПК. При відхиленні від курсу давати поправки.	
	$G_{m-1,5}$	Отримання від $G_m$ інформації про полосу (вільна/зайнята)	
	$G_{m-1,6}$	Видача ЕПК дозволу на посадку	
	$G_{m-1,7}$	Передача $G_m$ інформації про ПК і відповідальності за управління рухом ПК	
$G_m$ (АДВ)	$G_{m,1}$	Прийом від $G_{m-1}$ інформації про ПК і відповідальності за УПР ПК	Посадка ПК
	$G_{m,2}$	Встановлення зв'язку з ЕПК	
	$G_{m,3}$	Прийом від ЕПК доповіді про готовність до посадки	
	$G_{m,4}$	Контроль за посадкою ПК	
	$G_{m,5}$	Вказівки ЕПК при звільненні полоси	
	$G_{m,6}$	Видача ЕПК інформації про стоянку	
	$G_{m,7}$	Контроль за рулінням ПК на задану стоянку	
	$G_{m,8}$	Отримання від ЕПК підтвердження про знаходження на заданій стоянці	



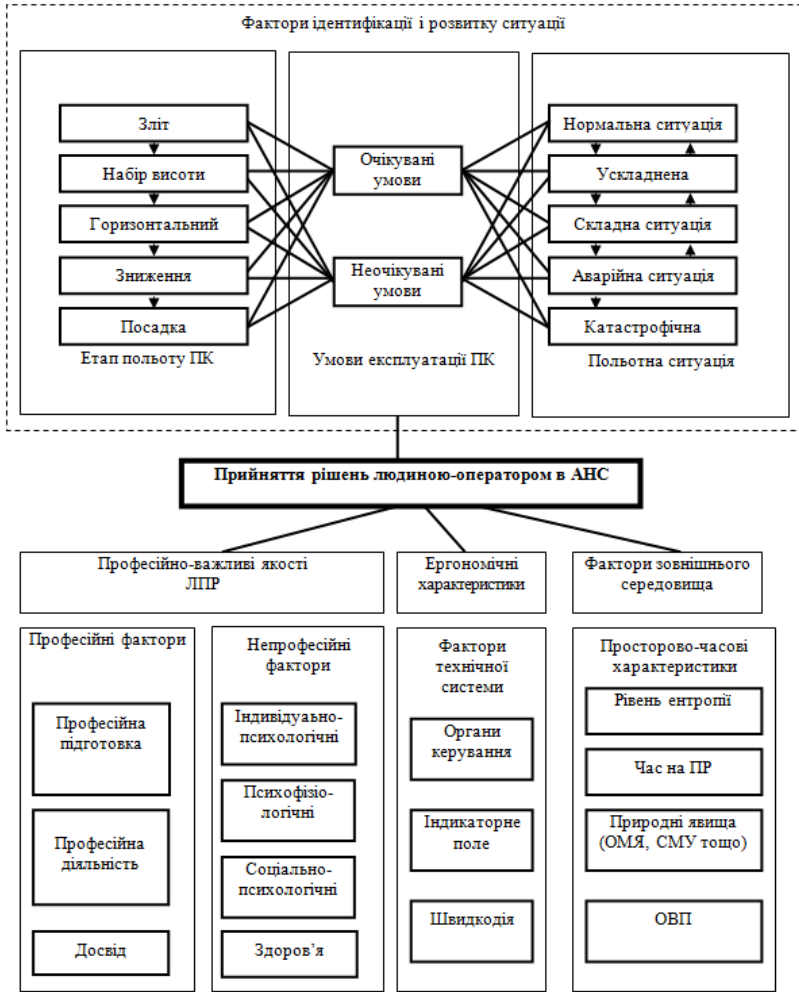


Рис. 1.15. Фактори, що впливають на ПР Л-О в АНС

Досі дослідження проблем ПР Л-О в АНС було пов'язано з вивчення специфіки та алгоритмів прийняття раціональних рішень [42]. Проблема природи та механізмів перебігу ірраціональних процесів, пошуку й обґрунтування ефективних засобів та методів прогнозування індивідуальних рішень і

визначення антидотів, що зменшують негативний вплив на ПР Л-О в АНС вивчено недостатньо. Серед соціально-психологічних якостей особисті, що лежить в основі прийняття ірраціональних рішень (керівництво ERAU, тест REPID) виділяють ігнорування, імпульсивність, невразливість, самовпевненість, смиренність. Найбільш повно проблема діагностики та корекції небезпечних стратегій поведінки Л-О в АНС розглянуто в працях О.М. Реви [98–101; 126].

У провідних авіакомпаніях світу розроблені програми підготовки льотного складу до ПР (LOFT, CRM, ADM та ін), що взаємодоповнюють одна одну. Актуальність цієї проблеми усвідомлюють всі провідні спеціалісти в галузі підготовки Л-О в АНС. Прийняття рішень за програмою ADM (Aeronautical Decision Making – Авіаційне прийняття рішень) є процесом ПР в унікальному середовищі авіації. Це систематичний підхід до психічних процесів, що використовується пілотами послідовно щодо визначення найкращого курсу дій у відповідь на задані обставини, тобто що має намір робити пілот на підставі останньої інформації, яку він отримав [294].

За програмою ADM, кроками для успішного ПР є:

- 1) визначення особистого небезпечного ставлення до безпеки польотів;
- 2) вивчення методів модифікації поведінки;
- 3) навчитися розпізнавати і справлятися зі стресом;
- 4) розвиток навичок оцінки ризиків;
- 5) використання всіх ресурсів;
- 6) оцінювання ефективності своїх навичок ПР.

Механізм ПР Л-О за програмою ADM являє собою модель ПР в польоті, що містить такі етапи:

- 1) несподівана зміна обстановки в польоті;
- 2) поява сигналу щодо зміни події;
- 3) виявлення сигналу пілотом;
- 4) усвідомлення пілота про необхідність реагувати на сигнал про зміну обстановки;
- 5) пошук можливих варіантів рішення;
- 6) вибір найкращого варіанту рішення;
- 7) контроль за результатами дій.

Модель ПР Л-О АНС в неочікуваних умовах експлуатації ПК можна подати у вигляді ієрархічної структури (рис. 1.16) [234]. Зміст і формальний опис параметрів моделі, представленої на рис. 1.16, наводиться в табл. 1.20.

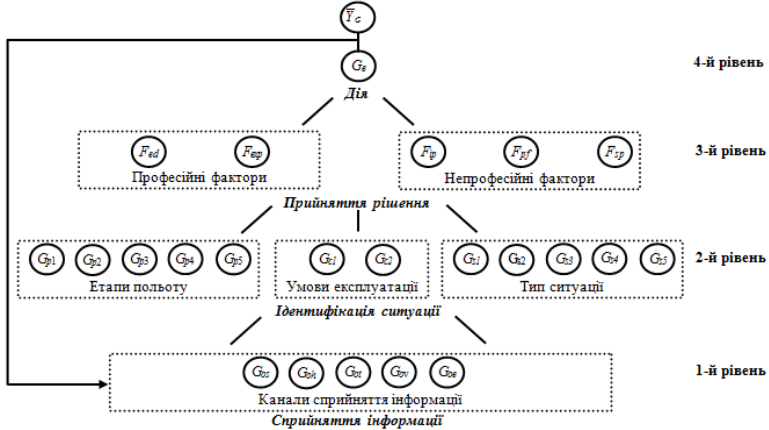


Рис. 1.16. Ієрархічна модель ПР Л-О в АНС

Людина-оператор АНС сприймає основну інформацію через зоровий і слуховий канали. Час на сприйняття інформації залежить від індивідуального показника затримки сенсорної реакції оператора  $\tau$  і ергономічних характеристик обладнання  $e_x$  тощо [51]. Ідентифікація ситуації залежить від етапу польоту  $\bar{I} = \{i_1, i_2, i_3, i_4, i_5\}$ , умов експлуатації ПК  $\bar{K} = \{k_1, k_2\}$ , а також типу польотної ситуації  $\bar{J} = \{j_1, j_2, j_3, j_4, j_5\}$ .

На ПР Л-О впливають фактори професійного (рівень знань, навичок і вмінь)  $\bar{\alpha} = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3\}$  та непрофесійного (психофізіологічні, індивідуально-психологічні, суспільно-психологічні фактори)  $\bar{\beta} = \{\beta_1, \beta_2, \beta_3\}$  характеру. Швидкість моторної реакції на ситуацію, що виникла, залежить від індивідуального показника нервово-м'язового запізнення оператора  $T$  [51]. У підсумку параметр  $Y$ , на основі якого прогнозуються дії Л-О в неочікуваних умовах експлуатації ПК, є функцією всіх факторів, наведених вище:  $\bar{Y} = \{\tau, e_x, \bar{I}, \bar{K}, \bar{J}, \bar{\alpha}, \bar{\beta}, T\}$ .

Таблиця 1.20

**Декомпозиція ПР Л-О в АНС. Зміст і формальний опис параметрів моделі**

Етап ПР	Фактори	Параметри	Множини параметрів
Сприйняття інформації	Сприйняття інформації	$G_{os}$ – зоровий канал; $G_{oh}$ – слуховий канал; $G_{ot}$ – тактильний канал; $G_{ov}$ – вербальний канал; $G_{oe}$ – попередній досвід	$\bar{G}_o = \{G_{os}, G_{oh}, G_{ot}, G_{ov}, G_{oe}\}$
Ідентифікація ситуації	Етап польоту	$G_{p1}$ – зліт; $G_{p2}$ – набір висоти; $G_{p3}$ – горизонтальний політ; $G_{p4}$ – зниження; $G_{p5}$ – посадка	$\bar{G}_p = \{G_{p1}, G_{p2}, G_{p3}, G_{p4}, G_{p5}\}$
	Умови експлуатації ПК	$G_{c1}$ – очікувані умови експлуатації ПК; $G_{c2}$ – неочікувані умови експлуатації ПК	$\bar{G}_c = \{G_{c1}, G_{c2}\}$
	Польотна ситуація	$G_{s1}$ – нормальна ситуація; $G_{s2}$ – ускладнена ситуація; $G_{s3}$ – складна ситуація; $G_{s4}$ – аварійна ситуація; $G_{s5}$ – катастрофічна ситуація	$\bar{G}_s = \{G_{s1}, G_{s2}, G_{s3}, G_{s4}, G_{s5}\}$

Етап ПР	Фактори	Параметри	Множини параметрів
Прийняття рішення	Професійні фактори	$F_{ed}$ – знання, навички, вміння, здобуті людиною-оператором в процесі навчання; $F_{exp}$ – знання, навички, вміння, здобуті людиною-оператором в процесі професійної діяльності	$\bar{F}_p = \{F_{ed}, F_{exp}\}$
	Непрофесійні фактори	$F_{ip}$ – індивідуально-психологічні якості людини-оператора; $F_{pf}$ – психофізіологічні якості людини-оператора; $F_{sp}$ – соціально-психологічні якості людини-оператора; $G_e$ – набутий досвід	$\bar{F}_{np} = \{F_{ip}, F_{pf}, F_{sp}\}$
Дія	Дія	$\bar{Y}_G$ – вектор прогнозованих дій Л-О	$\bar{Y}_G = \{\bar{G}_o, \bar{G}_p, \bar{G}_s, \bar{G}_c, \bar{F}_p, \bar{F}_{np}, \bar{G}_c\}$

Представимо проблему моделювання та оптимізації діяльності Л-О в соціотехнічній системі, як задачу ПР в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК.

В очікуваних умовах експлуатації ПК оператором виконуються стандартні процедури пілотування та обслуговування повітряного руху (ОПР), які чітко регламентовані нормативними документами. При наявності повної інформації про об'єкт керування дослідження діяльності оператора в очікуваних умовах доцільно проводити за допомогою детермінованих моделей ПР. Обмеженість або неточність інформації про задачу приводить до нових типів ситуації: ПР в умовах ризику та ПР при наявності невизначеності. Керівництво з льотної експлуатації розраховано тільки на очікувані умови експлуатації ПК і не включає в себе

дії екіпажу в екстремальних умовах, зустрічі з якими можна надійно уникнути шляхом уведення експлуатаційних обмежень і правил. Через це в близько 20% випадків екіпаж приймає рішення в умовах відсутності чітких інструкцій з парировання позаштатних ситуацій на борту ПК [84], і тому основна частина АП виникає в так званих *неочікуваних умовах експлуатації* ПК [84; 85; 103].

В *неочікуваних умовах* експлуатації оператор не має інструкцій з парировання позаштатної ситуації, а на його вибір впливають фактори зовнішнього середовища, які можна віднести до факторів непрофесійного характеру (*non-professional factors*) [270]. На людину-оператора діють фактори середовища  $\bar{F}$ , які систематизовані і формалізовані для дослідження впливу на оператора за допомогою моделей ПР [164; 186; 209; 228; 240]. Проблему моделювання і оптимізації діяльності Л-О в АНС як СТС представлено у вигляді наступного кортежу:

$$\{X, T, F, \Lambda, S, G, E, \Phi(G_{c1}), \Phi(G_{c2})\} \rightarrow \\ \rightarrow \{C, Z, A, Q, U, P, F, \gamma, \rho, V | M_{пр}, M_c | Y_{пр}, Y_c, Y_{G,Go}\} \rightarrow \{A^*\},$$

де *вихідні дані* (обмеження для моделювання ПР):  $X = \{x\}$  – модель оператора;  $T = \{t\}$  – технології ПР оператора;  $F = \{F_i\}$  – множина факторів, що впливають на Л-О;  $\Lambda = \{\lambda\}$  – рівень невизначеності задачі ПР;  $S = \{s\}$  – ситуація, в якій виконується політ ПК;  $E = \{e\}$  – еволюція польоту ПК;  $G = \{G_{c1}, G_{c1}\}$  – очікувані (неочікувані) умови експлуатації ПК;  $\Phi(G_{c1}), \Phi(G_{c2})$  – правило, принцип дії в очікуваних (неочікуваних) умовах експлуатації ПК; *розрахункові дані*:  $C = \{c_i\}$  – множина цілей;  $Z = \{z_i\}$  – множина критеріїв ПР;  $A = \{a_i\}$  – множина альтернативних рішень;  $Q = \{q_j\}$  – множина наслідків вибору альтернативи завершення польоту;  $U = \{u_j\}$  – вектор характеристик наслідків  $q \in Q$ , результатів вибору альтернативи завершення польоту;  $P = \{p_j\}$  – множина ймовірностей: виникнення наслідку ПР; станів ситуацій, розвитку польотної ситуації у бік парировання і навпаки;  $\gamma = \{\gamma_r\}$  – моделі поведінки оператора;  $\rho = \{\rho_r\}$  – система переваг індивіда в конкретній

ситуації вибору;  $V=f(X, \gamma, \rho, F_1)$  – вектор поведінки оператора,  $M_{np}$  – модель ПР Л-О;  $M_c$  – модель розвитку польотної ситуації;  $Y_{np}$  – вектор ПР;  $Y_c$  – вектор ситуації;  $Y_{G,G_0}$  – вектор прогнозування розвитку ситуації;  $\{A^*\}$  – множина оптимальних стратегій.

Вирішення проблеми забезпечення функціональної стійкості оператора в соціотехнічній системі полягає в моделюванні поведінки Л-О в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК, оптимізації ПР у разі виникнення позаштатної ситуації, оперативного прогнозування розвитку польотної ситуації, мінімізації ризику ПР, що в цілому веде до підвищення безпеки польотів. Моделювання оптимальної дії оператора АНС  $\bar{Y}$  у разі виникнення позаштатної ситуації залежить від складових процесу ПР: сприйняття інформації оператором  $\bar{G}_i^I$ ; ідентифікації ситуації  $\bar{G}_i^{II}$  (етапу польоту ПК, умов польоту (очікувані  $G_{c1}$ , неочікувані  $G_{c1}$  умови експлуатації ПК)), впливу  $\bar{F}$  факторів зовнішнього середовища при ПР  $\bar{G}_i^{III}$  і дії  $\bar{G}_i^{IV}$  :

$$\bar{Y} = Y(\bar{G}_i^I, \bar{G}_i^{II}, \bar{G}_i^{III}, \bar{G}_i^{IV}) = \left| \bar{Y}_c(\bar{G}) - \bar{Y}_{np}(\bar{G}, \bar{G}_0) \right| \rightarrow opt$$

$$\inf F_{np} = f_{\min}^N, \sup F_{np} = f_{\max}^N,$$

де  $\bar{Y}_{np}(G) = F(\bar{G}, \bar{G}_0)$  – вектор дії Л-О з урахуванням індивідуальних якостей  $\bar{G}_0$  та етапів ПР;  $\bar{Y}_c(G)$  – вектор розвитку ситуації;  $f_{\min}^N, f_{\max}^N$  – мінімальне (максимальне) значення факторів;  $(\bar{G}_i^I, \bar{G}_i^{II}, \bar{G}_i^{III}, \bar{G}_i^{IV})$  – етапи оброблення інформації: сприйняття інформації Л-О; ідентифікація ситуації; ПР з урахуванням впливу зовнішнього середовища, набутого досвіду і індивідуальних якостей Л-О, керуваної дії Л-О в ОВП як в очікуваних, так і в неочікуваних умовах експлуатації ПК.

Задача ПР оператором АНС полягає в моделюванні оптимальної дії  $\bar{Y}$  оператора :

$$\bar{Y} = \{ \{ A \}, \Phi(G_{c1}), \Phi(G_{c2}) \} \rightarrow \{ A^* \},$$

де  $\bar{Y}$  - вектор дії оператора;  $\{ A \}$  - множина альтернативних рішень (стратегій, дій);  $\Phi(G_{c1})$  – правило, принцип дії в очікуваних умовах експлуатації ПК;  $\Phi(G_{c2})$  – правило, принцип дії в неочікуваних умовах експлуатації ПК;  $G_{c1}$  – очікувані умови експлуатації ПК;  $G_{c2}$  – неочікувані умови експлуатації ПК;  $\{ A^* \}$  - множина обраних альтернатив.

Розроблення моделей ПР Л-О АНС в неочікуваних умовах експлуатації ПК з комплексним урахуванням факторів професійного і непрофесійного характеру на кожному етапі процесу ПР дозволить своєчасно діагностувати потрапляння ПК в позаштатні польотні ситуації, прогнозувати їх розвиток і оперативно надавати відповідну допомогу оператору АНС. Для комплексного врахування факторів, що впливають на Л-О АНС в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК, розроблено модель ПР Л-О (рис. 1.17), що містить «інформаційний процесор рефлексивного інтуїтивного вибору Л-О», що пов'язаний з вибором Л-О під впливом навколишнього середовища – соціуму. Прийняття рішення в сторону позитивного чи негативного полюсу здійснюється під впливом середовища, в якому знаходиться Л-О і формувалися його ПВЯ. «Інформаційний процесор рефлексивного інтуїтивного вибору Л-О» реалізований в інформаційно-аналітичному діагностичному комплексі для дослідження діяльності операторів складних систем (рис. 1.18). Системний аналіз і формалізація факторів, що впливають на Л-О в момент ПР професійного і непрофесійного (індивідуально-психологічних, психофізіологічних та соціально-психологічних) характеру, будова моделей ПР Л-О (пілотом-диспетчером) згідно з еволюцією польоту ПК (етапів, умов виконання польоту) за відповідними технологіями разом з розробкою баз даних (БД) характеристик ПК, місця посадки, ОВП, Л-О, дозволить здійснити практичну реалізацію досліджень у вигляді СППР авіадиспетчера, автоматизовану систему підготовки перед



польотної інформації і ПР на виліт, системи аналізу розслідування АП, системи професійного відбору та системи переваг ЛПП, моделювання розвитку польотних ситуацій (рис. 1.19).

Врахування впливу факторів зовнішнього середовища при ПР Л-О (професійного і непрофесійного характеру), розвиток ситуації від нормальної до катастрофічної, умови експлуатації ПК (очікувані і неочікувані) дозволяє моделювати дії Л-О в особливих випадках польоту з *упередженням*.

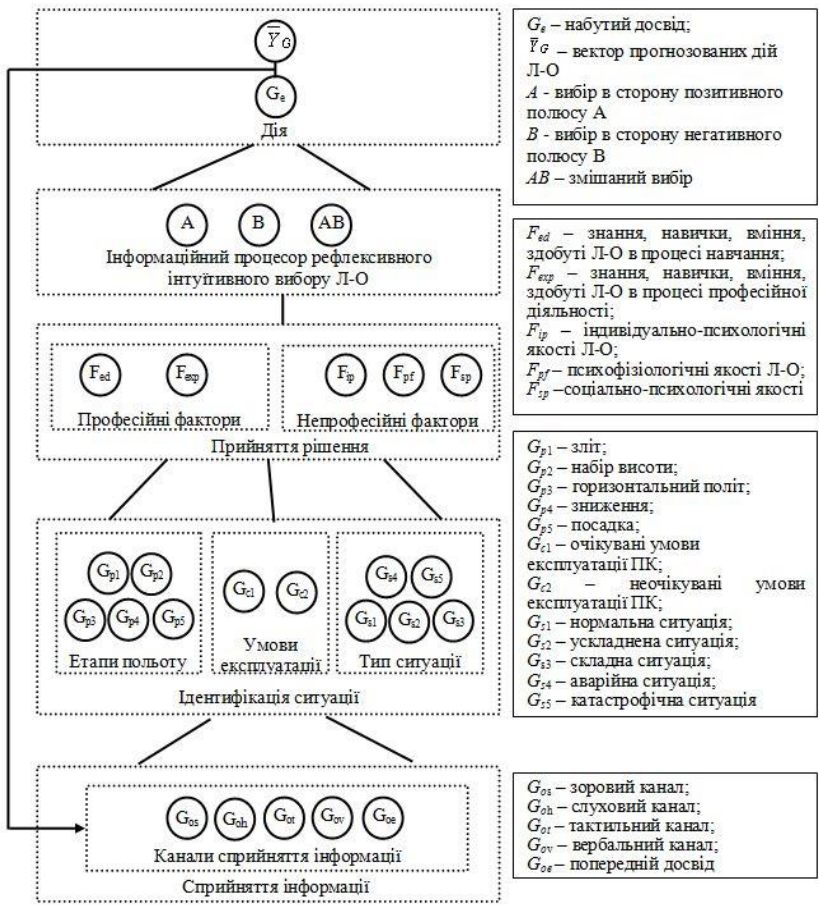


Рис. 1.17. Модель прийняття рішень людиною-оператором АНС

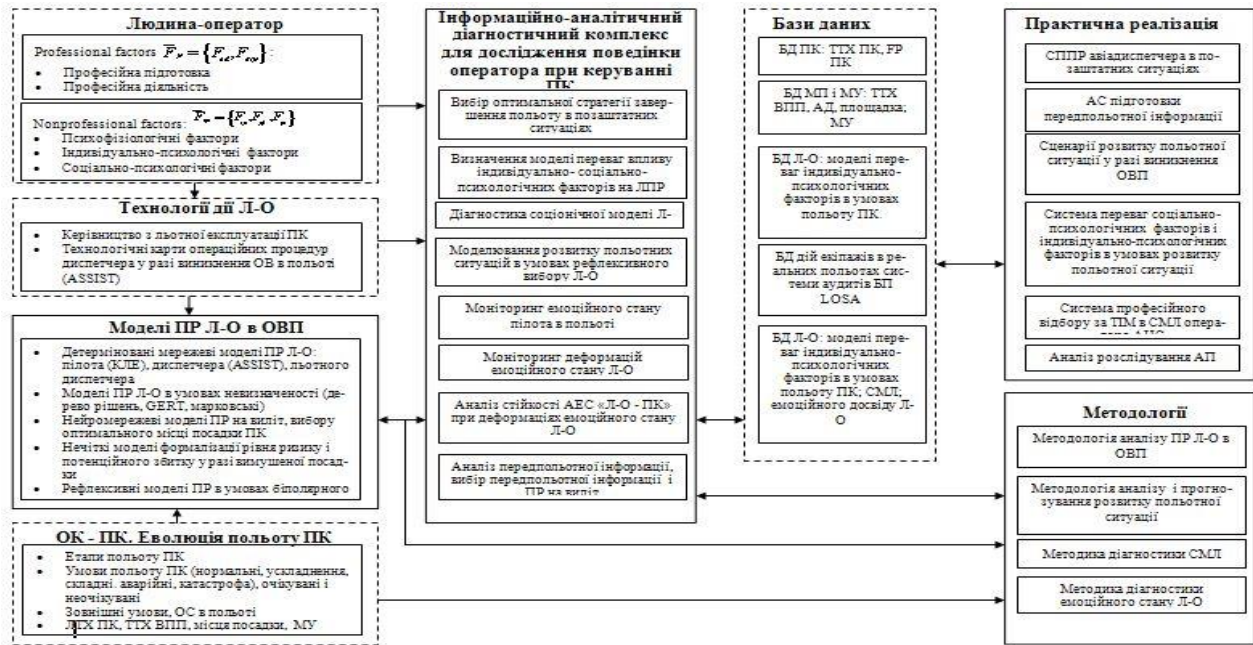


Рис. 1.18. Практична реалізація моделей ПР оператора АНС

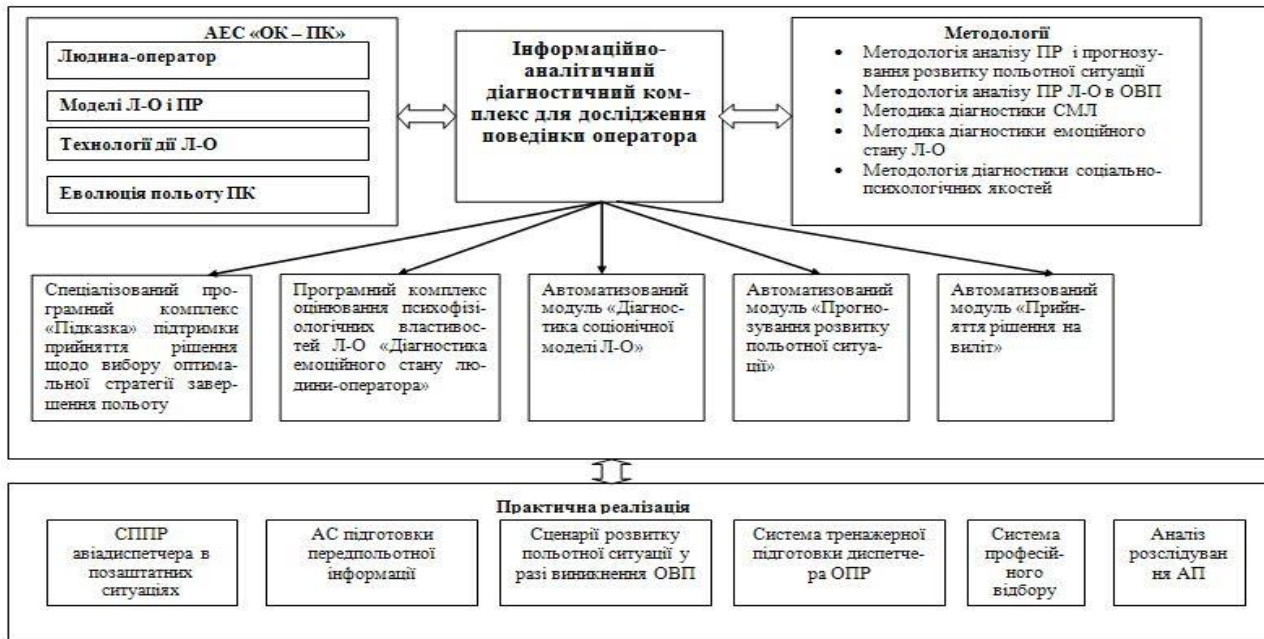


Рис. 1.19. Система управління безпекою польотів у разі виникнення позаштатної ситуації

## **2. МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ОПЕРАТОРОМ СОЦІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ**

### **2.1. Аналіз моделей прийняття рішень оператором соціотехнічної системи**

В умовах розвитку та вдосконалення технологій виникає проблема ЛФ в керуванні складними процесами, яка для авіації є гострішою, ніж для більшості небезпечних галузей. Це пов'язано з жорсткими вимогами, що ставляться до АЕС через високу швидкість процесів, які відбуваються, та їх потенційну небезпеку для життя і здоров'я людей. Розроблено моделі ПР оператором ССУ: детерміновані, стохастичні, нейромережеві, GERT, марковські в умовах невизначеності, нечіткого багатофакторного вибору; моделі Л-О (рефлексивні, експертні, соціонічні, емоційного стану), які характеризуються неоднорідністю параметрів і критеріїв (рис. 2.1, табл. 2.1) [42; 43; 278; 290].

Рівень невизначеності у разі ПР збільшується від детермінованих моделей до стохастичних та нечітких (стрілка на рис. 2.1). Розроблені моделі ПР Л-О АНС застосовуються в автоматизованій системі підготовки передпольотної інформації (АС ППІ) для ПР на виліт та в СППР авіадиспетчера для оцінювання ефективності потенційних альтернатив завершення польоту в реальному УПР [21; 22]; допуску студентів до навчання в системі передтренажерної підготовки; діагностики помилкових дій авіадиспетчера у навчанні для оптимізації процесу здобування інформації й отримання необхідних висновків у критичних і аварійних польотних ситуаціях, які вимагають від оператора прийняття оперативних рішень в умовах багатофакторності вибору (рис. 2.2).

Методика аналізу ПР базується на структурно-логічному алгоритмічному підході до моделювання діяльності операторів в умовах багатокритеріальності вибору, неповноти і невизначеності інформації (рис. 2.3) [297; 298]. Застосування методики веде до зняття невизначеності при ПР у разі виникнення ОВП, складних метеорологічних умов (СМУ), потенційно-конфліктних ситуацій (ПКС).

Таблиця 2.1

## Вихідні параметри моделей ПР Л-О АНС в ОВП

№ з/п	Назва моделі	Критерій оптимізації	Параметри моделі
1	Детерміновані моделі ПР Л-О з детермінованим (імовірнісним) часом на виконання операційних процедур Л-О в ОВП	Час на парирування ОВП	$T_{кр}, T_{сер}, T_{мін}, T_{макс}$
2	Моделі ПР Л-О в ОВП, СМУ, ПКС в умовах ризику	Мінімізація ризику ПР, мінімум збитків	$M[t], R(A)$
3	Прийняття рішень за допомогою стохастичних мереж (байєсівські мережі довіри, ПЕРТ-, ГЕРТ-, Петрі –мережі тощо)	Мінімізація затрат (максимум доходів)	$\bar{P} = \{p_1, p_2, \dots\}$
4	Семантичні мережі і онтологія аналізу ПР і ситуацій	Мінімум затрат (максимум доходів)	Правила ПР
5	Моделі ПР Л-О в ОВП, СМУ, ПКС в умовах і невизначеності	Мінімум збитків, витрат пального	$\{\lambda_j\}, \{U\}, \{A\}, A^*$
6	Нечіткі моделі ПР Л-О	Рівень ризику, величина потенційного збитку	$\mu(L), \mu(G)$
7	Нейронні багатofакторні моделі	Мінімізація ризику ПР	$\bar{P} = \{p_1, p_2, \dots\}$
8	GERT моделі розвитку польотних ситуацій	Час, ймовірність на перехід польотних ситуацій	$M[t_{ij}], \delta^2 [t_{ij}], p_{ij}, p_{j\bar{i}}, p_{\bar{i}i}, W_{ij}(A), W_{ij}(B)$
9	Марковська мережа розвитку польотних ситуацій	Ймовірності станів польотних ситуації	$p_{ij}(A), p_{ij}(B)$
10	Експертні моделі	Системи переваг	$S_p(F_p), S(F_{sp})$
11	Рефлексивні моделі	$\vec{S}(x_1, x_2, x_3)$	$W_{ij}(A), W_{ij}(B), W_{ij}(A, B)$
12	Моделі емоційного стану	Спонтанний, емоційний, розсудливий типи діяльності	$F_{pf} = \{T_v, T_n, T_b, D_1, D_2, D_3\}$
13	Соціонічні моделі Л-О	Енерговитрати на професійну діяльність	ТІМ
14	Соціометричний аналіз малої групи операторів	Сумісність	Соціометричні індекси, рівні сумісності

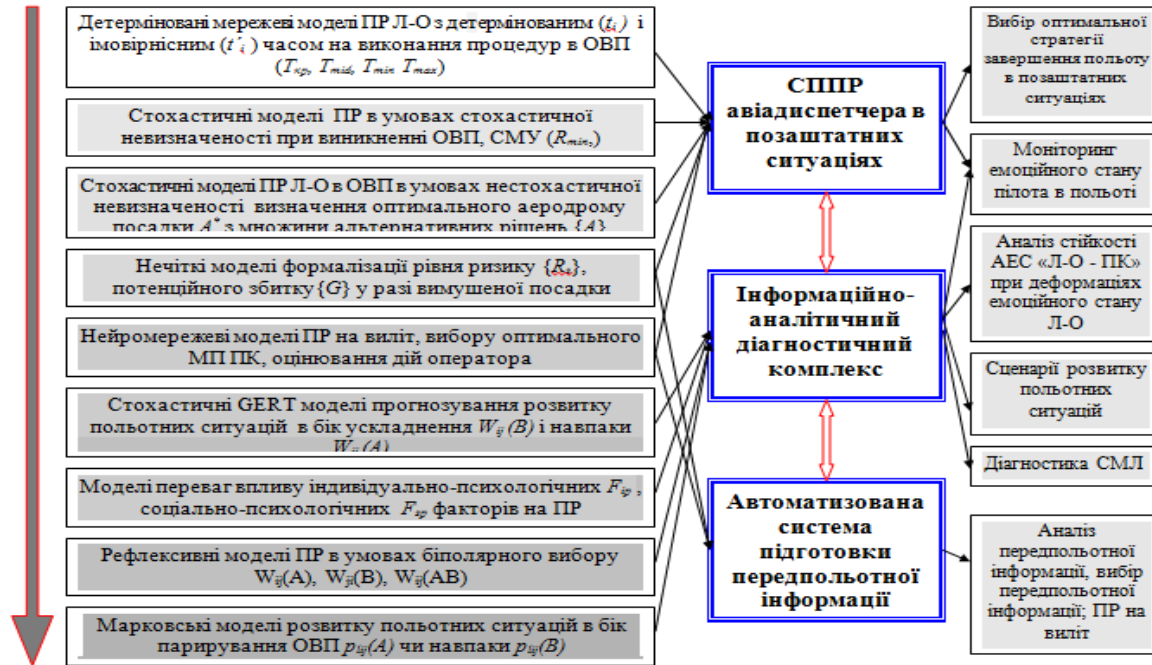


Рис. 2.1. Практична реалізація моделей ПР

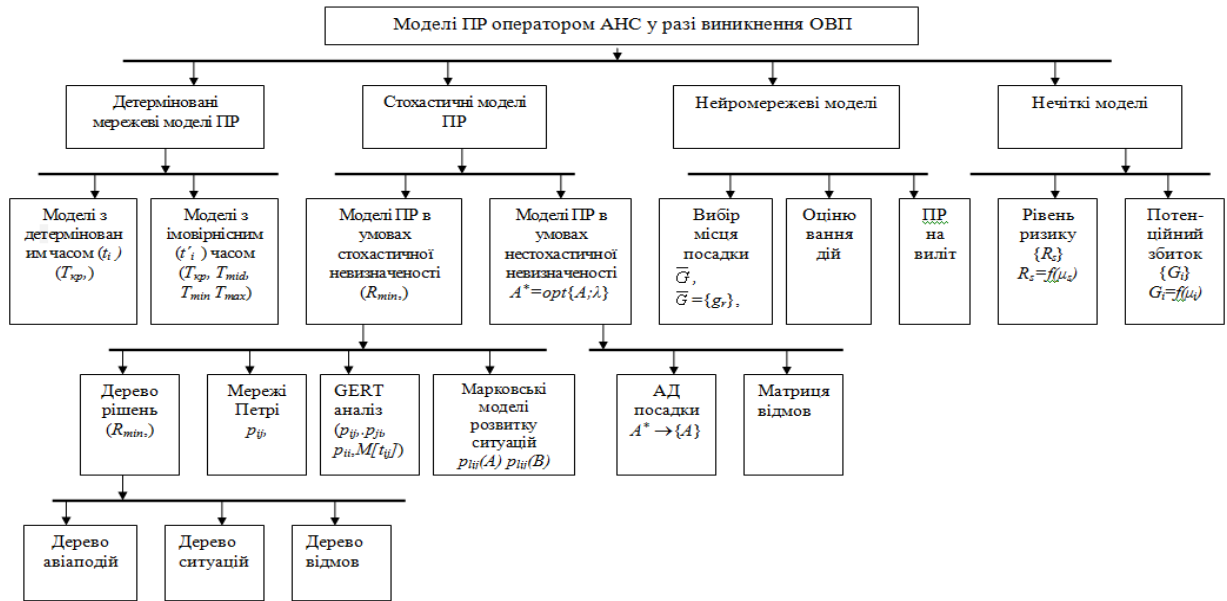
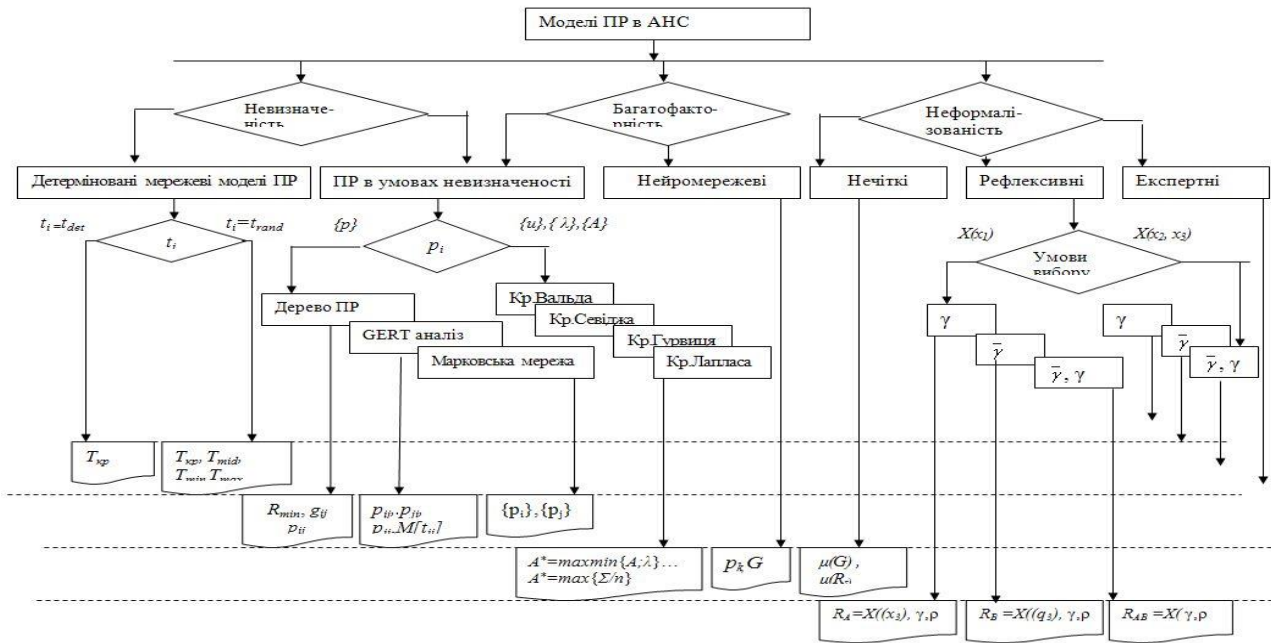


Рис. 2.2. Класифікація моделей ПР оператором АНС в ОВП



220

Рис. 2.3. Алгоритмічний структурно-логічний підхід до моделювання



Розроблено методологію розвитку польотної ситуації відповідно до ПР Л-О АНС у разі виникнення ОВП (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

**Методологія прогнозування розвитку польотної ситуації на основі аналізу ПР Л-О АНС**

№ з/п	Етап аналізу	Результат
1	Попередній аналіз проблеми	Вибір ОВП для аналізу – обраний для аналізу ОВП (ОА ОВП), СМУ, ПКС
		Статистичний аналіз АП, обґрунтування вибору ОВП, СМУ, ПКС
		Аналіз літературних джерел та формування вибірки з ОА ОВП, СМУ, ПКС
2	Технологія роботи Л-О (диспетчера, пілота) в умовах розвитку ОА ОВП, СМУ, ПКС	Алгоритм дій екіпажу ПК при виникненні ОА ОВП, СМУ, ПКС
		Алгоритм дій авіадиспетчера при виникненні ОА ОВП, СМУ, ПКС
		Блок-схема алгоритму дій екіпажу ПК у разі виникнення ОВП, СМУ, ПКС
		Блок-схема алгоритму дій авіадиспетчера у разі виникнення ОА ОВП, СМУ, ПКС
3	Визначення параметрів моделі	Визначення часу $t_i (t'_i)$ , необхідного для виконання $i$ -ї процедури відповідно до алгоритму дій екіпажу ПК у разі виникнення ОА ОВП експериментальним (експертним) методом
		Визначення часу $t_j (t'_j)$ , необхідного для виконання $i$ -ї процедури відповідно до алгоритму дій авіадиспетчера у разі виникнення ОА ОВП експериментальним (експертним) методом
		Порівняльний аналіз експериментальних ( $t_i, t'_i$ ) та експертних даних ( $t_j, t'_j$ )
4	Розроблення графоаналітичних моделей (ГАМ)	Графоаналітичні моделі динаміки ПК
		Графоаналітичні моделі ОВП
		Графоаналітичні моделі ПР Л-О у разі виникнення ОВП (позаштатної ситуації)
		Графоаналітичні моделі розвитку польотних ситуацій
5	Розроблення детермінованих моделей ПР Л-О у разі виникнення ОВП, СМУ, ПКС	Мережеве планування дій екіпажу ПК в ОВП, СМУ, ПКС: 1. Структурно-часова таблиця дій ЕПК в ОВП, СМУ, ПКС 2. Мережевий графік виконання дій ЕПК в ОВП, СМУ, ПКС 3. Критичний час виконання дій ЕПК в ОВП, СМУ, ПКС 4. Критичний шлях виконання дій ЕПК в ОВП, СМУ, ПКС 5. Етапи ПР Л-О з парирування ОВП, СМУ, ПКС
		Мережеве планування дій авіадиспетчера в ОВП, СМУ, ПКС: 1. Структурно-часова таблиця дій авіадиспетчера 2. Мережевий графік виконання дій авіадиспетчером 3. Критичний час та шлях виконання дій авіадиспетчером 4. Етапи ПР Л-О з парирування ОВП, СМУ, ПКС

Закінчення табл. 2.2

№ з/п	Етап аналізу	Результат
6	Розроблення стохастичних моделей ПР Л-О у разі виникнення ОБП, СМУ, ПКС	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Структурний аналіз розвитку ОБП, СМУ, ПКС</li> <li>2. Аналіз невизначеності моделей</li> <li>3. Аналіз наслідків розвитку польотних ситуацій</li> <li>4. Аналіз ПР Л-О за допомогою дереві рішень</li> <li>5. Аналіз ПР Л-О за допомогою стохастичних мереж</li> <li>6. Знаходження мінімального ризику розвитку польотних ситуацій</li> <li>7. GERT- аналіз розвитку польотних ситуацій</li> </ol>
7	Розроблення рефлексивних моделей біполярного вибору Л-О у разі виникнення ОБП, СМУ, ПКС	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Системний аналіз і формалізація факторів, що впливають на ПР Л-О (індивідуально-психологічних, психофізіологічних та соціально-психологічних), в умовах розвитку польотної ситуації від нормальної до катастрофічної: <ul style="list-style-type: none"> <li>– моделі переваг Л-О значущості індивідуально-психологічних факторів;</li> <li>– моделі переваг Л-О у разі впливу соціально-психологічних факторів;</li> <li>– моделі психофізіологічних факторів</li> </ul> </li> <li>2. Визначення очікуваних ризиків ПР Л-О на основі рефлексивної теорії біполярного вибору</li> </ol>
8	Розроблення стохастичних моделей розвитку польотних ситуацій типу GERT	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Визначення сценаріїв розвитку польотних ситуацій в сторону ускладнення і навпаки.</li> <li>2. Визначення ймовірностей розвитку ситуацій в сторону ускладнення і навпаки.</li> <li>3. Визначення дисперсії, математичного очікування часу <math>t_{ij}</math> розвитку ситуацій в сторону ускладнення і навпаки</li> </ol>
9	Побудова графів розвитку польотних ситуацій	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Побудова стаціонарного процесу розвитку польотних ситуацій</li> <li>2. Визначення коефіцієнтів інтенсивності (пропускання) <math>(i, j)</math>-дуги в позитивному напрямку і зворотному напрямку</li> <li>3. Марковська мережа розвитку польотних ситуацій</li> <li>4. Укласти систему диференційних рівнянь Колмогорова</li> <li>5. Визначення граничних ймовірностей стану польотних ситуацій</li> </ol>
10	Модель розвитку польотної ситуації при ПР Л-О в ОБП	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Очікуваний ризик розвитку польотних ситуацій – функціонал <math>F</math>, що складається з ймовірностей: <ul style="list-style-type: none"> <li>– розвитку польотних ситуацій;</li> <li>– станів польотних ситуацій;</li> <li>– наслідків розвитку польотних ситуацій;</li> <li>– рівень ризику польотних ситуацій (нечіткі моделі)</li> </ul> </li> <li>2. Математичне очікування часу розвитку польотної ситуації</li> <li>3. Мінімізація функціоналу <math>F</math> – ризику розвитку польотних ситуацій</li> </ol>

Управління (діагностування, оцінювання, прогнозування і корегування) розвитком польотної ситуації здійснюється за допомогою аналізу моделей оператора АНС (рис. 2.4) з урахуванням індивідуальних якостей людини-оператора, своєчасної діагностики і корегування впливу факторів, а саме:

$$\langle V \notin V^* \rangle \rightarrow \langle V \in V^* \rangle,$$

діагностики впливу соціально-психологічних факторів  $V(\overline{F}_{sp})$ ; оцінювання і корегування індивідуально-психологічних якостей  $V(\overline{F}_{ip})$  в умовах розвитку польотної ситуації; моніторингу психофізіологічних якостей оператора  $V(\overline{F}_{pf})$ , своєчасного оцінювання емоційного стану оператора.

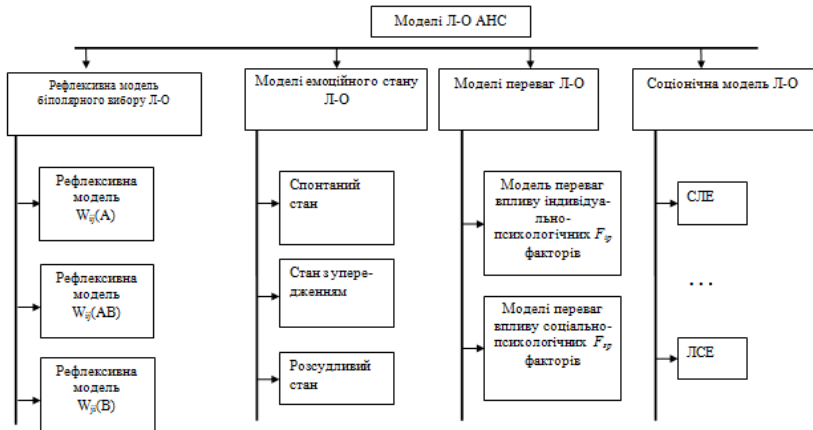


Рис. 2.4. Схема моделей Л-О в АНС

Вихідні параметри моделей ПР Л-О АНС в ОВП наводяться в табл. 2.3, які складаються відповідно до методології прогнозування розвитку польотної ситуації на основі аналізу ПР Л-О АНС.

Таблиця 2.3

## Вихідні параметри моделей ПР Л-О АНС в ОВП

№ з/п	Назва моделі	Критерій оптимізації	Параметри моделі
1	Детерміновані моделі ПР Л-О з детермінованим часом на виконання операційних процедур (дій) Л-О в ОВП	Час на парирування ОВП	$T_{кр}$
2	Детерміновані мережеві моделі ПР Л-О з імовірнісним часом на виконання процедур	Час на парирування ОВП	$T_{кр}, T_{сер}, T_{мін}, T_{макс}$
3	Моделі ПР Л-О в ОВП, СМУ, ПКС в умовах ризику (стохастичної невизначеності)	Мінімізація ризику ПР, мінімум збитків	$M[t], R(A)$
4	Нечіткі моделі ПР Л-О	Рівень ризику, величина потенційного збитку	$\mu(L_1, L_2, L_3, L_4, L_5)$
5	Моделі ПР Л-О в ОВП, СМУ, ПКС в умовах нестохастичної невизначеності	$\text{Max} \text{min}_{ij}$	$A^*$
6	Нейронні багатофакторні моделі ПР Л-О	Мінімізація ризику ПР, мінімум збитків	$\bar{P} = \{p_1, p_2, \dots\}$
7	GERT моделі розвитку польотних ситуацій	Математичне очікування часу на перехід польотних ситуацій	$M[t_{ij}], \delta^2 [t_{ij}],$ $p_{ij} \cdot p_{ji}, p_{ii}$ $W_{ij}(A), W_{ij}(B)$
8	Марковська мережа розвитку польотних ситуацій	Ймовірності станів польотних ситуацій	$p_{ij}(A), p_{ij}(B)$
9	Експертні моделі	Системи переваг	$S_p(F_{ip}), S(F_{sp})$
10	Рефлексивні моделі	Автоматичний, вольовий вибір	$\vec{S}(x_1, x_2, x_3)$
11	Моделі емоційного стану	Спонтанний, емоційний, розсудливий типи діяльності	$F_{pf} = \{T_r, T_n, T_b, D_1, D_2, D_3\}$
12	Соціонічні моделі Л-О	Енергозатрати	СМЛ

## 2.2. Детерміновані моделі прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи

В умовах розвитку та вдосконалення технологій виникає проблема ЛФ в керуванні складними процесами, яка для авіації є гострішою, ніж для більшості небезпечних галузей. Це пов'язано з жорсткими вимогами, що ставляться до АЕС через високу швидкість процесів, які відбуваються, та їх потенційну небезпеку для життя і здоров'я людей.

Технологія роботи авіаційного спеціаліста (пілота, диспетчера) відповідає чіткому алгоритму дій, що прописані у нормативних та регламентуючих документах [7–12], як в штатних, так і позаштатних ситуаціях (наприклад, ОВП), тому для моделювання дій авіаспеціаліста можна застосовувати детерміновані моделі. Оскільки ОВП – це не одномоментна подія, а подія, що розвивається в часі, для моделювання ПР Л-О відповідно до алгоритму дій у разі виникнення ОВП доцільно користуватися *мережевими графіками* для визначення і оптимізації критичного часу, необхідного для парирования особливого випадку в польоті.

Мережевий графік виконання операційних процедур (дій) оператором АНС у разі виникнення аварійних чи непередбачуваних операцій – це орієнтований граф без контурів, який має вузли і дуги. Вузли графу відповідають події на початку (наприкінці) операційної процедури (дії) авіадиспетчера (пілота, членів екіпажу ПК), наприклад, у разі виникнення ОВП. Дуги інтерпретують суть операційних процедур (дій) відповідно до технології (інструкції, керівництва з льотної експлуатації цього типу ПК). Методи мережевого планування та способи побудови мережевого графіка кружок – подія, дуга – робота наведено в працях [37; 116; 155; 163]. Дослідження математичних моделей виконання операційних процедур (дій) Л-О в разі виникнення ОВП проведемо за допомогою алгоритму розрахунку мережевих графіків з детермінованим та імовірнісним часом виконання операційних процедур.

Формалізація дій Л-О (пілота, диспетчера) в ОВП за допомогою апарату мережевого планування і управління

дозволяє визначити: оптимальну послідовність операційних процедур (дій) Л-О в разі виникнення ОВП; критичний (оптимальний) час виконання операційних процедур (дій) Л-О на парирування ОВП; максимальний (мінімальний) час виконання операційних процедур (дій) Л-О в разі виникнення ОВП; резерви часу для парирування ОВП тощо.

*Мережеві графіки виконання дій у разі виникнення особливого випадку в польоті з детермінованим часом виконання операційних процедур.* Параметри математичних моделей операційних процедур (дій) Л-О в разі виникнення ОВП наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

**Параметри математичних моделей операційних процедур (дій) Л-О в разі виникнення ОВП**

№ з/п	Позначення	Зміст параметру моделі
1	$i$	Номер попередньої події
2	$j$	Номер наступної події
3	$t_{ij}$	Час виконання операційної процедури (дії) Л-О в разі виникнення ОВП
4	$T_{pi}$	Ранній термін виникнення події $i$
5	$T_{pj}$	Ранній термін виникнення події $j$
6	$T_{pi}$	Пізній термін виникнення події $i$
7	$T_{pj}$	Пізній термін виникнення події $j$
8	$t_{рзij}$	Ранній термін закінчення операційної процедури (дії) ( $i$ - $j$ ), яку виконує Л-О в разі виникнення ОВП
9	$t_{пзij}$	Пізній термін закінчення операційної процедури (дії) ( $i$ - $j$ ), яку виконує Л-О в разі виникнення ОВП
10	$R_i$	Резерви часу подій $i$
11	$R_j$	Резерви часу подій $j$
12	$R_{пзij}$	Повний резерв часу на виконання операційної процедури (дії) ( $i$ - $j$ ), яку виконує Л-О в разі виникнення ОВП
13	$R_{взij}$	Вільний резерв часу на виконання операційної процедури (дії) ( $i$ - $j$ ), яку виконує Л-О в разі виникнення ОВП
14	$L_{к}$	Критичний час на парирування ОВП
15	$L_{кр}$	Підкритичний час на парирування ОВП
16	Операція	Операційна процедура (дія)

## Алгоритм розрахунку мережевого графіку з детермінованим часом виконання операційних процедур (дій) у разі парирування ОВП

*Розрахунок мережевого графіка від початку до кінця:*

1. Розрахунок ранніх термінів закінчення виконання операції  $t_{pzij}$ . визначається як сума раннього терміну виникнення події  $T_{pi}$  та часу виконання операції  $t_{ij}$ :

$$t_{pzij} = T_{pi} + t_{ij}; T_0 = 0.$$

2. Розрахунок ранніх термінів початку виконання операції  $T_{pj}$ :

$t_{pzij}$  – якщо до події підходить одна операція;

$T_{pj} = \max\{t_{pzij}\}$  – якщо до події підходить декілька операцій.  
{i}

*Розрахунок мережевого графіка від кінця до початку.*

3. Розрахунок пізніх термінів виникнення операцій  $t_{pnij}$  визначається як різниця між пізнім терміном появи події  $T_{pj}$  та часу операції  $t_{ij}$ :

$$t_{pnij} = T_{pj} - t_{ij}.$$

4. Розрахунок пізніх термінів появи події  $T_{pi}$ :

$t_{pnij}$  – якщо від події відходить одна операція;

$T_{pi} = \min\{t_{pnij}\}$  – якщо від події відходить декілька операцій.  
{j}

5. *Розрахунок резервного часу події  $R_i$*  визначається як різниця між подією, що є найбільш пізньою  $T_{pi}$ , та найбільш раннім  $T_{pj}$  терміном закінчення події:

$$R_i = T_{pi} - T_{pj}.$$

6. *Розрахунок повного резерву операції  $R_{nij}$* . Повний резерв операції – максимальний час, на який можна збільшити чи зменшити тривалість дії (i-j), не змінюючи терміну початку події, що завершується:

$$R_{nij} = T_{pj} - t_{pzij} = T_{nj} - T_{pi} - t_{ij}.$$

7. *Розрахунок вільного резерву  $R_{vij}$* . Вільний резерв – максимальний час, на який можна збільшити тривалість дії (i-j):

$$R_{vij} = T_{pi} - t_{pzij} = T_{pj} - T_{pi} - t_{ij}.$$

8. *Визначення критичних  $L_k$  та підкритичних шляхів  $L_{кр}$* .

Введемо деякі визначення до мережевих графіків. *Критичний шлях* – шлях, тривалість якого дорівнює критичному часу виконання операційних процедур (дій) Л-О в разі виникнення

ОВП –  $L_{кр}$ . *Критичний час* – мінімальний час, за який виконується весь алгоритм операційних процедур (дій) Л-О в разі виникнення ОВП –  $T_{кр}$ . *Підкритичні шляхи* – шляхи, в яких повний резерв часу відрізняється не більш ніж задану величину –  $L_{кр}$ . Критичним шляхом на мережевому графіку є шлях з найменшим повним резервом. Саме операції, що містяться на критичному шляху, дуже важливі і потребують негайного втручання. Повний резерв часу шляху  $R[L_i]$  шляху  $L_i$  визначається як різниця між довжиною критичного шляху  $t[L_{кр}]$  та довжиною будь-якого повного шляху  $t[L_i]$  дорівнює  $R[L_i] = t[L_{кр}] - t[L_i]$ .

У [195] наведено фрагмент мережевого графіка, що описує роботу екіпажу ПК від моменту відмови двигуна на зльоті до видачі командиром ПК команди про продовження чи припинення зльоту. Елементи системи «екіпаж – ПК» у певні проміжки часу є нормативно визначеними в керівництвах з льотної експлуатації літаків, зокрема, Як-40 [80], інструкціями та експертними оцінками. Розглядалися такі позаштатні польотні ситуації, які мають тенденцію до розвитку в аварійні чи катастрофічні. Імовірність відмови двигуна за сучасного рівня надійності силових установок дуже мала. Відмова двигуна на етапах зльоту та набору висоти є подією із ще меншою ймовірністю, оскільки, по-перше, ці етапи тривають протягом відносно невеликого проміжку часу, а, по-друге, безпосередньо перед вильотом ПК проходить ретельний огляд, перевірку роботи всіх двигунів. Та, незважаючи на це, не можна недооцінювати, хоч і мізерну, можливість відмови двигуна на вказаних етапах. Причини та наслідки відмови двигуна розглядалися у [58; 65; 116]. Найпоширеніші з них показано на рис. 2.5. Найбільш поширеними причинами відмови двигуна, на думку членів екіпажів, є відмова паливної системи двигуна і відмова системи вихлопу [84]. Серед наслідків найчастіше трапляються відхилення від стандартного маршруту вильоту, відхилення по курсу, посадка «перед собою».

Ознаками відмови двигуна на зльоті є [196]: поривання ПК до розвороту в бік двигуна, який відмовив (для пілота, що пілотує літак); помпаж двигуна (хлопки, тряска) та падіння частоти обертів, що супроводжується зростанням/спаданням



температури газів за турбіною; підвищення температури газу за турбіною вище від допустимої; загоряння світлосигналізаторів «ПОЖЕЖА ЛІВ», «ПОЖЕЖА ПРАВ», «ПОЖЕЖА СУ»; загоряння світлосигналізаторів «ЗАМОК РЕВЕРСУ», «РЕВЕРС УВІМКНЕН»; одночасне загоряння світлосигналізаторів «НЕСПРАВНІСТЬ ДВИГУНА», «ПЕРЕВІР ДВИГУН» та одного чи декількох світлосигналізаторів «ВІБРАЦІЯ ВЕЛИКА», «МАЛИЙ ТИСК МАСТИЛА», «ОШУРКИ В МАСТИЛІ», «ПАЛИВНИЙ ФІЛЬТР ЗАСМІЧЕНИЙ».



Рис. 2.5. Причини та наслідки відмови авіаційного двигуна

*Мережевий аналіз ПР екіпажем ПК у разі виникнення ОВП за допомогою детермінованої моделі.* Опишемо роботу екіпажу від моменту відмови двигуна на зльоті і до прийняття рішення про продовження/переривання зльоту, побудувавши фрагмент мережевого графіка (рис. 2.6). На ньому арабськими цифрами позначено статичні стани системи «екіпаж – ПК» у моменти часу, що відповідають початку чи закінченню відповідних дій екіпажу при переході від одного стану до іншого. Ці стани,

подані в табл. 2.5, обумовлені інструкціями та Керівництвами з льотної експлуатації дво- і багатодвигунових літаків.

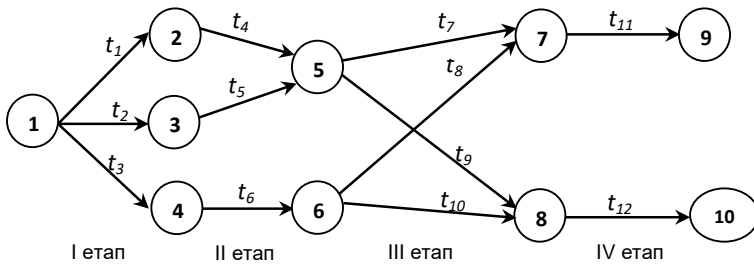


Рис. 2.6. Фрагмент мережевого графіка

Римськими цифрами позначено етапи переходу з одного стану системи до іншого.

Таблиця 2.5

Стани системи «екіпаж – ПК»

Номер стану	Характеристика стану
1	Початок (відмовив двигун на зльоті)
2	Другий пілот виявив відмову двигуна
3	Бортмеханік виявив відмову двигуна
4	Командир ПК виявив відмову двигуна
5	Командир ПК отримав від одного з членів екіпажу інформацію про відмову двигуна
6	Командир ПК має інформацію про відмову двигуна
7	Командир ПК фіксує швидкість ПК більше V1
8	Командир ПК фіксує швидкість ПК менше V1
9	Екіпаж отримав команду «Зліт продовжити»
10	Екіпаж отримав команду «Зліт припинити»

Зміст етапів (табл. 2.6) включає дії екіпажу, обумовлені керівництвами з льотної експлуатації різних типів ПК. Час переходу системи з одного стаціонарного стану в інший було визначено методом експертних оцінок [32; 37; 96; 151]. Експертами були спеціалісти з авіаційного загону льотної академії та пілоти кількох авіакомпаній України.

Таблиця 2.6

**Етапи роботи екіпажу**

Номер етапу	Зміст етапу	Регламентовані керівництвами з льотної експлуатації дії екіпажу
I	Виявлення відмови двигуна	Виявлення ознак відмови двигуна
II	Доповідь командирів ПК про відмову двигуна	У разі виявлення на будь-якому етапі зльоту ознак відмови двигуна другий пілот (бортмеханік) негайно доповідає командирів ПК
III	Аналіз командиром швидкості ПК	Залежно від швидкості, на якій відбулась відмова одного з двигунів, командир ПК повинен прийняти рішення припинити або продовжити зліт
IV	Видача команди «Продовження / переривання зльоту»	Прийнявши рішення про припинення або продовження зльоту, командир ПК повинен дати екіпажу команду відповідно «Зліт припиняємо» або «Зліт продовжуємо»

У результаті статистичного оброблення отриманих результатів анкетування визначено час, який необхідний системі «екіпаж – ПК» для переходу з одного стану в інший [194]. Цей час наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

**Визначення часу на виконання процедур екіпажем ПК**

Час	Час, с	Стандартне відхилення, с	Коефіцієнт варіації, %
$t_1$	5	0,5	9
$t_2$	3	0,5	16
$t_3$	3	0,5	18
$t_4$	2	0,3	16
$t_5$	2	0,4	19
$t_6$	0	-	-
$t_7$	3	0,5	18
$t_8$	3	0,5	18
$t_9$	3	0,6	19
$t_{10}$	3	0,5	15
$t_{11}$	2	0,4	18
$t_{12}$	2	0,4	18

Окремої уваги заслуговує час, який необхідний бортмеханіку для виявлення відмови двигуна. За результатами експертного опитування цей час становить 5 с. У звіті про розслідування катастрофи ПК Ту-134Б, що сталася 05.12.1995 р. в аеропорту Нахичевань, подано аналіз дій бортмеханіка, з якого випливає, що на розпізнавання факту відмови двигуна йому знадобилось 3 с [316]. На основі Керівництва з льотної експлуатації літака можна сформулювати у вигляді комплексу робіт дії авіаспеціалістів у випадку відмови двигуна на зльоті на прикладі дво- і багатодвигунових літаків. Для подальшої побудови інформаційної моделі визначено час, необхідний для парирування ОВП – відмови авіаційного двигуна на зльоті. Фрагмент мережевого графіка виконання дій авіаспеціалістами виконаний на проміжку від виявлення відмови двигуна до прийняття рішення про продовження чи переривання зльоту. Оскільки залежно від того, яке рішення прийме командир ПК щодо продовження / переривання зльоту, перелік дій, які потрібно виконати екіпажу, буде істотно відрізнятись, було побудовано два види мережевих графіків.

За допомогою мережевих графіків визначено час, необхідний льотному екіпажу на парирування ОВП [194–196]:

– у випадку найгіршого розвитку подій (графік А, рис. 2.7) з максимальним часом на операції –  $t_{max} = 94$  с;

– середній час на виконання операцій (графік В, рис. 2.8), загальний час виконання комплексу робіт на 24,5% менший, ніж на графіку А –  $t_s = 71$  с;

– мінімальний час, необхідний для парирування ОВП, складає не менше 55 с (графік С, рис. 2.9) –  $t_{min} = 55$  с.

На графіку С критичний час на організацію комплексу дій менший на 41,5%, ніж на графіку А, та на 22,5% – ніж на графіку В. Дії екіпажу з парирування відмови двигуна на зльоті, якщо командиром ПК прийнято рішення продовжити зліт, наведено в табл. 2.8.

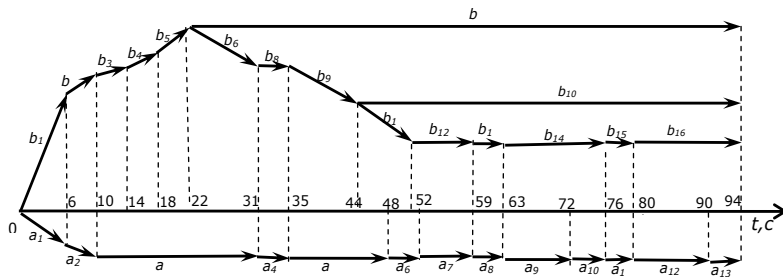


Рис. 2.7. Мережевий графік *A* (визначення  $t_{max}$ ) дій екіпажу ПК у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт»)

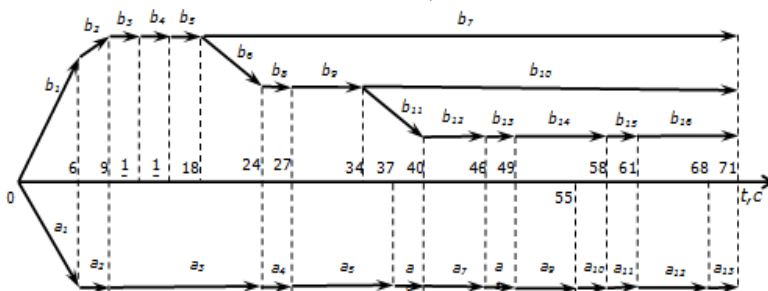


Рис. 2.8. Мережевий графік *B* (визначення  $t_s$ ) дій екіпажу ПК у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт»)

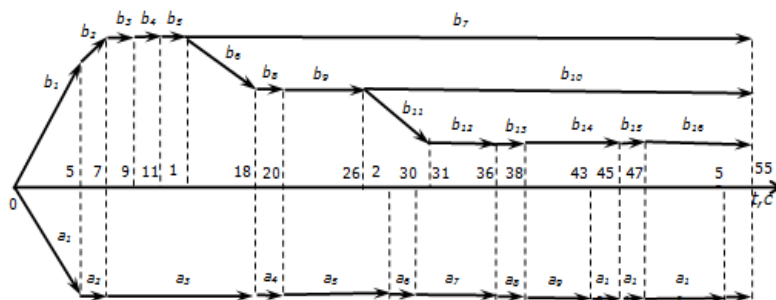


Рис. 2.9. Мережевий графік *C* (визначення  $t_{min}$ ) дій екіпажу ПК у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт»)

Таблиця 2.8

## Дії екіпажу з парирування відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт»)

Події	Дії пілота (бортмеханіка)	Події	Дії командира ПК
$a_1$	Виявлення відмови двигуна	$b_1$	Виявлення відмови двигуна командиром ПК
$a_2$	Повідомлення командиром ПК про відмову двигуна	$b_2$	Повідомлення екіпажу про відмову двигуна
$a_3$	Перевірка правильності виявлення відмови двигуна	$b_3$	Оцінювання швидкості ПК
$a_4$	Отримання команди «Прибрати шасі»	$b_4$	Прийняття рішення про продовження зльоту
$a_5$	Прибирання шасі	$b_5$	Видача команди «Зліт продовжити»
$a_6$	Повідомлення командира ПК про прибирання шасі	$b_6$	Стимування ПК від розвороту в сторону двигуна, що відмовив
$a_7$	Очікування подальших вказівок командира ПК	$b_7$	Витримування напрямку польоту
$a_8$	Отримання команди «Прибрати закрилки»	$b_8$	Видача команди «Прибрати шасі»
$a_9$	Прибирання закрилків	$b_9$	Переведення ПК у набір висоти
$a_{10}$	Повідомлення командира ПК про прибирання закрилків	$b_{10}$	Витримування крену в бік двигуна, що відмовив
$a_{11}$	Отримання команди «Зупинити неробочий двигун»	$b_{11}$	Переведення ПК у горизонтальний політ
$a_{12}$	Зупинка двигуна, що відмовив	$b_{12}$	Збільшення швидкості до $V_2+30$ км/год
$a_{13}$	Контроль роботи приладів	$b_{13}$	Видача команди «Прибрати закрилки»
		$b_{14}$	Продовження розгону літака
		$b_{15}$	Видача команди «Зупинити двигун»
		$b_{16}$	Доповідь диспетчеру про відмову двигуна

Розрахунок резервного часу виконаємо за допомогою формули [37]:

$$R_i = T_{pi} - T_{ri} = \max_{\{i\}} \{t_{pij}\} - \min_{\{j\}} \{t_{pij}\}$$

де  $T_{pi}$  – пізній строк настання події;  $T_{ri}$  – ранній строк настання події;  $t_{pij}$  – ранній строк початку операції;  $t_{pij}$  – пізній строк початку операції.

Для мережевого графіка  $A$  дій екіпажу ПК у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт») резервний час на парировання особливого випадку в польоті дорівнює 21 с. Причому для кожної з робіт оптимального комплексу (рис. 2.10) жодним з експертів не було вказано часу на виконання, меншого, ніж на графіку.

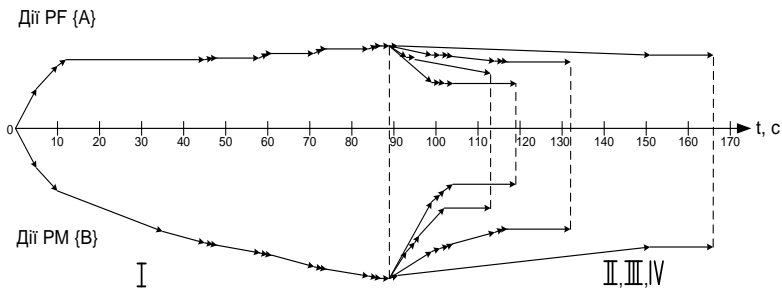


Рис. 2.10. Фрагмент мережевого графіку виконання процедур PF і PM у разі виникнення ОВП - проблем з електропостачанням

За допомогою мережевого планування проведено аналіз дій екіпажу ПК (Pilot Flying (PF), Pilot Monitoring (PM)) у разі виникнення ОВП (проблеми з електропостачанням): визначено час на виконання операційних процедур у разі виникнення ОВП за допомогою методу експертних оцінок, побудовано структурно-часову таблицю та мережевий граф, отримано критичний час виконання робіт двома пілотами (командиром і другим пілотом) (додаток Б). Як правило, сучасні ПК пілотуються двома пілотами (командиром і другим пілотом). При виникненні ОВП, коли навантаження на пілотів збільшується, один виконує дії по пілотуванню ПК – Pilot

Flying, другий виконує комунікаційні функції – Pilot Monitoring. Такий підхід полягає в зменшенні наслідків будь-яких помилок через «crossmonitoring» (перехресний моніторинг) між членами екіпажу ПК [267]. Синхронізовані дії Pilot Flying і Pilot Monitoring, в результаті якого визначений час на керування ПК PF у разі дій PM на етапах парирования ОВП, а саме:

1 етап – перевірка аварійних табло, що висвітилися щодо відмови генераторів;

2 етап – перевірка електроживлення;

3 етап – перевірка навігаційного обладнання;

4 етап – аварійна посадка.

Критичний час – мінімальний час, за який виконується весь алгоритм операційних процедур (дій) Л-О в разі виникнення ОВП –  $T_{кр} = 113$  с. Формалізація дій Л-О (пілотів PF і PM) в ОВП за допомогою апарату мережевого планування і управління дозволяє визначитися з оптимальною послідовністю та часом виконання процедур з парирования ОВП. Розроблено методику синхронізації операційних процедур пілотів PF і PM в умовах перехресного моніторингу у разі виникнення ОВП [299].

Побудовано детермінованої моделі ПР Л-О за допомогою методів мережевого планування, що викладені в програмі навчальних курсів «Інформатика прийняття рішень», «Основи теорії прийняття рішень», «Теорія управління» для спеціальності «Обслуговування повітряного руху» [195; 196] студентами отримані математичні моделі ПР Л-О АНС у разі виникнення ОВП (додаток В). Отриманий критичний час виконання робіт диспетчером (АТСО) в ОВП, а саме: у разі відмови двигуна на зльоті, розгерметизації ПК, проблемах з гідравлікою, при відмові системи електропостачання тощо, а також критичний час дій екіпажу ПК у випадку відмови двигуна на зльоті і заході на посадку в складних метеоумовах тощо [195; 196; 201; 207; 210; 216–219; 221; 238; 247; 248]. Завдання полягало в визначенні критичного шляху та часу на виконання дій авіадиспетчера в ОВП та основних етапів ПР з парирования ОВП відповідно до технології дій фахівця з обслуговування повітряного руху з використанням принципів ASSIST (Acknowledge, Separate, Silence, Inform, Support, Time) за «Типовими картами дій фахівців ОПП в аварійних та



непередбачуваних ситуаціях» [12; 272]. На рис. 2.11 наведено порядок дій авіадиспетчера під час аварійної ситуації відповідно до Керівництва для підготовки авіадиспетчера у разі виникнення нестандартних/аварійних ситуацій [271; 272]. Європейські провайдери аеронавігаційних послуг (Airnavigation service provider NSAP) успішно адаптували ASSIST-принцип, піонерами в цьому були Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) – орган управління повітряним рухом у Німеччині.

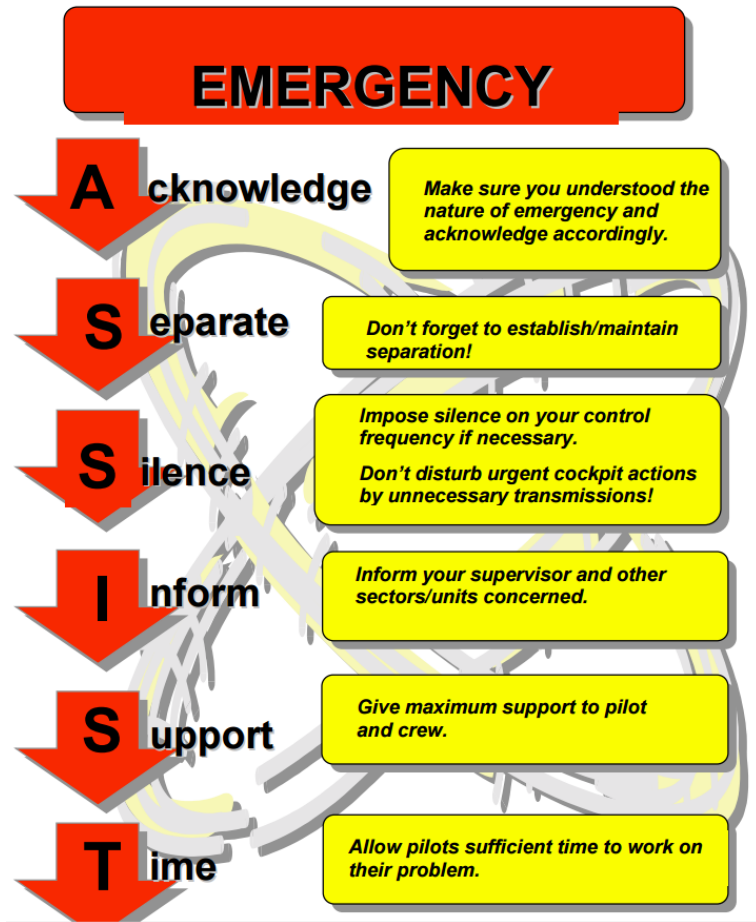


Рис. 2.11. Порядок дій авіадиспетчера під час аварійної ситуації

### **Операційні процедури ‘А’ ‘S’ ‘S’ ‘T’ ‘S’ ‘T’:**

**Acknowledge.** Підтвердить екіпажу ПК отримання повідомлення про аварійну ситуацію. При необхідності дайте екіпажу вказівку встановити відповідний код вторинного оглядового радіолокатора.

**Separate.** Забезпечуйте ешелонування ПК, що знаходиться в аварійній ситуації відносно інших ПК. Дайте даному ПК простір для маневру.

**Silence.** Скоротить радіообмін на робочій частоті до мінімуму (введіть режим радіомовчання).

**Inform.** Інформуйте керівника польотів і всіх заінтересованих диспетчерів інших секторів/органів ОПР.

**Support.** Надавайте екіпажу ПК будь-яку можливу допомогу в ситуації, що склалася.

**Time.** Дайте екіпажу час подумати над вирішенням проблеми і прийняти відповідне рішення щодо подальших дій в ситуації, що склалася.

Електронна віртуальна навчальна програма SKYbrary Aviation Safety містить інформаційні і методичні матеріали щодо правил виконання польотів, управління повітряним рухом, рекомендацій до дій авіаційного персоналу в аварійних ситуаціях тощо [273]. Це також портал, єдина точка входу, що дозволяє користувачам отримати доступ до даних з безпеки на веб-сайтах різних авіаційних організацій – постачальників аеронавігаційних послуг, промисловості. Зовнішній вигляд тестуючої програми на рис. 2.12.

Перевагами моделей, що запропоновані авторами, є можливість отримати час на виконання процедур, визначити порядок і послідовність виконання процедур. Розроблено алгоритм побудови детермінованої моделі ПР Л-О у разі виникнення ОВП [249].

# Unusual/emergency situations

The screenshot displays the ASSIST system interface for 'ELECTRICAL PROBLEMS'. On the left is a grid of emergency categories: BIRD STRIKE, BRAKE PROBLEMS, BOMB WARNING, COMMUNICATION FAILURE, ELECTRICAL PROBLEMS (highlighted in red), EMERGENCY DESCENT, ENGINE FAILURE, ENGINE/APU ON FIRE, FUEL PROBLEMS, GEAR PROBLEMS, UNLAWFUL INTERFERENCE, PRESSURISATION PROBLEMS, HYDRAULIC PROBLEMS, ICING, and SMOKE OR FIRE IN THE COCKPIT, ACAS / TCAS. Below this grid is an 'Inform' box with the text: 'Inform your supervisor and other sectors/units concerned' and a 'Back to ASSIST >>>' link. In the center is a large box titled 'ELECTRICAL PROBLEMS' with an airplane icon. To its right is a navigation table:

CONTEXT	EXPECT	CHECKLIST
REMEMBER	IF NEEDED	SELF TEST

Below the navigation table is a 'PLAY' button and a 'Minutes on standby' input field. The main content area contains the text: 'Electrical power levels: Loss of electrical power is an emergency situation. Even though most aircraft can still function on reduced power, a possible complete power failure must be expected. Therefore, partial failure is also treated as an emergency. When a pilot reports the aircraft to be on standby power, remember most aircraft will have battery supplied electrical power for only 20-30 minutes, so urgent action by ATC is required. Now press the play button on the animation.' An airplane icon is shown in the background of this text.

Рис. 2.12. Методичні матеріали щодо дій авіадиспетчера у разі виникнення ОВП

## Алгоритм побудови детермінованої моделі ПР Л-О у разі виникнення ОВП

1. Обрати  $k$ -й ОВП ( $k = \overline{1, K}$ ) з переліку ОВП відповідно до ASSIST (табл.2.9).
2. Визначити технологію роботи АТСО у разі виникнення ОВП.
3. Декомпозиція технології робіт АТСО на операційні процедури  $a_i, i = \overline{1, n}$ .
4. Побудова алгоритму блок-схеми виконання технології робіт АТСО у разі виникнення  $k$ -го ОВП.
5. Визначення часу  $t_i, i = \overline{1, n}$  на виконання операційних процедур за допомогою методу експертних оцінок (експериментально, за статистичними даними):

5.1. Визначення середнього часу для кожної операційної процедури:  $t_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{m}$ ,

де  $m$  – кількість експертів;

5.2. Узгодженість експертів:

дисперсія  $D_j = \frac{\sum_{i=1}^m (t_{grj} - t_i)^2}{m-1}$  ;

середньоквадратичне відхилення  $\sigma_j = \sqrt{D_j}$  ;

коефіцієнт варіації  $\nu_j = \frac{\sigma_j}{t_{grj}} \cdot 100\%$

6. Структурно-часова таблиця переліку операційних процедур і часу на виконання операційної процедури ( $t_i, i = \overline{1, n}$ ) у разі виникнення  $k$ -го ОВП.

7. Мережевий графік виконання операційних процедур АТСО у разі виникнення  $k$ -го ОВП.

8. Визначення критичного часу  $T_{кр}$  для парирування  $k$ -го ОВП.

9. Визначення критичного шляху виконання дій АТСО у разі парирування  $k$ -го ОВП.

Таблиця 2.9

**Перелік особливих випадків в польоті**

№ з/п	Особливий випадок в польоті	Позначення
1	АСАС / TCAS	А 01
2	Зіткнення з птахом	А 02
3	Загроза вибуху на борту ПК	А 03
4	Проблеми з гальмівною системою ПК	А 04
5	Відмова радіозв'язку	А 05
6	Проблеми з системою електропостачання. Знеструмлення ПК	А 06
7	Аварійне зниження	А 07
8	Відмова двигуна	А 08
9	Пожежа двигуна або пожежа ДСУ	А 09
10	Проблеми с паливом Критичний залишок палива	А 10
11	Проблеми з шасі Небезпечна індикація / Шасі не випускаються	А 11

Закінчення табл. 2.9

№ з/п	Особливий випадок в польоті	Позначення
12	Проблеми з гідравлічною системою Повна або часткова відмова органів управління, управління випуском шасі, гальмівної системи, управління випуском закрилків, управління передньою стойкою шасі	A 12
13	Обмерзання	A 13
14	Проблеми з герметизацій ПС	A 14
15	Дим або вогонь в кабіні екіпажу Дим або вогонь в пасажирському салоні	A 15
16	Незаконне втручання	A 16
17	Злив палива	A 17
18	Аварійна посадка / Посадка поза аеродромом	A 18
19	Перерваний зліт	A 19
20	Низький тиск мастила	A 20
21	Втрата працездатності пілота	A 21

Узагальнений мережевий аналіз ПР авіадиспетчером в разі виникнення ОВП за допомогою детермінованих моделей. У разі виникнення аварійних ситуацій або непередбачуваних обставин фахівцям з ОПР для надання максимальної допомоги екіпажу ПК, який зазнає лиха, та отримання необхідної важливої інформації для її подальшої передачі аварійно-рятувальним службам, слід якомога точніше дотримуватися відповідної технології [307] (табл. 2.10, рис. 2.13).

Таблиця 2.10

**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 екіпажу ПК про ОВП	$A_1$	$\{a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}\}$	–	$\{t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1n}\}$
2	Підтвердження отримання інформації від екіпажу ПК про ОВП	$A_2$	$\{a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2n}\}$	$A_1$	$\{t_{21}, t_{22}, \dots, t_{2n}\}$

Закінчення табл. 2.10

№ з/п	Зміст роботи	Позначення роботи	Множина робіт	Спирається на роботу	Час виконання роботи
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 екіпажу ПК про результат посадки	$A_6$	$\{a_{61}, a_{62}, \dots, a_{6n}\}$	$A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap A_4 \cap A_5$	$\{t_{61}, t_{62}, \dots, t_{6n}\}$

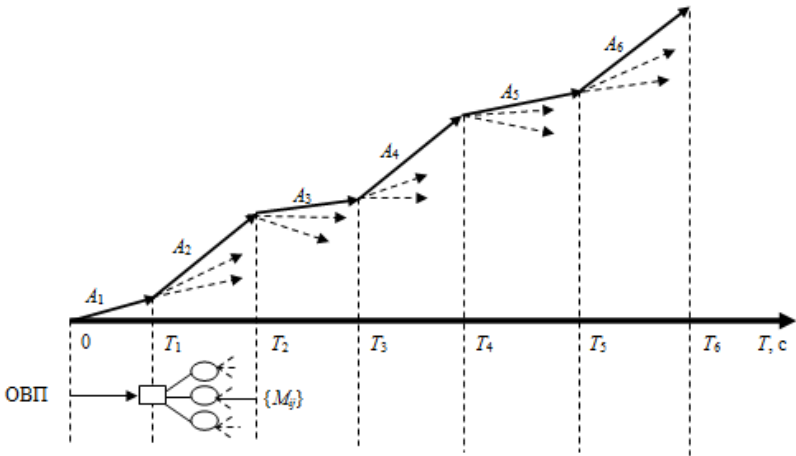


Рис. 2.13. Мережевий графік виконання дій диспетчером в ОВП

Як один з варіантів детермінованої математичної моделі розглянемо мережевий графік з детермінованим часом виконання операційних процедур (дій) авіаційного диспетчера в ОВП – відмова авіаційного двигуна на зльоті (командир ПК прийняв рішення «Продовжити зліт»).

У працях [10; 12] подано рекомендації щодо дій авіадиспетчера у випадку отримання повідомлення від екіпажу ПК про виникнення ОВП. На підставі цих рекомендацій та за

допомогою відповідних перетворень з упорядкування, сформульовано комплекс дій (робіт, операційних процедур) авіадиспетчера, спрямованих на парювання ОВП [307] (табл. 2.11).

Таблиця 2.11

**Перелік дій авіадиспетчера в ОВП**

Шифр дії	Дія
$a_1$	Отримання від командира ПК доповіді про відмову авіаційного двигуна та прийняття рішення «Продовжити зліт»
$a_2$	Підтвердження командиром ПК отримання повідомлення про ОВП
$a_3$	Забезпечення ешелонування ПК відносно інших ПК
$a_4$	Виділення ПК простору для маневрів
$a_5$	Уведення режиму радіомовчання
$a_6$	Інформування керівника польотів та диспетчерів інших секторів органу УПР
$a_7$	Інформування командира ПК про найближчий придатний аеродром
$a_8$	Інформування командира ПК про дані найближчого придатного аеродрому (робоча злітно-посадкова смуга (ЗПС), довжина, поверхня, частоти ILS та навігаційних пристроїв)
$a_9$	Інформування командира ПК про метеоумови на аеродромі посадки
$a_{10}$	Звільнити ЗПС
$a_{11}$	Звільнити смугу безпеки
$a_{12}$	Запропонувати командиром ПК подовжену ЗПС
$a_{13}$	Буксирувальні пристрої – в стані готовності
$a_{14}$	У випадку вимушеної посадки – фіксація останнього місцеположення ПК

Ці дії необхідно виконати авіадиспетчеру у випадку відмови двигуна ПК на зльоті [10; 12]. Результати аналізу часу на виконання дій авіадиспетчера в ОВП – відмова авіаційного двигуна на зльоті (командир ПК прийняв рішення «Продовжити зліт») – наведено в табл. 2.12.

Таблиця 2.12

**Часові характеристики дій авіадиспетчера в ОВП – відмова авіаційного двигуна на зльоті**

Шифр дії	$t_{\min}$ , с	$t_{\max}$ , с	$t_s$ , с	$\sigma$ , с	$m_{t_i}$
$a_1$	2	3	2,7	0,47	0,47
$a_2$	1	2	1,5	0,44	0,44
$a_3$	3	4	3,6	0,50	0,50
$a_4$	4	5	4,4	0,50	0,50
$a_5$	2	3	2,8	0,43	0,43
$a_6$	4	6	5,1	0,78	0,78
$a_7$	2	3	2,4	0,49	0,50
$a_8$	3	4	3,4	0,49	0,49
$a_9$	2	3	2,6	0,49	0,49
$a_{10}$	4	6	5,1	0,80	0,80
$a_{11}$	3	3	3	0,00	0,00
$a_{12}$	2	3	2,7	0,47	0,47
$a_{13}$	3	3	3	0,00	0,00
$a_{14}$	1	3	1,8	0,74	0,74
Усього	36	51	44,1	–	–

За отриманими даними побудовано мережевий графік, який відображає максимальний час на виконання всіх необхідних дій авіадиспетчером (рис. 2.14) –  $t_{\max} = 51$  с.

Якщо взяти середній час, необхідний авіадиспетчеру на виконання усіх необхідних дій в ОВП, то отримаємо мережевий графік показаний на рис. 2.14 з  $t_s = 44,1$  с, що на 13,5% менше ніж в попередньому випадку. В останньому випадку мінімальний час становить –  $t_{\min} = 36$  с, що на 29,5% менший ніж у першому, і на 18% менший ніж у другому випадку (рис. 2.15).

Якщо ж розглянути мережевий графік з мінімальним часом на виконання операційних процедур авіадиспетчером з парировання ОВП, то отримаємо графік, показаний на рис. 2.16.



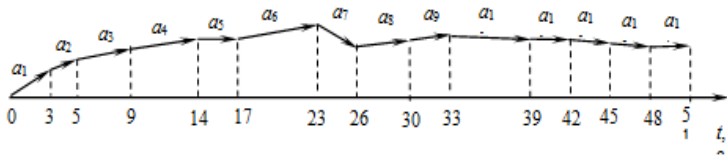


Рис. 2.14. Мережевий графік *A* (визначення  $t_{max}$ ) на виконання операційних процедур авіадиспетчером з парирування ОВП у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт»)

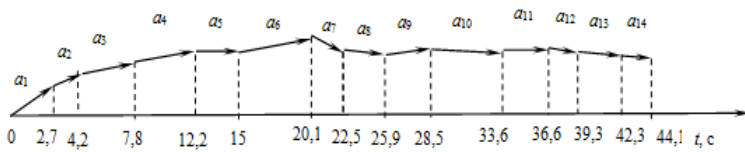


Рис. 2.15. Мережевий графік *B* (визначення  $t_s$ ) на виконання операційних процедур авіадиспетчером з парирування ОВП у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт»)

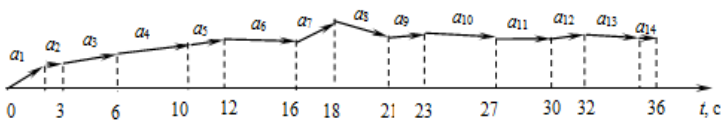


Рис. 2.16. Мережевий графік *C* (визначення  $t_{min}$ ) на виконання операційних процедур авіадиспетчером з парирування ОВП у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт»)

Аналіз мережевих графіків дій Л-О у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт»), направлених на парирування ОВП, показав (рис. 2.17, табл. 2.13), що члени екіпажу ПК указали час на виконання

комплексу дій, необхідних для парирования ОВП, в середньому на 39,4% більший, ніж диспетчери. Різницю в часі на парировання ОВП для пілота і диспетчера можна об'яснити різним характером професійної діяльності: індивідуальна (пілот) і групова діяльність (диспетчер), кількістю ПК на керуванні у диспетчера, різним відчуттям рівня ризику ЛПР та ін.

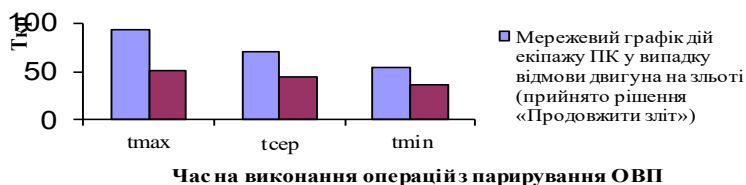


Рис. 2.17. Порівняльний аналіз часу на ПР рішень екіпажем ПК і авіадиспетчером у разі виникнення ОВП

Таблиця 2.13

**Мережевий аналіз ПР рішень екіпажем ПК і авіадиспетчером у разі виникнення ОВП за допомогою детермінованої моделі**

Мережевий графік дій Л-О у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт»)	Час на виконання операцій, $T_{кр}$ , с		
	Екіпаж ПК	Диспетчер	Різниця в часі, $t_{ЕПК} > t_{\Delta}$ %
Максимальний час на виконання операцій, $t_{max}$	94	51	46
Середній час на виконання операцій, $t_s$	71	44,1	38
Мінімальний час на виконання операцій, $t_{min}$	55	36	34
Середня різниця в часі, %	-	-	39,4

*Мережеві графіки виконання дій оператором аеронавігаційної системи в разі виникнення ОВП з імовірнісним*

часом виконання операційних процедур. Розглянуті мережеві графіки (див. рис. 2.14–2.16) є детермінованими моделями, тобто час на виконання певної операційної процедури авіадиспетчером вважається сталим. Але в дійсності час на виконання тієї чи іншої дії у кожного авіадиспетчера може бути різним, про що свідчать результати експертного опитування. Застосуємо мережеве планування за випадкових тривалостей виконання дій авіадиспетчером у випадку відмови авіаційного двигуна на зльоті [52; 216]. Така постановка задачі дає змогу знайти ймовірність того, що фактичний час виконання всього комплексу дій  $T$  не перевищить заданої величини  $T_0 = 51$  с. Нехай час виконання кожної дії  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_{14}$  є випадковою величиною з відомим законом розподілу. Причому ці випадкові величини незалежні, і їх щільності дорівнюють  $f_1(t), f_2(t), f_3(t), \dots, f_{14}(t)$ . Розглянемо функцію цих випадкових величин – загальний час виконання всього комплексу дій:

$$T = \sum_{i=1}^{14} t_i .$$

Дана функція в загальному випадку досить складна, оскільки сам критичний шлях є величиною випадковою і залежить від тих значень, яких набувають випадкові величини  $t_i$  – час виконання окремих дій. Але, оскільки в розглядуваному випадку можна вважати відхилення випадкових величин  $t_i$  від своїх номінальних значень відносно малими, і критичний шлях – єдиний, то у формулі будуть тільки цілком визначені випадкові величини  $t_i$ . Закон розподілу випадкової величини  $T$  у такому випадку являтиме собою композицію законів розподілу випадкових величин  $t_i$ . Згідно з центральною граничною теоремою маємо, що величина  $T$  розподілена нормально, оскільки критичний шлях складається з 14 тривалостей робіт – незалежних випадкових величин, які мають однаковий порядок дисперсії. Розрахунок параметрів детермінованої моделі з імовірнісним часом виконання операційних процедур наводиться в табл. 2.14.

Таблиця 2.14

**Розрахунок параметрів моделі з імовірнісним часом виконання операційних процедур**

№ з/п	Параметри моделі	Розрахунок параметрів детермінованої моделі
1	Реальний час виконання дії	$t_i$
2	Математичне очікування часу виконання $i$ -ї дії	$m_{t_i}$
3	Математичне очікування часу виконання $i$ -ї дії $T$	$m_t = \sum_{i=1}^{14} m_{t_i} = 44,1$
4	Середнє квадратичне відхилення часу виконання $i$ -ї дії $T$	$\delta_t = \sqrt{\sum_{i=1}^{14} \delta_{t_i}^2} = 1,95$
5	Імовірність виконання комплексу дій авіадиспетчера в ОВП	$P(T < 51) = \Phi\left(\frac{51 - 44,1}{1,95}\right) + 0,05$
6	Очікувана тривалість виконання дій для кожної з робіт $a_1, a_2, a_3, \dots$	$t_{очij} = (3t_{minij} + 2t_{maxij}) / 5$
7	Щільність $\beta$ -розподілу виконання дій	$f_{ij}(t) = \begin{cases} k_{ij}(t - t_{minij})^{k_{ij}-1}(t_{maxij} - t), & \text{якщо } t_{minij} < t < t_{maxij} \\ 0, & \text{якщо } t \geq t_{maxij}, \end{cases}$
8	Константа $\beta$ -розподілу виконання дій	$k_{ij} = \int_{t_{minij}}^{t_{maxij}} f_{ij}(t) dt = 1$

У табл. 2.15 маємо експертні оцінки тривалості кожної дії авіаційного диспетчера: мінімальну ( $t_{min}$ ), максимальну ( $t_{max}$ ) та дисперсію ( $\sigma^2_{ij}$ ). Нехай необхідно парировати особливий випадок в польоті за  $T_d=47$  с.

Таблиця 2.15

**Очікуваний час виконання дій авіадиспетчером**

Дія	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$
$t_{оч}$	2,4	1,4	3,4	4,4	2,4	4,8	2,4
$\sigma^2$	0,2209	0,1936	0,25	0,25	0,1849	0,6084	0,2401
Дія	$a_8$	$a_9$	$a_{10}$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$
$t_{оч}$	3,4	2,4	4,8	3	2,4	3	1,8
$\sigma^2$	0,2401	0,2401	0,64	0	0,2209	0	0,5476

Потрібно обчислити ймовірність того, що диспетчер вкладеться в цей відрізок часу. Розроблено алгоритм розрахунку мережевого графіка з імовірнісним часом виконання дій Л-О в разі виникнення ОВП [195].

### Алгоритм розрахунку мережевого графіка з імовірнісним часом виконання дій

1. Розрахунок очікуваного часу виконання дій авіадиспетчера (пілота)  $t_{очij}$  та дисперсії  $\sigma_{ij}^2$ .

2. Розрахунок найбільш раннього можливого строку завершення останньої дії авіадиспетчера (пілота) з парирування ОВП  $T_{рк}$ .

3. Визначення аргумента нормальної функції розподілу ймовірностей:

$$x = \frac{(T_d - T_{рк})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{ij}^2}}$$

4. Визначення ймовірності виконання дії авіадиспетчера (пілота) з парирування ОВП у наперед заданий строк  $T_d$  за визначеним аргументом  $x$ .

Очікуваний час виконання дій авіадиспетчером та дисперсію наведено в табл. 2.15.

Найбільш ранній можливий строк завершення останньої дії  $T_{рк} = 36$  с.

Дисперсія часу виконання процедури:

$$\sum_{i=1}^n \sigma_{ij}^2 = 0,2209 + 0,1936 + 0,25 + 0,25 + 0,1849 + 0,6084 + 0,2401 + 0,2401 + 0,2401 + 0,64 + 0 + 0,2209 + 0 + 0,5476 = 3,8366$$

Підставимо отримані дані у формулу визначення аргумента нормальної функції розподілу ймовірностей:

$$x = \frac{(47 - 36)}{\sqrt{3,8366}} = 2,8671.$$

Скориставшись таблицею значень функції розподілу ймовірностей, знаходимо ймовірність  $P(x) = 0,89$ . Отже,

отримано, що імовірність виконання авіадиспетчером комплексу дій за 51 с дорівнює  $P(T < 51) \approx 0,9998$ .

Аналогічно було визначено ймовірності виконання авіаційним диспетчером комплексу операційних процедур за різний, наперед заданий час 37–51 с. Імовірності виконання авіадиспетчером комплексу дій у разі поступового зменшення часу на його виконання  $T$  на 1 с наведено в табл. 2.16.

*Таблиця 2.16*

**Імовірності виконання авіадиспетчером комплексу дій**

№ з/п	$T$ , с	$P(T)$
1	$T < 51$	0,9998
2	$T < 50$	0,9987
3	$T < 49$	0,9938
4	$T < 48$	0,9767
5	$T < 47$	0,9305
6	$T < 46$	0,8338
7	$T < 45$	0,6769
8	$T < 44$	0,4797

Якщо час на виконання комплексу дії авіадиспетчером зменшується, відповідно зменшується ймовірність успішного парирування розглянутого ОВП.

Таким чином, формалізація дій Л-О (пілота, диспетчера) в ОВП за допомогою апарату мережевого планування дозволяє визначитися з оптимальною послідовністю та часом виконання процедур на парирування ОВП. Застосування моделей та алгоритмів в СППР авіаційного оператора при діях в ОВП дасть змогу якісно і кількісно аналізувати позаштатні польотні ситуації. В неочікуваних умовах експлуатації ПК процес упорядкування з розвитком польотної ситуації змінюється і має місце динамічна стохастична задача впорядкування дій ЛПР.

### **2.3. Стохастичні моделі прийняття рішень у разі виникнення особливого випадку в польоті**

Моделі ПР Л-О в АЕС як соціотехнічній системі [267; 270], до якої належить АНС [165; 232], враховують вплив зовнішнього середовища на Л-О та об'єкт керування (ПК) за

рахунок імовірнісного характеру параметрів моделей. Критерії, що використовуються для характеристики якості діяльності оператора, такі як безпомилковість і своєчасність, що введені Г.М. Зараковським і В.В. Павловим [56] і застосовуються для оцінювання дій оператора в автоматизованих навчальних системах [50], дозволяють визначати часові і точнісні відхилення дій Л-О від нормативних, але не враховують потенційної небезпеки кожної помилки. Нормативна модель поведінки оператора повинна базуватися на оцінці ризику [24]. Тому пропонується підхід до оцінювання якості виконання оператором відповідних завдань, що враховує як безпомилковість і своєчасність дій Л-О, так і ризик виникнення небажаних наслідків у результаті реалізації оператором певного рішення.

Можна виділити три базисні уявлення про ризик:

- як імовірність реалізації небажаних наслідків;
- як розмір можливих витрат;
- як комбінація ймовірності й розміру витрат.

Спосіб кількісної оцінки ризику залежить від якості даних, що використовуються для опису ситуації, в якій приймається рішення.

Для формалізації поведінкової діяльності Л-О АНС у польотних ситуаціях зручними є моделі, що становлять 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 поточкових станів і переходів), дерев подій, дерев наслідків, а також функціональних мереж стохастичної структури (дерев розвитку ситуацій; дерев рішень тощо) [28, 37; 154; 155; 163]. Уперше діаграми причинно-наслідкових зв'язків були подані Х. Уотсоном для оцінювання систем надійності та безпеки експлуатації американських ракетних систем [28].

Для дослідження системи «Л-О – ПК – середовище» представимо її у вигляді динамічної моделі, що має вхід  $X_{\text{вх}}(t)$  (задані функції, встановлені інтервали часу аналізу стійкості системи) і вихід  $X_{\text{вих}}(t)$  (нормальне функціонування, економічний збиток, інцидент, поломка авіаційної техніки, аварія, катастрофа) (рис. 2.18), містить технічну частину Т (ПК),

авіаційний персонал (Л-О) і середовище (С), що взаємодіють між собою за відповідними алгоритмами і технологіями (Т) [222; 254]. До середовища відносяться як фактори, що впливають на ПК (наприклад, метеоумови), так і фактори, що впливають на ЛПР. Технології і алгоритми строго регламентовані відповідними нормативами – Керівництвом з льотної експлуатації, технологією роботи диспетчера тощо. Стани системи  $S(t)$  – умови виконання польоту ПК (нормальна ситуація, ускладнення у мов польоту, складна ситуація, аварійна ситуація, катастрофічна ситуація).

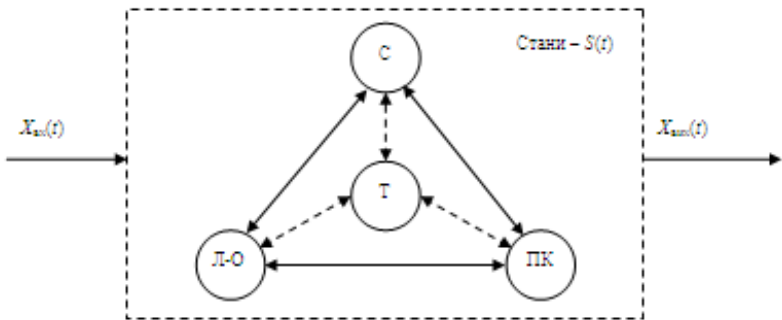


Рис. 2.18. Модель системи «Л-О – ПК – середовище»

Зміна станів польотних ситуацій від менш складних до більш складних за відсутності парирування відмов з боку техніки, людини, середовища і, відповідно, зміна станів від складніших до менш складних за умови парирування відмов (1 – нормальна ситуація; 2 – ускладнення умов польоту; 3 – складна ситуація; 4 – аварійна ситуація; 5 – катастрофічна ситуація; 6 – стан після катастрофи) описуються множиною ймовірностей (табл. 2.17, рис. 2.19).

Розглянемо діаграми причинно-наслідкових зв'язків під назвою дерево, з яких найчастіше використовуються два типи – дерево події типу  $P$  і дерево подій типу  $S$ , кожна з яких являє собою розгалужений, кінцевий і зв'язковий граф, який не має петель або циклів.



Таблиця 2.17

**Імовірності зміни станів польотних ситуацій**

Позначення	Імовірність
$P_{12}$	Імовірність переходу від нормальної ситуації до ускладнення умов виконання польоту
$P_{23}$	Імовірність переходу від ускладнення умов виконання польоту до складної ситуації
$P_{34}$	Імовірність переходу від складної ситуації до аварійної ситуації
$P_{45}$	Імовірність переходу від аварійної ситуації до катастрофічної ситуації
$P_{56}$	Імовірний стан системи після катастрофічної ситуації
$P_{21}$	Імовірність переходу від ускладнень умов виконання польоту до нормальної
$P_{32}$	Імовірність переходу від складної ситуації до ускладнень умов виконання польоту
$P_{31}$	Імовірність переходу від складної ситуації до нормальної
$P_{43}$	Імовірність переходу від аварійної ситуації до складної ситуації
$P_{42}$	Імовірність переходу від аварійної ситуації до ускладнення умов виконання польоту
$P_{41}$	Імовірність переходу польотної ситуації від аварійної до нормальної ситуації

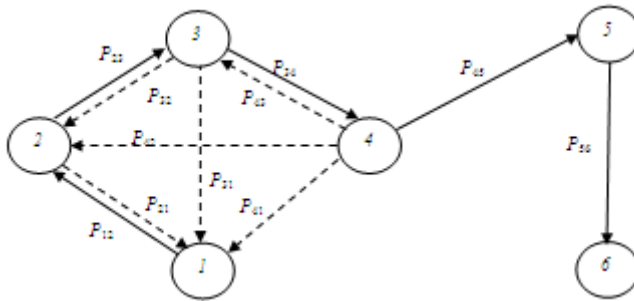


Рис. 2.19. Граф зміни станів польотних ситуацій

Семантична модель типу *дерева події P* (рис. 2.20) зазвичай включає одну головну подію – ОВП, яка сполучається за допомогою конкретних логічних умов з проміжними (гілки *A, B, B*) і вихідними (листя  $\overline{1,n}; \overline{1,m}; \overline{1,k}$ ) передумовами, які зумовили в сукупності її появу.

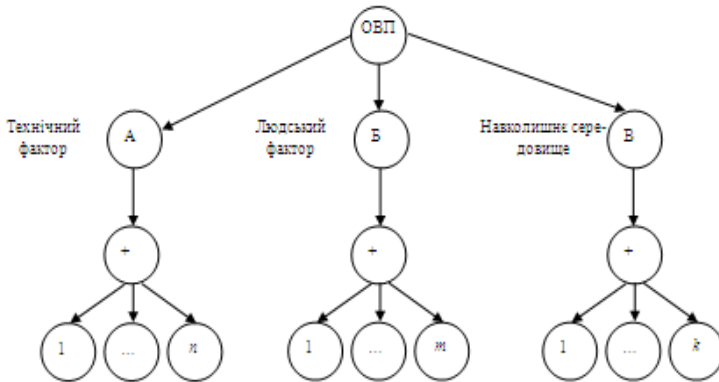


Рис. 2.20. Дерево події типу *P*

У разі ОВП типу відмови двигуна, технічними факторами *A* є потрапляння стороннього предмета в двигун (гайки, викрутки, дрібних каменів), поломка двигуна й інші, людським фактором *B* – навмисні і ненавмисні дії авіаційного персоналу, навколишнім середовищем *B* – метеоумови, орнітологічна обстановка, стан ЗПС, соціальні умови тощо. Дерево подій типу *S* (рис. 2.21) як центральну подію також завжди виражає будь-який ОВП (наприклад, відмову двигуна), але як гілки (*A, B, B, Г*) – сценарії розвитку ОВП, а листя – можливі наслідки його розвитку  $\{q_i\}$  ( $q_1$  – економічний збиток;  $q_2$  – інцидент;  $q_3$  – поломка авіаційної техніки;  $q_4$  – аварія;  $q_5$  – катастрофа). На відміну від дерева подій типу *P* дерево подій типу *S* не має логічних вузлів <i>, <або>. По суті, така семантична модель є імовірнісним графом, побудованим таким чином, щоб сума ймовірностей кожного розгалуження становила одиницю.

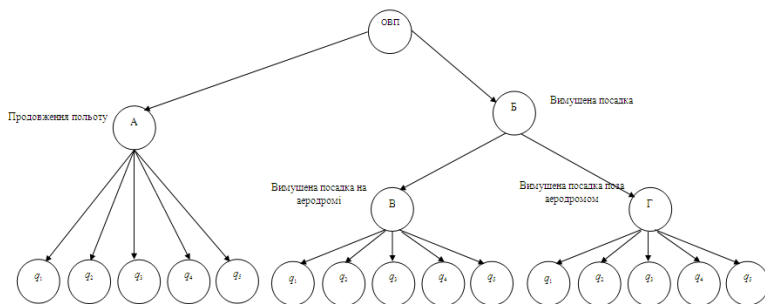


Рис. 2.21. Дерево подій типу  $S$  у разі відмови двигуна

Останнім часом інтенсивно розробляються діаграми впливу, які належать до класу семантичних функціональних мереж. Такі мережі також є графами, але відрізняються додатковою інформацією, що міститься в їх вузлах і дугах (ребрах). З них найбільш придатні для дослідження умов виникнення та розвитку ОБП мережі стохастичної структури типу Петрі і GERT, мережі Байєса [28; 163].

В умовах стохастичної невизначеності для відображення динаміки розвитку ситуації, особливо в разі виникнення особливого випадку, послідовність дій оператора АНС доцільно відображати з позицій системного підходу у вигляді дерева рішень [28; 30; 291], що дає можливість провести структурний аналіз проблеми, знайти оптимальну альтернативну дію і запобігти розвитку ситуації за неправильною схемою.

За допомогою системного аналізу було отримано модель розвитку польотної ситуації з урахуванням індивідуальних якостей ЛПР [30; 136–138; 145; 223; 232; 236; 237; 286; 287]. Структурно-логічні моделі ПР Л-О  $M_{\text{ПР}}$  та розвитку польотної ситуації  $M_c$  (рис. 2.22, рис. 2.23) описуються множинами можливих альтернатив ПР Л-О  $\bar{A}$ , розвитку ситуації  $\bar{S}$ , а також ймовірних результатів  $\bar{Q}$  дерева рішень (рис. 2.24), де маємо ПР щодо: 1 – можливості продовження польоту до аеродрому призначення і оцінка критичного часу польоту ПК; 2 – типу потенційного місця посадки (аеродром, підібраний з повітря або

попередньо визначений майданчик); 3, 4, 5 – технічну придатність потенційного місця посадки; 6, 7, 8 – можливості посадки в наявних метеоумовах.

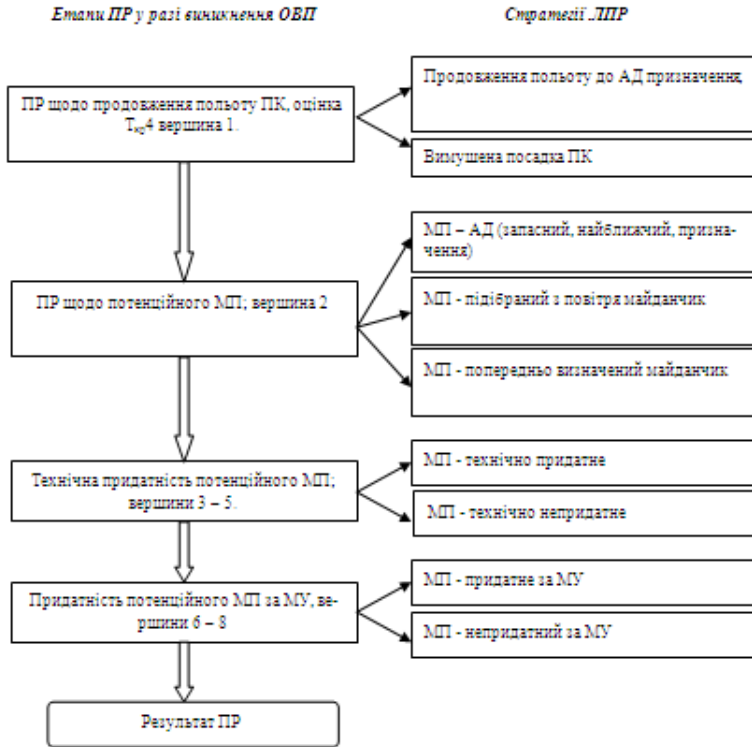


Рис. 2.22. Структурно-логічна схема ПР Л-О в моделі  $M_{\text{ПР}}$

Модель ПР Л-О МПР подамо у вигляді:

$$M_{\text{ПР}} = \{\bar{A}\} = A(\bar{P}_{\text{БД}}, \bar{V}_{\text{БМ}}, \bar{P}_{\text{Л-О}}),$$

де  $\bar{P}_{\text{БД}}$  – параметри бази даних;  $\bar{V}_{\text{БМ}}$  – моделі ПР;  $\bar{P}_{\text{Л-О}}$  – параметри бази Л-О.

Модель розвитку польотної ситуації  $M_c$  подамо як:

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

де  $\bar{P}_{\text{БД}}$  – параметри бази даних;  $\bar{V}_{\text{БМ}}$  – моделі ПР;  $\bar{P}_s$  – ймовірності виникнення наслідків ситуації  $\bar{Q} = \{q\}$ .

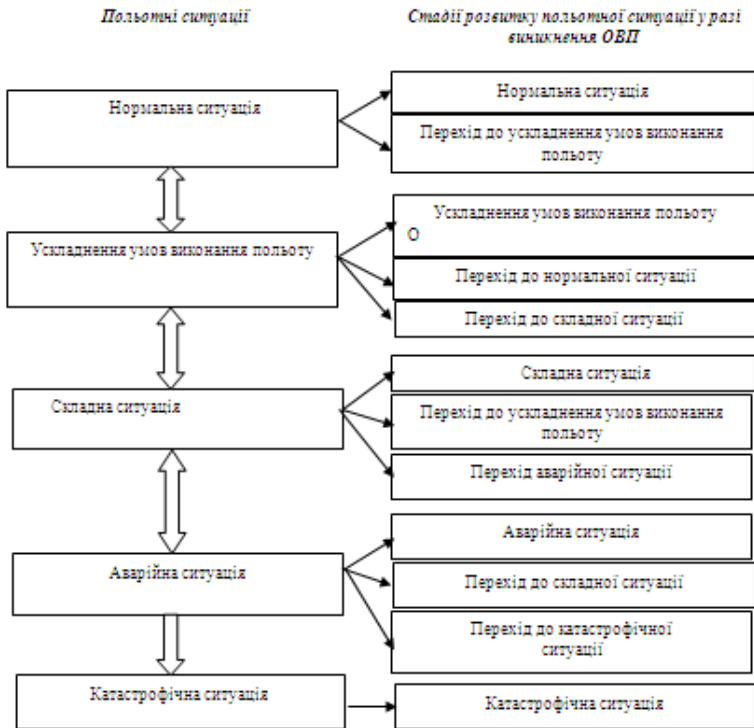


Рис. 2.23. Структурно-логічна схема розвитку польотної ситуації в моделі  $M_c$

Етапи розроблення моделей у разі виникнення пожежі, відмови двигуна і розгерметизації на борту ПК [196; 232; 286; 309; 313]:

1. Ідентифікація польотної ситуації  $S(t)$ .
2. Аналіз технології роботи  $T(t)$  Л-О (пілота, диспетчера) у разі виникнення польотної ситуації  $S(t)$ .

3. Алгоритм дій Л-О (пілота, диспетчера) у разі виникнення польотної ситуації  $S(t)$ .
4. Моделювання ПР Л-О МПР та розвитку польотної ситуації  $M_c$  (мережеві графіки, дерева подій, дерева рішень).
5. Програмна реалізація моделей.

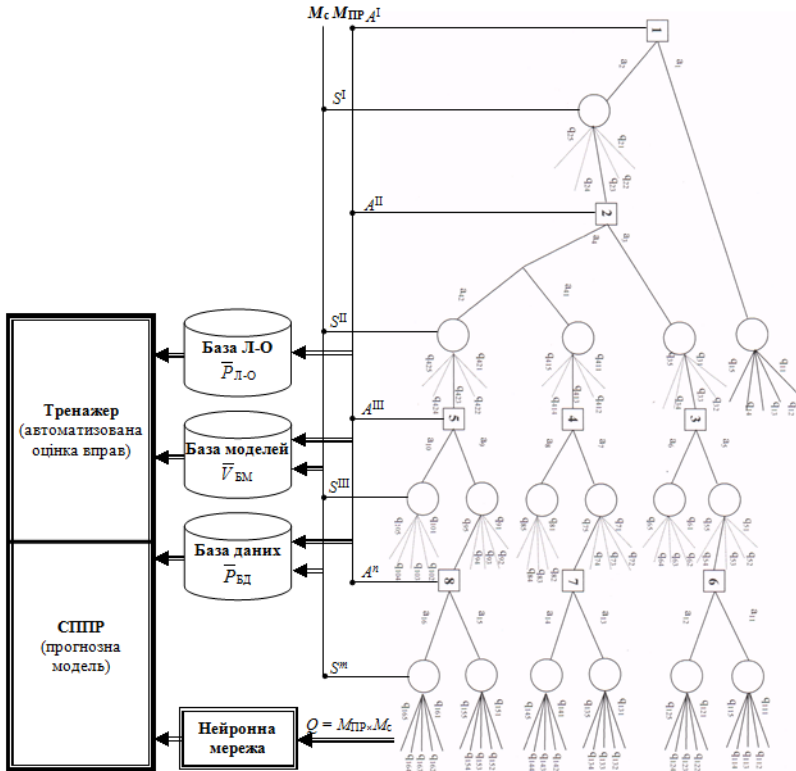


Рис. 2.24. Дерево ПР в задачі вибору оптимального варіанту завершення польоту

Діаграми впливу дозволяють моделювати різні процеси в АНС і прогнозувати їх альтернативні результати, що свідчить про перспективність застосування цього способу формалізації і моделювання розвитку польотних ситуацій як в автоматизованій навчальній системі, так і в СППР, що застосовуються в реальних

умовах експлуатації ПК [261; 262; 305]. Моделювання розвитку позаштатних польотних ситуацій, що характеризуються високим рівнем неповноти і невизначеності наявної інформації, можливе за допомогою методів ПР в умовах невизначеності:

– прийняття рішень в умовах стохастичної невизначеності (ризик), коли дані можна описати за допомогою імовірнісних розподілів (для вибору оптимальної альтернативи можливе застосування критеріїв очікуваного значення, очікуваного значення-дисперсії тощо);

– прийняття рішень в умовах невизначеності, коли ймовірнісні розподіли невідомі (для вибору оптимальної альтернативи застосовуються критерії Вальда, Лапласа, Севіджа, Гурвіца).

Оператор АНС приймає рішення в умовах невизначеності, що виникає внаслідок дії випадкових факторів на політ кожного ПК. В умовах нестохастичної невизначеності, коли оператору невідомий апріорний розподіл імовірностей  $p_j$  наслідків  $y_j$

стратегій управління ( $j = \overline{1, m}$ ;  $i = \overline{1, n}$ ). Методологічною основою вирішення задач ПР є теорія ігор [258]. Методи оцінювання помилкових дій оператора авіаційної ергатичної системи за допомогою формалізації ризику [28; 257; 183; 192] можна звести до вигляду таблиці (додаток Д, таблиця Д.1). Для оцінки ризику виникнення небажаних наслідків в умовах стохастичної невизначеності в АНС [257; 183; 192] і для оцінювання техногенного ризику [28] найчастіше використовується критерій очікуваного значення, відповідно до якого альтернативні рішення порівнюються з погляду мінімізації очікуваних витрат. Параметри стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП при спрацюванні світлового табло щодо несправності об'єкта (двигуна, генератора тощо) наведено в табл. 2.18. Розподіл імовірностей, що використовується у процесі формулювання критерію очікуваного значення, є, як правило, апріорними й отримується з нагромадженої раніше інформації. Можлива модифікація апріорних ймовірностей в апостеріорні за допомогою поточної і (або) отриманої раніше інформації, заснованої зазвичай на дослідженні вибірових (або експериментальних) даних.

Таким чином, мова йде про динамічну модель ПР: оператор невпинно прагне поліпшити своє інформаційне забезпечення і відповідно до цього постійно стежить за обстановкою. Апостеріорні оцінки ймовірностей розглянутих подій визначаються за допомогою теореми Байєса на підставі отриманої раніше статистичної або експертної інформації [93; 107]. В табл. 2.19 наведено параметри стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП у разі спрацювання світлового табло про пожежу двигуна.

В умовах стохастичної невизначеності, коли кожна вибрана стратегія керування  $A_i$  пов'язана з множиною можливих наслідків  $y_j$ , причому кожний  $p_j$  [107], послідовність дій оператора доцільно відображати з позицій системного підходу у вигляді дерева рішень з двома типами вершин [154; 155]: у вершинах-рішеннях вибір повністю здійснюється оператором, а у випадкових вершинах вибір не перебуває під його повним контролем. З вершин-рішень виходять гілки-альтернативи  $A_i$ , які закінчуються випадковими вершинами з декількома можливими реалізаціями  $y_j$  з ймовірностями  $p_j$ . Значення апіорних імовірностей встановлюється за допомогою статистичного або експертного оцінювання, а апостеріорних – методом Байєса [77; 107; 108].

Наслідок, пов'язаний з певною гілкою, являє собою сукупність витрат та придбань, яка характерна для випадку реалізації оператором відповідного рішення. Ризик  $R$  у цьому випадку визначається як математичне очікування величини небажаного наслідку, спричиненого реалізацією оператором певного рішення [37]:

$$R = G \times P,$$

де  $G$  – величина небажаного наслідку прийняття рішення, що виражається в абсолютних або відносних показниках;  $P$  – апостеріорна ймовірність настання небажаного наслідку.



Таблиця 2.18

**Параметри стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП при спрацюванні світлового табло про несправність об'єкта**

<b>Входи стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП</b>			
$x_1$	Параметри об'єкта в нормі (гіпотеза про відхилення від норми хибна)	$P(Y_1)$	Імовірність дійсного спрацювання світлового табло
$x_2$	Параметри об'єкта вийшли за межі норми (гіпотеза про відхилення від норми дійсна)	$P(Y_2)$	Імовірність хибного спрацювання світлового табло
$Y_1$	Дійсне спрацювання світлового табло	$P(x_1/Y_1)$	Імовірність того, що параметри об'єкта в нормі в разі дійсного спрацювання світлового табло
$Y_2$	Хибне спрацювання світлового табло	$P(x_2/Y_1)$	Імовірність того, що параметри об'єкта вийшли за межі норми при дійсному спрацюванні табло
$P(Y)$	Апріорний розподіл спрацювання світлового табло	$P(x_1/Y_2)$	Імовірність того, що інші параметри відповідають нормі
$P(x/Y)$	Умовний розподіл параметрів об'єкта	$P(x_2/Y_2)$	Імовірність того, що інші параметри не відповідають нормі
<b>Критерій ефективності – величина потенційного збитку при ПР Л-О в ОВП</b>			
$G_{11}$	Збитки при дях Л-О вимкнуті об'єкт (дійсне спрацювання табло)	$G_{12}$	Збитки при дях Л-О вимкнуті об'єкт (хибне спрацювання цього табло)
$G_{22}$	Збитки при дях Л-О не вимкати об'єкт (хибне спрацювання табло)	$G_{21}$	Збитки при дях Л-О не вимкати об'єкт (дійсне спрацювання табло)
<b>Виходи стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП – можливі альтернативні рішення Л-О при ОВП</b>			
<b>(<math>A_1</math> – вимкнуті об'єкт; <math>A_2</math> – не вимкати об'єкт)</b>			
$A_1$	Вимкнуті об'єкт	$A_2$	Не вимкати об'єкт
<b>Очікуваний ризик при ПР Л-О в ОВП</b>			
$R(A_1)$	Ризик у випадку прийняття пілотом рішення про відключення об'єкта	$R(A_2)$	Ризик у разі прийняття пілотом рішення не відключати об'єкт
$R(A_1) = G_{11}(P(x_1/Y_1)P(Y_1) + P(x_2/Y_1)P(Y_1)) + G_{12}(P(x_1/Y_2)P(Y_2) + P(x_2/Y_2)P(Y_2))$		$R(A_2) = G_{21}(P(x_1/Y_1)P(Y_1) + P(x_2/Y_1)P(Y_1)) + G_{22}(P(x_1/Y_2)P(Y_2) + P(x_2/Y_2)P(Y_2))$	

Таблиця 2.19

## Параметри стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП (пожежа двигуна)

Входи стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП			
$x_1$	Параметри двигуна в нормі (гіпотеза про пожежу хибна)	$P(Y_1)$	Імовірність дійсного спрацьовування світлового табло «Пожежа»
$x_2$	Параметри двигуна вийшли за межі норми (гіпотеза про пожежу дійсна)	$P(Y_2)$	Імовірність хибного спрацьовування світлового табло «Пожежа»
$Y_1$	Дійсне спрацьовування світлового табло «Пожежа»	$P(x_1/Y_1)$	Імовірність того, що параметри двигуна в нормі в разі дійсного спрацьовування світлового табло «Пожежа»
$Y_2$	Хибне спрацьовування табло	$P(x_2/Y_1)$	Імовірність того, що параметри двигуна вийшли за межі норми в разі дійсного спрацьовування табло
$P(Y)$	Апріорний розподіл спрацьовування світлового табло «Пожежа»	$P(x_1/Y_2)$	Імовірність того, що інші параметри відповідають нормі
$P(x/Y)$	Умовний розподіл параметрів двигуна	$P(x_2/Y_2)$	Імовірність того, що інші параметри не відповідають нормі
Критерій ефективності - величина потенційного збитку при прийнятті рішень Л-О в ОВП			
$G_{11}$	Збитки при діях Л-О – вимкнути двигун (дійсне спрацьовання табло)	$G_{12}$	Збитки при діях Л-О вимкнути двигун (хибне спрацьовування цього табло)
$G_{22}$	Збитки при діях Л-О – не вимикати двигун (хибне спрацьовання табло)	$G_{21}$	Збитки при діях Л-О не вимикати двигун (дійсне спрацьовування табло)
Виходи стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП – можливі альтернативні рішення Л-О ( $A_1$ – вимкнути двигун; $A_2$ – не вимикати двигун)			
$A_1$	Вимкнути двигун	$A_2$	Не вимикати двигун
Очікуваний ризик при прийнятті рішень Л-О в ОВП			
$R(A_1)$	Ризик у випадку прийняття пілотом рішення про вимкнення двигуна	$R(A_2)$	Ризик у разі прийняття пілотом рішення не вимикати двигун
$R(A_1) = G_{11}(P(x_1/Y_1)P(Y_1) + P(x_2/Y_1)P(Y_1)) + G_{12}(P(x_1/Y_2)P(Y_2) + P(x_2/Y_2)P(Y_2))$		$R(A_2) = G_{21}(P(x_1/Y_1)P(Y_1) + P(x_2/Y_1)P(Y_1)) + G_{22}(P(x_1/Y_2)P(Y_2) + P(x_2/Y_2)P(Y_2))$	

Іншим способом оцінки ризику, який не потребує введення апіорної ймовірності  $p_j$ ,  $j = \overline{1, n}$ , і тому, як і максимінний підхід, може використовуватися у випадках ПР в умовах нестохастичної невизначеності, є традиційний підхід [108], що ґрунтується на принципі максимальної правдоподібності. За наявності двох конкуруючих альтернатив  $A_0$  та  $A_1$  правило ПР зводиться до розділення простору спостережень  $Y$  на два підпростори  $Y_0$  та  $Y_1$ . Якщо під час визначення наслідку ПР отримується деяке значення  $y$ , що потрапляє в підпростір  $Y_0$ , то нуль-альтернатива  $A_0$  не відкидається, якщо ж значення  $y$  потрапляє в підпростір  $Y_1$ , то приймається альтернатива  $A_1$ . При цьому оператор може допустити одну з двох помилок: *помилка першого роду* полягає у відмові від нуль-альтернативи  $A_0$ , коли вона правильна, а *помилка другого роду* – в прийнятті нуль-альтернативи  $A_0$ , коли в дійсності правильна альтернатива  $A_1$ . Наслідки цих двох помилок цілком різні, тому різний і ризик у разі їх допущення ( $R'$  і  $R''$  відповідно). *Помилкою третього роду* вважається помилка, коли індивід ставить помилкову задачу ПР. Розглянемо для прикладу задачу управління диспетчером кола ПК під час заходу на посадку з прямої або за найкоротшим маршрутом, висота польоту яких на момент виходу на зв'язок перевищує звичайну в умовах зв'язку з іншими ПК. Трудність цієї задачі полягає в тому, що якщо ПК до моменту входження в глісаду не встигає достатньо знизитись і зменшити швидкість, то диспетчер буде змушений відправити ПК на друге коло. При цьому диспетчер повинен враховувати тенденцію зниження ПК. Якщо при заході ПК на посадку диспетчер кола прийме рішення відправити ПК на друге коло без достатньої підстави, тобто допустить помилку першого роду, то це призведе до збільшення польотного часу і витрати палива (деякого економічного збитку  $R'$ , який легко можна підрахувати). Якщо ж диспетчер кола передасть диспетчеру посадки ПК, що не вписується в глісаду, тобто допустить помилку другого роду, то це ПК доведеться відправляти на другий круг диспетчеру посадки з висоти прийняття рішень, а якщо цього не трапиться через помилку диспетчера посадки або

з іншої причини, стане ймовірною авіаційна катастрофа. Ризик у разі прийняття помилкового рішення в цьому випадку  $R'' \gg R'$ .

Одним зі способів оцінювання ризику в умовах нестохастичної невизначеності є *фуцци-логіка* [25; 112; 308], що ґрунтується на логічних правилах «ЯКЩО (умова) – ТО (висновок)». При цьому відповідні ймовірності подій і розміри можливих витрат при ПР в ОВП розглядаються як нечіткі множини  $P_j$  і  $L_{ij}$  і описуються у формі функцій належності  $\mu(P_j)$ ,  $\mu(L_{ij})$ , числове значення яких визначається значенням лінгвістичної змінної:

$$R = \mu(P_j) \times \mu(L_{ij}).$$

Отримана від експертів і інтерпретована кількісно в термінах теорії нечітких множин інформація про можливі наслідки розвитку певного ОВП використовується для оцінки ризику відповідно до критерію очікуваного значення. Для визначення величини рівня ризику був використаний апарат теорії нечітких множин [33; 74; 113]. Рівень ризику  $L_r$  залежить від умов виконання польоту, розвитку польотної ситуації та відповідного рівня небезпеки (нормальні, ускладнені, складні, аварійні умови виконання польоту) [134].

Для повного аналізу конкретного ОВП доцільно аналізувати комплексно роботу усіх авіаційних спеціалістів, які тим чи іншим чином причетні до цього польоту. В разі виникнення ОВП умовно безпечно його завершення головним чином залежить від екіпажу ПК та авіаційного диспетчера, під управлінням якого перебуває ПК.

*Командир ПК* відповідає за прийняття остаточного рішення, яке б мінімізувало збитки та ризик появи цих збитків у результаті виникнення ОВП.

*На авіадиспетчера* покладено відповідальність за видачу правильних та своєчасних рекомендацій екіпажу ПК. А для того, щоб рекомендація чи вказівка відповідала наведеним вище вимогам, а прийняте остаточне рішення було оптимальним, авіадиспетчеру та командирі ПК необхідно приймати рішення в умовах гострого дефіциту часу та неповноти й неточності інформації. До того ж у диспетчера на управлінні можуть бути два і більше ПК.

Результати розслідування АП показують, що досить багато АП виникало через ПР за умови неповноти, неточності інформації та високої завантаженості авіаспеціаліста. Тому доцільно розглянути один з підходів ПР авіаспеціалістом (диспетчером, командиром ПК) в умовах ризику, використавши апарат теорії нечітких множин.

Керівництвом FAA визначено шість кроків в моделі ORM – Operational Risk Management (операційне управління ризиками), на другому кроці виконується оцінка ризику за допомогою кількісних і якісних показників для визначення рівня ризику, пов'язаного з конкретною небезпекою [294].

Усі ризики повинні мати як мінімум три складові: ймовірності виникнення, тяжкість ризику і вплив ризику на людей та устаткування. Ефективні запобіжні заходи пов'язані зі зменшенням ризиків або усуненням принаймні одного з них.

Відомо, що за рівнем безпеки ОВП поділяються на ускладнення умов польоту, складну, аварійну та катастрофічну ситуації [134]. У разі виникнення ОВП авіаспеціаліст суб'єктивно визначає рівень ризику, користуючись якісною шкалою. Оскільки для формалізації алгоритму ПР потрібні кількісні значення змінних, то для оцінки якісного показника рівня ризику використаємо методи нечітких множин [33], а саме розмістимо на шкалі значення лінгвістичної змінної «рівень ризику»:

- 1) дуже малий ризик (відповідає нормальним умовам польоту);
- 2) малий ризик (відповідає ускладненим умовам польоту);
- 3) середній ризик (відповідає складній ситуації);
- 4) великий ризик (відповідає аварійній ситуації);
- 5) дуже великий ризик (відповідає катастрофічній ситуації).

Оскільки ризик розглядаємо як імовірність реалізації небажаного наслідку, то кількісна оцінка ризику повинна міститися в інтервалі від 0 до 1. Обраний інтервал розіб'ємо на 10 відрізків. Ступінь належності деякого значення визначимо як відношення кількості відповідей, у яких значення лінгвістичної змінної зустрічається у певному інтервалі, до максимального значення цього числа на всіх інтервалах. Результати опитування наведено у табл. 2.20. Для оброблення даних використаємо

матрицю підказок, яка являє собою рядок з елементами, що визначаються за формулою:

$$k_j = \sum_{i=1}^5 b_{ij}, \quad j = \overline{1, 10}.$$

Матриця підказок у розглядуваному випадку має вигляд:  $M = \parallel 24 \ 18 \ 25 \ 14 \ 9 \ 21 \ 20 \ 21 \ 24 \ 24 \parallel$ . Вибираємо з матриці підказок максимальний елемент

$$k_{\max} = \max_j k_j = \max \{24; 18; 25; 14; 9; 21; 20; 21; 24; 24\} = 25$$

перетворюємо елементи таблиці 2.17 згідно з формулою:

$$c_{ij} = \frac{b_{ij} k_{\max}}{k_j}, \quad i = \overline{1, 5}, \quad j = \overline{1, 10}.$$

Таблиця 2.20

Результати опитування експертів

Значення	Інтервал, од.									
	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1
1	24	12	4	0	0	0	0	0	0	0
2	0	6	21	11	2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	3	7	21	9	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	11	18	11	0
5	0	0	0	0	0	0	0	3	13	24
$k_j$	24	18	25	14	9	21	20	21	24	24

Результати розрахунків заносимо до табл. 2.21, на основі якої й будуються функції належності.

Для цього знаходимо по рядкам максимальні елементи:

$$c_{i \max} = \max_j c_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n;$$

$$c_{1 \max} = 25,0; \quad c_{2 \max} = 21,0; \quad c_{3 \max} = 25,0; \quad c_{4 \max} = 21,4; \quad c_{5 \max} = 25,0.$$

Значення функції належності заходимо за формулою:

$$\mu = \frac{\tilde{n}_{ij}}{c_{i \max}}.$$

Таблиця 2.21

## Обробка результатів опитування

Значення	Інтервал, од.									
	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1
1	25,0	16,7	4,0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	8,3	21,0	19,6	5,6	0	0	0	0	0
3	0	0	0	5,4	19,4	25,0	11,3	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	13,8	21,4	11,5	0
5	0	0	0	0	0	0	0	3,6	13,5	25,0

Функції належності для кожного значення лінгвістичної змінної «рівень ризику» зобразимо на рис. 2.25. Результати розрахунків наведено у табл. 2.22.

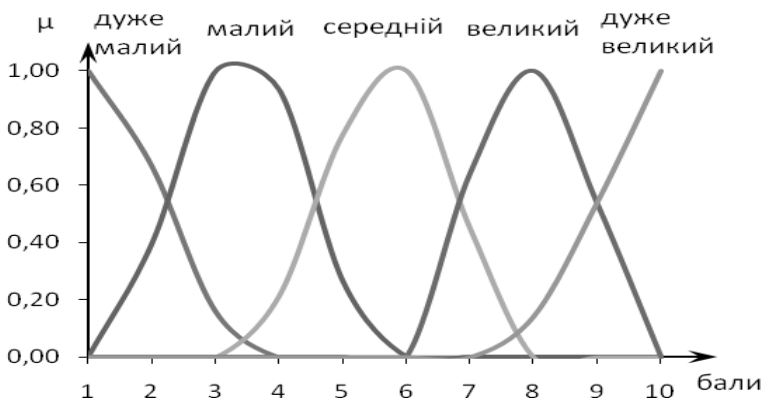


Рис. 2.25. Функції належності значення лінгвістичної змінної «рівень ризику»

Таблиця 2.22

## Визначення функції належності

$\mu_i$	Інтервал, од.									
	0–0,1	0,1–0,2	0,2–0,3	0,3–0,4	0,4–0,5	0,5–0,6	0,6–0,7	0,7–0,8	0,8–0,9	0,9–1
$\mu_1$	1	0,67	0,16	0	0	0	0	0	0	0
$\mu_2$	0	0,40	1	0,94	0,26	0	0	0	0	0
$\mu_3$	0	0	0	0,21	0,78	1	0,45	0	0	0
$\mu_4$	0	0	0	0	0	0	0,64	1	0,53	0
$\mu_5$	0	0	0	0	0	0	0	0,14	0,54	1

З отриманої діаграми можна визначити кількісні показники, які відповідають значенням лінгвістичної змінної «рівень ризику» (табл. 2.23).

Таблиця 2.23

## Кількісні показники «рівня ризику» в задачах ПР

№ з/п	Умови польоту ПК	Якісна оцінка ризику	Кількісна оцінка ризику
1	Нормальні умови польоту	Дуже малий ризик	0,1
2	Ускладнені умови польоту	Малий ризик	0,35
3	Складній ситуації	Середній ризик	0,6
4	Аварійна ситуації	Великий ризик	0,8
5	Катастрофічній ситуації	Дуже великий ризик	1

Функції належності після другого туру експертного опитування показано на рис. 2.26.

Визначимо ступінь  $1 - \alpha$  [113] між нечіткими визначеннями рівня ризику для першого й другого турів експертного опитування (табл. 2.24). Після проведення другого туру опитування ступінь розділення  $1 - \alpha$  збільшилась, що свідчить про більш чітке визначення експертами наведених лінгвістичних змінних. Те, що отримані після першого туру



кількісні показники рівня ризику не змінилися, дає підставу закінчити експертизу після проведення всього однієї ітерації.



Рис. 2.26. Функції належності значення лінгвістичної змінної «рівень ризику» (після другого туру)

Визначимо коефіцієнт конкордації за Кендалом [98; 99]: після першого туру  $W_1 = 0,961$ ; після другого туру  $W_2 = 0,982$ . Отримане значення  $W$  свідчать про високу узгодженість думок експертів у групі. Застосування функцій належності в умовах нечіткої інформації дозволяє формалізувати якісні характеристики рівня ризику.

Таблиця 2.24

**Ступінь розділення між нечіткими визначеннями рівня ризику**

Лінгвістичні змінні, що оцінюються	Ступінь розділення $1-\alpha$	
	Перший тур	Другий тур
Дуже малий ризик / малий ризик	$1 - 0,545 = 0,455$	$1 - 0,560 = 0,440$
Малий ризик / середній ризик	$1 - 0,540 = 0,460$	$1 - 0,561 = 0,439$
Середній ризик / великий ризик	$1 - 0,540 = 0,460$	$1 - 0,547 = 0,453$
Великий ризик / дуже великий ризик	$1 - 0,535 = 0,465$	$1 - 0,545 = 0,455$

Функція ризику для оцінювання величини середніх збитків, що визначаються на просторі наслідків спостережень  $X = |x_1 x_2|$ , задається у вигляді:

$$R = \sum_x G(x)(Y; A)P(x/Y)P(Y),$$

де  $G = \begin{vmatrix} 0 & G_{12} \\ G_{21} & 0 \end{vmatrix}$  - платіжна матриця збитків, які зазнає пілот в результаті певних дій;  $P(x/Y)$  - умовний розподіл  $X$ ;  $P(Y)$  - апріорний розподіл  $Y$ ,  $P(Y_1)=P(Y_2)=0,5$ .

Структурне зображення процесу ПР пілотом ПК у разі отримання сигналу про пожежу двигуна показано на рис. 2.27. Для дійсного спрацьовування табло на підставі аналізу статистики у випадку пожежі двигуна типу AI-25 використано такі умовні ймовірності:  $P(x_1/Y_1)=0,58$ ;  $P(x_2/Y_1)=0,42$ .

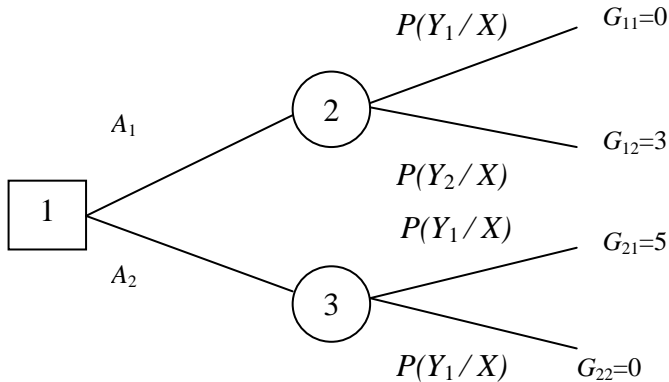


Рис. 2.27. Структурне зображення процесу ПР пілотом у разі отримання сигналу про пожежу двигуна

Ризик у випадку прийняття пілотом рішення про вимкнення двигуна:

$$R(A_1) = G_{11}(P(x_1/Y_1) \cdot P(Y_1) + P(x_2/Y_1)P(Y_1)) + G_{12}(P(x_1/Y_2)P(Y_2) + P(x_2/Y_2)P(Y_2))$$

$$R(A_1) = 3 \cdot (1 \cdot 0,5 + 0 \cdot 0,5) = 1,5 \text{ ум. од.}$$

Ризик у разі прийняття пілотом рішення не вимикати двигун:

$$\begin{aligned} R(A_2) &= G_{21}(P(x_1 / Y_1)P(Y_1) + P(x_2 / Y_1)P(Y_1)) + \\ &+ G_{22}(P(x_1 / Y_2)P(Y_2) + P(x_2 / Y_2)P(Y_2)) \quad ; \\ R(A_2) &= 5 \cdot (0,58 \cdot 0,5 + 0,42 \cdot 0,5) = 2,5 \text{ ум. од.} \end{aligned}$$

Тобто,  $R(A_2) > R(A_1)$ , тому оптимальним рішенням пілота є відключити двигун. Розрахунок ризиків ПР пілотом у разі отримання сигналу про пожежу двигуна наведено в табл. 2.28. Якщо пілот допустить помилку першого роду – вирішить вимкнути двигун, хоча насправді табло спрацювало хибно, – це призведе до деякого економічно оцінюваного збитку  $R_1$  (збільшення польотного часу і витрат палива, вимушеної посадки на найближчому аеродромі). Якщо ж буде допущена помилка другого роду – пілот вирішить не вимикати двигун, хоча насправді табло спрацювало вірно, – то може трапитись катастрофа. Ризик у разі прийняття помилкового рішення в цьому випадку  $R_2 \gg R_1$ . Зазначені способи оцінювання ризику – за допомогою критерію очікуваного значення (заснованого на апріорних або апостеріорних ймовірностях), модифікованого критерію «очікуване значення – дисперсія», мінімаксного і традиційного підходів, а також *фуцці-логіки* – дозволять використовувати в автоматизованій системі діагностики один з критеріїв оцінювання помилкових дій оператора АНС в ОВП ступеня ризику виникнення небажаних наслідків у результаті реалізації оператором певного рішення на кожному кроці виконання відповідного завдання. Застосування структурно-динамічного підходу, що реалізується у вигляді дерева рішень, під час оперативного управління та розроблення навчальних вправ для тренажерів дозволить відображати динаміку розвитку ситуацій, а також підвищить інформативність одержуваної оцінки.

Таблиця 2.28

**Розрахунок ризиків ПР пілотом у разі отриманні сигналу про пожежу двигуна**

<b>Входи стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП</b>				
$x_1$	Параметри двигуна в нормі (гіпотеза про пожежу хибна)	$P(Y_1)$	Імовірність дійсного спрацювання світлового табло «Пожежа»	0,5
$x_2$	Параметри двигуна вийшли за межі норми (гіпотеза про пожежу правильна)	$P(Y_2)$	Імовірність хибного спрацювання світлового табло «Пожежа»	0,5
$Y_1$	Дійсне спрацювання світлового табло «Пожежа»	$P(x_1/Y_1)$	Імовірність того, що параметри двигуна в нормі в разі дійсного спрацювання світлового табло «Пожежа»	0,5 8
$Y_2$	Хибне спрацювання світлового табло «Пожежа»	$P(x_2/Y_1)$	Імовірність того, що параметри двигуна вийшли за межі норми у разі дійсного спрацювання світлового табло «Пожежа»	0,4 2
<b>Критерій ефективності – величина потенційного збитку в разі ПР пілота</b>				
Збитки в разі правильних дій Л-О		Збитки в разі неправильних дій		
$G_{11}$	Збитки за дій Л-О вимкнуті двигун (дійсне спрацювання табло) = 0	$G_{12}$	Збитки за дій Л-О вимкнуті двигун (хибне спрацювання табло) = 3	3
$G_{22}$	Збитки за дій Л-О не вимкати двигун (хибне спрацювання табло) = 0	$G_{21}$	Збитки за дій Л-О не вимкати двигун (дійсне спрацювання табло) = 5	5
<b>Виходи стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП</b>				
$R(A_1)$	Ризик у випадку прийняття пілотом рішення про відключення двигуна	$R(A_1) = G_{11}(P(x_1/Y_1) \cdot P(Y_1) + P(x_2/Y_1)P(Y_1)) + G_{12}(P(x_1/Y_2)P(Y_2) + P(x_2/Y_2)P(Y_2))$		
$R(A_2)$	Ризик у разі прийняття пілотом рішення не відключати двигун	$R(A_2) = G_{21}(P(x_1/Y_1)P(Y_1) + P(x_2/Y_1)P(Y_1)) + G_{22}(P(x_1/Y_2)P(Y_2) + P(x_2/Y_2)P(Y_2))$		
		$R(A_2) > R(A_1)$		

Можливе використання існуючих підходів до оцінювання ризику для інформаційної підтримки оператора АНС в ОВП у вигляді рекомендацій з указанням кількісної та якісної оцінки можливих стратегій дій і ступеня ризику виникнення обтяжливих обставин.

У разі ОВП виникає потреба у вирішенні задачі оптимального завершення польоту, яка являє собою багатокроковий процес, який можна декомпонувати як «за вертикаллю», так і «за горизонталлю». Множина кроків ПР оператором у цій ситуації формально виражається номерами елементів декартового добутку [134]:

$$\Theta^e \times \Theta_{\theta^e}^c \rightarrow \{\theta\},$$

де  $\Theta^e = \{\theta^e\}$  – множина рівнів ПР «вертикальної» декомпозиції;  
 $\Theta^c = \{\theta^c\}$  – множина кроків ПР «горизонтальної» декомпозиції  
 рівня  $\theta^e \in \Theta^e$ .

Задачу вибору оператором оптимального варіанта завершення польоту структурно можна представити у вигляді дерева рішень [28; 107; 155], де 1 – можливості продовження польоту до аеродрому призначення і оцінка критичного часу польоту ПК; 2 – виду потенційного місця посадки (аеродром або майданчик); 3 – типу аеродрому (запасний, в т.ч. аеродром вильоту, або найближчий); 4 – типу майданчика (попередньо визначений або підібраний з повітря); 5, 6 – технічної придатності потенційного місця посадки; 7, 8, 9, 10 – придатності потенційного місця посадки за метеорологічними умовами (рис. 2.29).

Спосіб оцінки ефективності альтернативних рішень дозволяє визначити оптимальний варіант з мінімальним ризиком при обмеженому часі польоту  $t_{\text{пол}}$  до місця посадки, який не перевищує критичний час  $t_{\text{крит}}$ :

$$A_{\text{opt}}(t) = \min\{R_i\} = \min\left\{\sum_{j=1}^m g_{ij} p_{ij}\right\}, \quad i = \overline{1, n},$$

з обмеженням  $t_{\text{пол}} \leq t_{\text{крит}}$ ,

де  $g_{ij}$  – величина потенційного збитку  $j$ -го наслідку при реалізації  $i$ -го альтернативного рішення;  $p_{ij}$  – імовірність виникнення  $j$ -го наслідку в результаті реалізації  $i$ -го альтернативного рішення.

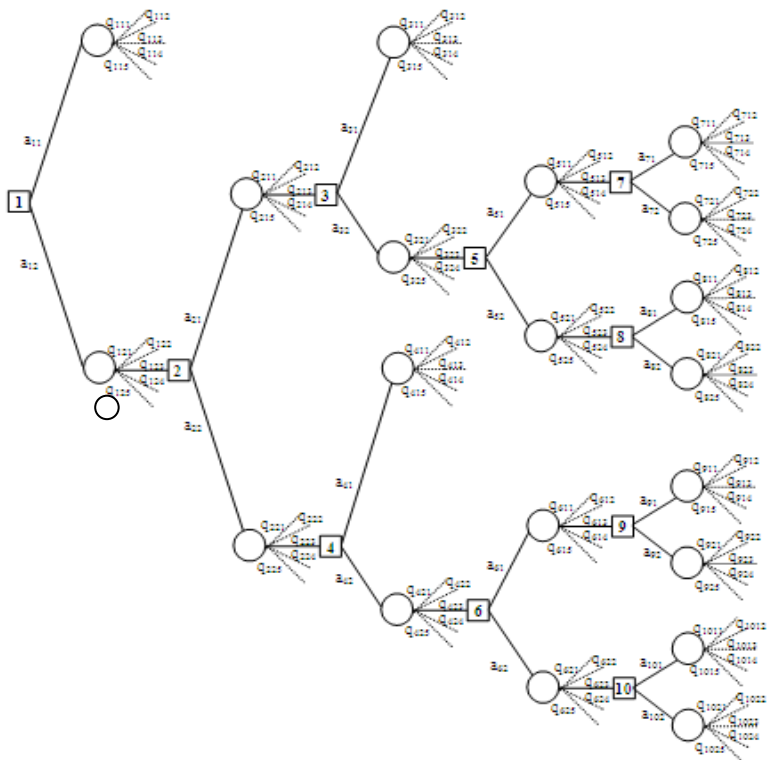


Рис. 2.29. Структурне зображення процесу ПР в задачі вибору оптимального варіанта завершення польоту

На дереві рішень маємо наступні альтернативні варіанти:

- $a_{11}$  – продовження польоту до аеродрому призначення;
- $a_{12}$  – вимушена посадка;
- $a_{21}$  – посадка на аеродромі;
- $a_{22}$  – посадка на майданчику;
- $a_{31}$  – посадка на запасному аеродромі;

- $a_{32}$  – посадка на найближчому аеродромі;
- $a_{41}$  – посадка на попередньо визначеному майданчику;
- $a_{42}$  – посадка на підбраному з повітря майданчику;
- $a_{51}$  – посадка на найближчому технічно придатному аеродромі;
- $a_{52}$  – посадка на найближчому технічно непридатному аеродромі;
- $a_{61}$  – посадка на підбраному з повітря майданчику з придатною поверхнею;
- $a_{62}$  – посадка на підбраному з повітря майданчику з непридатною поверхнею;
- $a_{71}$  – посадка на найближчому технічно придатному аеродромі з придатними метеоумовами;
- $a_{72}$  – посадка на найближчому технічно придатному аеродромі з непридатними метеоумовами;
- $a_{81}$  – посадка на найближчому технічно непридатному аеродромі з придатними метеоумовами;
- $a_{82}$  – посадка на найближчому технічно непридатному аеродромі з непридатними метеоумовами;
- $a_{91}$  – посадка на підбраному з повітря майданчику з придатною поверхнею і придатними метеоумовами;
- $a_{92}$  – посадка на підбраному з повітря майданчику з придатною поверхнею і непридатними метеоумовами;
- $a_{101}$  – посадка на підбраному з повітря майданчику з непридатною поверхнею і придатними метеоумовами;
- $a_{102}$  – посадка на підбраному з повітря майданчику з непридатною поверхнею і непридатними метеоумовами.

Фрагмент дерева рішень для першої вершини-рішення  $A_1$ , де оцінюється критичний час польоту ПК і приймається рішення про можливість продовження польоту до аеродрому призначення ( $a_{11}$ ) або необхідність виконання вимушеної посадки ( $a_{12}$ ), надано на рис. 2.30. Суть задачі оптимізації вибору альтернативного варіанта завершення польоту в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки ПК, полягає в тому, щоб з множини потенційних стратегій завершення польоту  $A_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $n = 10$  знайти оптимальне для

даного інтервалу часу  $t$  альтернативне рішення  $A_{opt}(t)$  з мінімальним ризиком  $R_{min}$ .

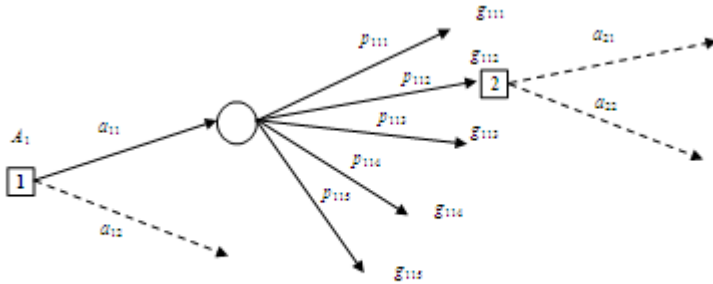


Рис. 2.30. Фрагмент дерева рішень в задачі вибору оптимального варіанта завершення польоту

Реалізація оператором авіаційної людино-машинної системи  $i$ -ї альтернативи завершення польоту  $a_i$  може привести до  $m$ -вимірному векторному простору різних *можливих наслідків*  $\overline{Q}_i = \{q_{i1}, q_{i2}, q_{i3}, q_{i4}, q_{i5}\} = \{q_{ij}\}$  [134], ступінь важкості яких зумовлюється ступенем відхилення від нормального функціонування ПК, екіпажу, служб управління і забезпечення польотів, впливом зовнішнього середовища,  $i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$ :

1) економічних витрат, зумовлених зміною плану польоту (додаткові витрати часу та пального), без відхилення від стандартної процедури виконання посадки;

2) інциденту, який супроводжується відхиленням від стандартної процедури виконання посадки, але не закінчується пошкодженням ПК або загибеллю людей на борту (наприклад, викачування ПК за межі ЗПС);

3) поломки авіаційної техніки, яка супроводжується руйнуванням або пошкодженням будь-якої частини ПК, але без порушення загальної міцності його конструкції (локалізоване руйнування двигуна, якщо пошкоджений тільки він, пошкодження повітряних гвинтів, несилкових елементів планера,



несучих і кермових гвинтів, обтічників, закінцівок, шибок, антен та інших деталей, що виступають, пневматиків і гальмівних пристроїв шасі й т. ін.);

4) аварії, яка не призводить до загибелі осіб, що перообували на борту, але як наслідок ПК отримує пошкодження силових елементів планера або здійснює посадку на місцевість, евакуація з якої є технічно неможливою або недоцільною;

5) катастрофи, що призводить до загибелі або зникнення без вісті будь-якої особи з-поміж тих, хто перебував на борту ПК.

Кожний наслідок  $q_{ij}$  характеризується величиною потенційного збитку  $g_{ij}$  і ймовірністю  $p_{ij}$  виникнення  $j$ -го збитку в результаті реалізації  $i$ -ї альтернативи  $\bar{Q} = f(\bar{G}, \bar{P})$ . Величина потенційного збитку  $g_{ij}$ , що залежить від важкості можливих наслідків, отримано за допомогою апарату теорії нечітких множин. Кількісні показники, що визначають якісні характеристики величини можливого збитку, наступні [136]:

1. Економічним витратам відповідає кількісне значення потенційного збитку  $g_1 = 10$  од.

2. Інцидентам  $g_2 = 30$  од.

3. Поломкам авіаційної техніки  $g_3 = 50$  од.

4. Аваріям  $g_4 = 80$  од.

5. Катастрофам  $g_5 = 100$  од.

Для оцінки ризику альтернативних варіантів вводяться такі залежності,  $j = 1, m$ :

$q_{11j} \in Q_1(k_{НС}, k_{кр})$ , де  $Q_1$  – множина наслідків альтернативи  $a_{11}$ ;

$q_{12j} \in Q_2(k_{НС}, k_{кр})$ , де  $Q_2$  – множина наслідків альтернативи  $a_{12}$ ;

$q_{21j} \in Q_3(k_{НС}, k_{кр}, k_{тр}, k_{доп})$ , де  $Q_3$  – множина наслідків альтернативи  $a_{21}$ ;

$q_{22j} \in Q_4(k_{НС}, k_{кр}, k_{тр}, k_{доп})$ , де  $Q_4$  – множина наслідків альтернативи  $a_{22}$ ;

$q_{31j} \in Q_5(k_{НС}, k_{кр}, k_{тр}, k_{доп})$ , де  $Q_5$  – множина наслідків альтернативи  $a_{31}$ ;

$q_{32j} \in Q_6(k_{НС}, k_{кр}, k_{тр}, k_{доп})$ , де  $Q_6$  – множина наслідків альтернативи  $a_{32}$ ;

$q_{41j} \in Q_7(k_{\text{НС}}, k_{\text{кр}}, k_{\text{тр}}, k_{\text{доп}})$ , де  $Q_7$  – множина наслідків альтернативи  $a_{41}$ ;

$q_{42j} \in Q_8(k_{\text{НС}}, k_{\text{кр}}, k_{\text{тр}}, k_{\text{доп}})$ , де  $Q_8$  – множина наслідків альтернативи  $a_{42}$ ;

$q_{51j} \in Q_9(k_{\text{НС}}, k_{\text{кр}}, k_{\text{тр}}, k_{\text{доп}}, k_{\text{рем}}, k_{\text{зв}}, k_{\text{пов}}, k_{\text{довж}}, k_{\text{РТЗ}})$ , де  $Q_9$  – множина наслідків альтернативи  $a_{51}$ ;

$q_{52j} \in Q_{10}(k_{\text{НС}}, k_{\text{кр}}, k_{\text{тр}}, k_{\text{доп}}, k_{\text{рем}}, k_{\text{зв}}, k_{\text{пов}}, k_{\text{довж}}, k_{\text{РТЗ}})$ , де  $Q_{10}$  – множина наслідків альтернативи  $a_{52}$ ;

$q_{61j} \in Q_{11}(k_{\text{НС}}, k_{\text{кр}}, k_{\text{тр}}, k_{\text{доп}}, k_{\text{пер}}, k_{\text{ПП}})$ , де  $Q_{11}$  – множина наслідків альтернативи  $a_{61}$ ;

$q_{62j} \in Q_{12}(k_{\text{НС}}, k_{\text{кр}}, k_{\text{тр}}, k_{\text{доп}}, k_{\text{пер}}, k_{\text{ПП}})$ , де  $Q_{12}$  – множина наслідків альтернативи  $a_{62}$ ;

$q_{71j} \in Q_{13}(k_{\text{НС}}, k_{\text{кр}}, k_{\text{тр}}, k_{\text{доп}}, k_{\text{рем}}, k_{\text{зв}}, k_{\text{пов}}, k_{\text{довж}}, k_{\text{РТЗ}}, k_v, k_{\text{НМХ}}, k_{\text{НМЯ}}, k_{U,\delta})$ , де  $Q_{13}$  – множина наслідків альтернативи  $a_{71}$ ;

$q_{72j} \in Q_{14}(k_{\text{НС}}, k_{\text{кр}}, k_{\text{тр}}, k_{\text{доп}}, k_{\text{рем}}, k_{\text{зв}}, k_{\text{пов}}, k_{\text{довж}}, k_{\text{РТЗ}}, k_v, k_{\text{НМХ}}, k_{\text{НМЯ}}, k_{U,\delta})$ , де  $Q_{14}$  – множина наслідків альтернативи  $a_{72}$ ;

$q_{81j} \in Q_{15}(k_{\text{НС}}, k_{\text{кр}}, k_{\text{тр}}, k_{\text{доп}}, k_{\text{рем}}, k_{\text{зв}}, k_{\text{пов}}, k_{\text{довж}}, k_{\text{РТЗ}}, k_v, k_{\text{НМХ}}, k_{\text{НМЯ}}, k_{U,\delta})$ , де  $Q_{15}$  – множина наслідків альтернативи  $a_{81}$ ;

$q_{82j} \in Q_{16}(k_{\text{НС}}, k_{\text{кр}}, k_{\text{тр}}, k_{\text{доп}}, k_{\text{рем}}, k_{\text{зв}}, k_{\text{пов}}, k_{\text{довж}}, k_{\text{РТЗ}}, k_v, k_{\text{НМХ}}, k_{\text{НМЯ}}, k_{U,\delta})$ , де  $Q_{16}$  – множина наслідків альтернативи  $a_{82}$ ;

$q_{91j} \in Q_{17}(k_{\text{НС}}, k_{\text{кр}}, k_{\text{тр}}, k_{\text{доп}}, k_{\text{пер}}, k_{\text{ПП}}, k_v, k_{\text{НМХ}}, k_{\text{НМЯ}}, k_{U,\delta})$ , де  $Q_{17}$  – множина наслідків альтернативи  $a_{91}$ ;

$q_{92j} \in Q_{18}(k_{\text{НС}}, k_{\text{кр}}, k_{\text{тр}}, k_{\text{доп}}, k_{\text{пер}}, k_{\text{ПП}}, k_v, k_{\text{НМХ}}, k_{\text{НМЯ}}, k_{U,\delta})$ , де  $Q_{18}$  – множина наслідків альтернативи  $a_{92}$ ;

$q_{101j} \in Q_{19}(k_{\text{НС}}, k_{\text{кр}}, k_{\text{тр}}, k_{\text{доп}}, k_{\text{пер}}, k_{\text{ПП}}, k_v, k_{\text{НМХ}}, k_{\text{НМЯ}}, k_{U,\delta})$ , де  $Q_{19}$  – множина наслідків альтернативи  $a_{101}$ ;

$q_{102j} \in Q_{20}(k_{\text{НС}}, k_{\text{кр}}, k_{\text{тр}}, k_{\text{доп}}, k_{\text{пер}}, k_{\text{ПП}}, k_v, k_{\text{НМХ}}, k_{\text{НМЯ}}, k_{U,\delta})$ , де  $Q_{20}$  – множина наслідків альтернативи  $a_{102}$ .

Розкриємо сутність чинників, що впливають на вибір оптимальної альтернативи завершення польоту на кожному кроці прийняття рішення [136]:

$k_{\text{НС}}$  – коефіцієнт, що характеризує ступінь небезпеки ситуації на борту ПК;

$k_{\text{кр}}$  – коефіцієнт, що характеризує критичний час польоту ПК;

$k_{\text{тр}}$  – коефіцієнт, що враховує поінформованість пілота щодо місця посадки (МП) і складність процедур приземлення;

$k_{\text{доп}}$  – коефіцієнт, що характеризує ефективність проведення операції пошуку і рятування;

$k_{\text{рем}}$  – коефіцієнт, що характеризує наявність ремонтних робіт на ЗПС;

$k_{\text{зв}}$  – коефіцієнт, що враховує можливість звільнення ЗПС до моменту виконання вимушеної посадки ПК;

$k_{\text{пов}}$  – коефіцієнт, що характеризує стан поверхні ЗПС;

$k_{\text{довж}}$  – коефіцієнт, що характеризує відповідність між потрібною і фактичною довжиною ЗПС;

$k_{\text{РТЗ}}$  – коефіцієнт, що характеризує наявність на аеродромі радіотехнічних засобів посадки та їх працездатність;

$k_{\text{пер}}$  – коефіцієнт, що характеризує наявність перешкод та населених пунктів на даній ділянці місцевості;

$k_{\text{ПП}}$  – коефіцієнт, що характеризує тип підстилаючої поверхні даної місцевості;

$k_v$ ,  $k_{\text{НМХ}}$ ,  $k_{\text{НМЯ}}$  – коефіцієнти, що характеризують наявні метеорологічні умови (видимість, висоту нижньої межі хмарності, небезпечні метеорологічні явища);

$k_{U,\delta}$  – коефіцієнт, що характеризує швидкість і напрямок вітру.

Зазначені коефіцієнти залежать від заданих характеристик і умов розвитку конкретної ситуації. Імовірність виникнення певної небажаної події  $P$  є добутком ймовірностей двох незалежних подій:

$$P = p_{\text{заг}} p_{\text{КС}},$$

де  $p_{\text{заг}}$  – загальна ймовірність виникнення певного наслідку прийняття рішень;  $p_{\text{КС}}$  – імовірність виникнення певного наслідку прийняття рішень для конкретної ситуації.

Ефективність альтернативних варіантів завершення польоту оцінюється на основі двошарової прямонаправленої штучної нейромережі (ШНМ) (двошарового персептрона) (рис. 2.31, табл. 2.24) та відрізняється від відомих тим, що дає можливість з більшим ступенем точності в реальному часі визначати величину можливого збитку завдяки комплексному врахуванню впливу різних за важливістю окремих факторів, які характеризують потенційне місце виконання вимушеної посадки [68; 76; 78; 130; 166; 283; 284; 292].

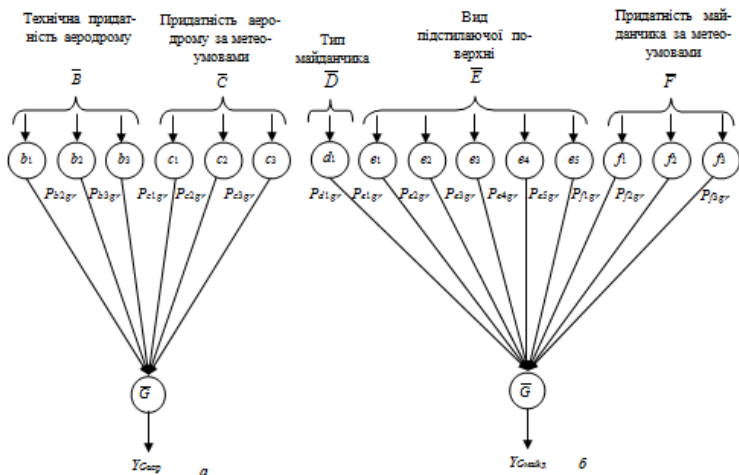


Рис. 2.31. Нейромержева модель оцінювання ефективності потенційних альтернатив завершення польоту: *a* – потенційна альтернатива завершення польоту – аеродром; *б* – потенційна альтернатива завершення польоту – майданчик

Таблиця 2.24

**Параметри ШНМ оцінювання ефективності альтернативних варіантів завершення польоту**

Входи ШНМ – характеристики потенційних місць посадки ПК (аеродром, майданчик)			
Аеродром	$\bar{B}$	$\bar{B} = \{b_i\}, i = \bar{1,3}$	Технічна придатність аеродрому
	$\bar{C}$	$\bar{C} = \{c_j\}, j = \bar{1,3}$	Придатність аеродрому за метеорологічними умовами
Майданчик	$\bar{D}$	$\bar{D} = \{d_k\}, k = \bar{1,1}$	Тип майданчика
	$\bar{E}$	$\bar{E} = \{e_l\}, l = \bar{1,5}$	Вид підстилаючої поверхні
	$\bar{F}$	$\bar{F} = \{f_m\}, m = \bar{1,3}$	Придатність майданчика за метеорологічними умовами

Критерій ефективності – величина потенційного збитку			
$\bar{G} = \{g_r\},$ $r = 1,5$	$g_1$	Витрати пального – 10 од.	Дуже малий збиток
	$g_2$	Інцидент – 30 од	Малий збиток
	$g_3$	Поломка – 50 од	Середній збиток
	$g_4$	Аварія – 80 од	Великий збиток
	$g_5$	Катастрофа – 100 од	Дуже великий збиток
Виходи ШНМ – альтернативні варіанти завершення польоту $Y_G$			
Аеродром	$Y_{\text{Гаер}}$	$f_G([\bar{B} \cup \bar{C}]P_{BC,G})$	Ефективність завершення польоту на аеродром
Майданчик	$Y_{\text{Гмайд}}$	$f_G([\bar{D} \cup \bar{E} \cup \bar{F}]P_{DEF,G})$	Ефективність завершення польоту на майданчик

*Вхідними параметрами нейромережевої моделі* є фактори, що характеризують потенційну альтернативу завершення польоту [139; 140; 143; 303].

Якщо потенційною альтернативою завершення польоту є аеродром, входи ШНМ наступні:

–  $\bar{B}$  – *технічна придатність аеродрому*,  $\bar{B} = \{b_i\}$ ,  $i = \overline{1,3}$ :

$b_1$  – відповідність довжини злітно-посадкової смуги (ЗПС) на аеродромі довжині смуги, потрібній для виконання посадки даного типу ПК;

$b_2$  – придатність поверхні ЗПС;

$b_3$  – працездатність радіотехнічних засобів посадки.

–  $\bar{C}$  – *придатність аеродрому за метеорологічними умовами*,  $\bar{C} = \{c_j\}$ ,  $j = \overline{1,3}$ :

$c_1$  – наявність небезпечних метеорологічних явищ;

$c_2$  – відповідність метеорологічних умов на аеродромі установленим мінімумам для посадки;

$c_3$  – відповідність складових вітру встановленим гранично допустимим.

Якщо потенційна альтернатива завершення польоту – майданчик, входами ШНМ є:

–  $\bar{D}$  – *тип майданчика*,  $\bar{D} = \{d_k\}$ ,  $k = \overline{1,1}$ :

$d_1$  – попередньо визначений або підібраний з повітря майданчик.

–  $\bar{E}$  – вид підстилаючої поверхні,  $\bar{E} = \{e_l\}$ ,  $l = \overline{1,5}$ :

$e_1$  – рівнинна;

$e_2$  – лісна;

$e_3$  – горна;

$e_4$  – водна;

$e_5$  – пустельна.

–  $\bar{F}$  – придатність майданчика за метеорологічними умовами,  $\bar{F} = \{f_m\}$ ,  $m = \overline{1,3}$ :

$f_1$  – наявність небезпечних метеорологічних явищ;

$f_2$  – відповідність метеорологічних умов майданчика встановленим мінімумам для посадки,

$f_3$  – відповідність складових вітру встановленим гранично допустимим.

У відповідність кожному вхідному параметру ставиться бінарний вектор, який відображає наявність (1) або відсутність (0) певного фактора.

**Вихідним параметром нейромережевої моделі** є визначена за допомогою функцій належності величина потенційного збитку, що відповідає вибору певного альтернативного варіанта завершення польоту  $\bar{G}$ ,  $\bar{G} = \{g_r\}$ ,  $r = \overline{1,5}$ . За критерій ефективності альтернативних варіантів завершення польоту  $Y_G$  прийнятий потенційний збиток внаслідок вибору певного альтернативного рішення при обмеженому часі польоту  $t_{\text{пол}} \leq t_{\text{крит}}$ :

$$Y_{G_{\text{аер}}} = f_G([\bar{B} \cup \bar{C}]P_{BC,G});$$

$$Y_{G_{\text{майд}}} = f_G([\bar{D} \cup \bar{E} \cup \bar{F}]P_{DEF,G}),$$

де  $f_G$  – 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 реалізації певного рішення на дереві рішень  $p_{ij}$ .

Оптимальний варіант завершення польоту з мінімальним ризиком обирається на основі мінімізації потенційного збитку:

$$Y_{\text{Opt}} = \min f_G(\bar{G})$$

Навчання ШНМ відбувалось шляхом модифікації вагових коефіцієнтів зв'язків між нейронами до моменту, коли помилка досягає мінімального значення й перестав зменшуватись. Методом навчання ШНМ було обране навчання з вчителем процедурою оберненого поширення помилки [23], суть якого полягає в поширенні помилки від виходів мережі до входів в напрямку, оберненому поширенню сигналів у персептроні. Для навчання використовувалась нелінійна сигмоїдна функція активації:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}},$$

де  $a > 0$ .

Вихідні поля для навчання мережі оцінювались методом найменших квадратів з люфтом, коли цільовою функцією помилки ШНМ, що мінімізується, є величина:

$$\xi = \sum_j P\left(\frac{Y_j - Y'_j}{\varepsilon}\right),$$

$$P(\Delta) = \begin{cases} (|\Delta| - 1)^2, & \text{якщо } |\Delta| \geq 1 \\ 0, & \text{якщо } |\Delta| < 1 \end{cases},$$

де  $Y_j$  та  $Y'_j$  – відповідно, вихід згідно з навчальною вибіркою і вихід нейронної мережі;  $\varepsilon$  – люфт, який може змінюватись від нуля до межі діапазону змін значень вихідного поля. Мережа навчена передбачати значення цього поля з точністю  $\pm 10\%$  від діапазону зміни значень потенційного збитку, що цілком задовольняє постановку задачі.

### Алгоритм навчання персептронів

1. Прорініціювати елементи вагової матриці випадковими числами в інтервалі [0-1].

2. Подати на вхід бінарний вектор вхідних компонентів  $\bar{B}$ ,  $\bar{C}$  ( $\bar{D}$ ,  $\bar{E}$ ,  $\bar{F}$ ) і вирахувати виходи мережі, що розглядається.

3. Якщо вихід правильний, тобто ШНМ навчилася розрізняти входи, то перейти до п. 5, інакше – обчислити різницю між необхідним і отриманим значенням виходів  $\xi$ .

4. Модифікувати ваги відповідно до формули:

$$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \eta \xi x_i,$$

де  $t$  і  $(t+1)$  – номери поточної та наступної ітерації;  $\eta$  – коефіцієнт швидкості навчання,  $0 < \eta < 1$ ;  $x_i$  – номер  $i$ -го входу;  $j$  – номер нейрона у вихідному шарі.

5. Повторити цикл з п. 2, поки на виході мережі не одержимо  $Y_j = Y'_j$  або  $\xi$ , що задовольняє постановку задачі.

6. Кінець.

Для навчання ШНМ був використаний алгоритм градієнтного спуску зі збуренням, який дозволяє подолати локальні нерівності поверхні помилки і не зупинятися на локальних мінімумах. Метод зворотного поширення з урахуванням збурення реалізує таке нарощення вагових коефіцієнтів:

$$\delta W_{ij}(t) = \phi \delta W_{ij}(t-1) + (1 - \phi) \eta g(t),$$

де  $\delta$  – приріст вектора ваг;  $\phi$  – параметр збурення;  $\eta$  – коефіцієнт швидкості навчання,  $0 < \eta < 1$ ;  $g(t)$  – вектор градієнта функціонала помилки на  $t$ -й ітерації.

Ефективність залежатиме від типу потенційного місця посадки та від того, які саме фактори його характеризують. Вхідні компоненти  $\bar{B}$ ,  $\bar{C}$ ,  $\bar{D}$ ,  $\bar{E}$ ,  $\bar{F}$  і відповідний їм вихід  $\bar{G}$  задані з статистичних даних за 8-річний період, отриманих з бюлетенів стану безпеки польотів Державіаслужби України. Для навчання ШНМ оцінюванню потенційного збитку у випадку вимушеної посадки на аеродромі була підготовлена вибірка з 60 зразків наслідків виконання вимушених посадок у межах області досяжності ПК та відповідних їм факторів, що характеризують потенційне місце посадки, а оцінюванню потенційного збитку у випадку вимушеної посадки на майданчику – 90 зразків [136].



Спосіб оцінювання ефективності альтернативних варіантів завершення польоту ПК в позаштатних ситуаціях можна подати у вигляді схеми (рис. 2.32).

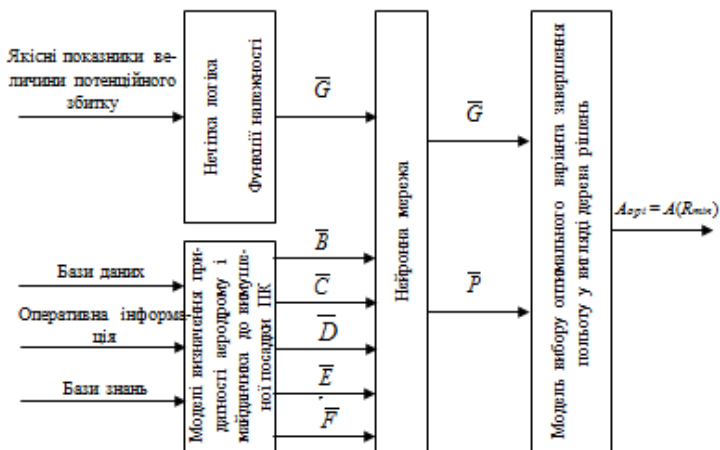


Рис. 2.32. Оцінювання ефективності альтернативних варіантів завершення польоту ПК в позаштатних ситуаціях

Бази даних містять *статичну інформацію*.

До *статичної інформації про ПК* відносяться тактико-технічні характеристики ПК:

- кількість, тип та розташування двигунів;
- горизонтальні й вертикальні швидкості за етапами та висотами польоту;
- максимальний кут крену;
- аеродинамічна якість;
- нормативна посадкова маса ПК;
- мінімум ПК для посадки;
- допустимий стан ЗПС;
- необхідна для посадки довжина ЗПС в стандартних умовах;
- допустимі складові вітру для посадки, та планові дані, які система отримує з попередньо оформленого і поданого до служби руху плану польоту ПК:
- тип ПК;

- мінімум командира ПК для посадки.

До *статичної інформації про аеродроми* відносяться наступні дані:

- координати аеродрому;
- висота аеродрому;
- мінімум аеродрому;
- кількість і тип ЗПС (штучна або ґрунтова);
- довжина ЗПС;
- посадковий шляховий кут ЗПС;
- нахил ЗПС.

До *статичної інформації про місцевість* відносяться:

- тип майданчика для посадки;
- координати майданчика;
- наявність перешкод і населених пунктів;
- тип підстилаючої поверхні.

Оперативна інформація надає можливість отримати *динамічні дані*.

*Оперативна інформація про ПК* включає моніторингові дані, які отримують в процесі безпосереднього спостереження за ПК:

- тип ситуації;
- стан ПК;
- висота ПК;
- координати ПК;
- курс польоту ПК;
- фактична посадкова маса ПК.

До *оперативної інформації про аеродроми* відноситься:

– стан ЗПС (наявність ремонтних робіт, час звільнення ЗПС, коефіцієнт зчеплення, наявність снігу, сльоти, води, льоду, вологість і міцність ґрунту, міцність снігу);

– стан радіотехнічних засобів посадки (працездатність або непрацездатність);

– метеорологічні умови на аеродромі (небезпечні явища погоди, хмарність і видимість, напрямок і сила вітру, фактична температура).

До *оперативної інформації про місцевість* відносяться метеорологічні дані: небезпечні явища погоди, хмарність і видимість, напрямок і сила вітру.

Бази знань містять *правила* перетворень статичної та

динамічної інформації на виходи моделей визначення придатності аеродромів і майданчиків до виконання вимушеної посадки ПК.

Згідно зі статистичними даними, якщо загальну ймовірність  $p_{\text{заг}}$  виникнення інциденту, що не потребує зміни плану польоту, прийняти рівною 1, ймовірність того, що трапиться вимушена посадка, становитиме 0,7, ймовірність поломки авіаційної техніки – 0,05, ймовірність аварії й катастрофи – 0,003 [134].

Застосування функцій належності в умовах нечіткої інформації дозволяє формалізувати якісні характеристики потенційного збитку, що можливий у результаті розвитку особливого випадку  $g_i$ , і ймовірності виникнення небажаних наслідків  $p$ , яким відповідає певний збиток, для конкретної ситуації прийняття рішень. Маючи в розпорядженні значення експериментальних параметрів моделі  $g_i$  і  $p_i$ , можна моделювати процес вибору оператором оптимального варіанта завершення польоту для будь-якого ОВП і будь-яких заданих умов.

Спрощений алгоритм побудови моделі ПР Л-О в умовах стохастичної невизначеності ОВП наданий в програмі курсів «Інформатика прийняття рішень», «Основи теорії прийняття рішень», «Теорія управління».

Приклад розрахунку дерева рішень у разі прийняття рішень екіпажем ПК в позаштатних польотних ситуаціях наведено у додатку В.

Дерево рішень дає змогу виконати структурний аналіз проблеми, знайти оптимальну альтернативу дій і попередити розвиток ситуації за неправильною схемою.

Моделі ПР можуть бути використані у вигляді модуля системи інформаційної підтримки, що призначений для виробки і оцінки ефективності можливих альтернатив завершення польоту в ОВП.

Моделі розвитку позаштатних польотних ситуацій на основі дерева рішень доцільно використовувати у складі СППР, а також в автоматизованій навчальній системі, що дасть авіаційному оператору можливість кількісно оцінювати можливі варіанти розвитку позаштатних ситуацій та оперативно обирати стратегію дій з мінімальним рівнем потенційного збитку в умовах неповноти і невизначеності наявної інформації та

оцінювати правильність обраного альтернативного рішення в навчальній системі [261; 262].

#### **2.4. Альтернативний мережевий аналіз розвитку польотних ситуацій за допомогою стохастичних мереж типу GERT**

Для формалізації поведінкової діяльності Л-О АНС у позаштатних ситуаціях та моделювання відповідного розвитку польотних ситуацій зручними також є моделі у вигляді стохастичної мережі типу GERT (Graphical Evaluation and Review Technique – метод графічної оцінки й аналізу), які дозволяють моделювати розвиток польотних ситуацій 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 деяких попередніх дій, тому допускає наявність циклів і петель [163]. Можливі кілька наслідків розвитку аварійної ситуації її ліквідація, локалізація і розвиток аварійної ситуації в бік погіршення, тому застосування мереж типу GERT є доцільним.

У мережевій моделі розвитку польотної ситуації GERT вузлом є стадія ситуації (нормальна, ускладнена, складна, аварійна або катастрофічна), а дугами – процес переходу між стадіями ситуації. Для моделювання умов розвитку польотних ситуацій доцільно використовувати орієнтовані графи зі стохастичною структурою. Подамо розвиток польотної ситуації у вигляді стохастичної мережі. *Стохастична мережа* – мережа яка може використовуватись тільки для виконання деякої підмножини дуг; при цьому час виконання кожної дуги (операції) обирається відповідно до імовірнісного розподілу. В стохастичних мережах для виконання вузла не є необхідним виконання всіх дуг, що входять до нього. Тому в таких моделях допускається існування циклів та петель.

Переходи від одного стану до іншого розглядаються як виконання узагальнених *W*-функцій. Вхідна функція – умови, за яких вузол може виконуватись. Вихідна функція – сукупність умов, що пов'язані з результатом виконання вузла. Тобто за

допомогою вихідної функції визначається, чи мають виконуватись всі операції, яким вузол безпосередньо передує, чи тільки одна з них.

Уведемо такі позначення щодо умов виконання польоту ПК:

- $G_1$  – нормальна ситуація;
- $G_2$  – ускладнення умов виконання польоту;
- $G_3$  – складна ситуація;
- $G_4$  – аварійна ситуація;
- $G_5$  – катастрофічна ситуація.

Розглянемо стохастичну мережеву модель GERT розвитку польотної ситуації  $G = (N; A)$  з множиною вузлів  $N$  і множиною дуг  $A$ , де  $N$  – множина вузлів (польотних ситуацій),  $A$  – множина дуг (перехід від однієї польотної ситуації до іншої) [167; 232; 286]. Час  $t$  на перехід від однієї до іншої польотної ситуації  $(i, j)$  – випадкова величина. Перехід  $(i, j)$  може бути виконаний, якщо виконується вузол  $i$ . Для визначення часу  $t_{ij}$  на перехід від  $i$ -ї до  $j$ -ї польотної ситуації, необхідно знати умовну ймовірність (у дискретному випадку) або 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:

$$M_{ij}(s) = E[e^{sY_{ij}}].$$

У випадку безперервної та дискретної випадкових величин представлена формула перетворюється на такі вирази відповідно:

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

Якщо  $y_{ij} = a = \text{const}$ , то  $M_{ij}(s) = E[e^{sa}] = e^{sa}$ . Уведемо поняття  $W$ -функції (рис. 2.33) для випадкової величини  $Y_{ij}$ , яка є коефіцієнтом пропускання GERT-мережі:

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

де  $p_{ij}$  – імовірність того, що  $j$ -та польотна ситуація наступить і перехід  $(i, j)$  здійсниться;  $M_{ij}(s)$  – умовна вироблювальна функція моментів випадкової величини  $Y_{ij}$ .

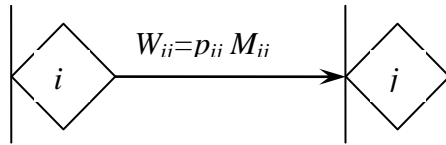


Рис. 2.33. Елемент стохастичної мережі GERT розвитку польотної ситуації з коефіцієнтом пропускання  $W_{ij}(s)$

На рис. 2.34 представлений загальний вигляд стохастичної мережі розвитку польотних ситуацій.

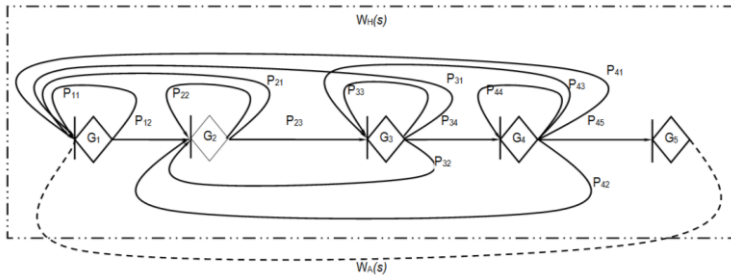


Рис. 2.34. Загальний вигляд стохастичної мережі розвитку польотних ситуацій

На рис. 2.34 маємо:  $W_H(s)$  – узагальнена  $W$ -функція відкритої мережі;  $W_A(s)$  – узагальнена  $W$ -функція фіктивної дуги, яка вводиться для проведення розрахунків стохастичної мережевої моделі GERT розвитку польотної ситуації  $G = (N; A)$ . У реальній ситуації вузол  $G_5$  (катастрофічна ситуація) не має циклічних дуг та петель, тобто розвитку польотної ситуації в зворотному напрямку не існує;  $p_{ii}$  ( $p_{11}, p_{22}, p_{33}, p_{44}$ ) – вузол-петля, ситуація не ускладнюється, стабілізується;  $p_{i(i+1)}$  ( $p_{12}, p_{23}, p_{34}, p_{45}$ ) – імовірність розвитку ситуації в бік ускладнення;  $p_{(i+1)i}$  ( $p_{21}, p_{32},$

$p_{43}$ ) – імовірність розвитку ситуації в бік парирування, покращення ситуації;  $p_{51}$  – імовірність фіктивної дуги для отримання замкненої стохастичної мережі. Спрощення стохастичної мережі зроблено за допомогою еквівалентних перетворень (табл. 2.25). Для кожної петлі першого порядку еквівалентний коефіцієнт пропускання дорівнює добутку коефіцієнтів пропускання дуг, що належать цій петлі:

$$T_k = \prod_{i,j \in L_{k1}} t_{ij},$$

де  $T_k$  – коефіцієнт пропускання петлі першого порядку;  $t_{ij}$  – коефіцієнт пропускання дуг, що входять до петлі  $T_k$  першого порядку;  $L_{k1}$  – петля першого порядку.

У загальному вигляді коефіцієнт пропускання для петлі  $n$ -го порядку виглядає як:

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

де  $T(L_n)$  – коефіцієнт пропускання петлі  $n$ -го порядку.

В табл. 2.26 надаються перетворення для петель різного порядку. Параметри коефіцієнтів пропускання  $W$ -функції GERT-мережі визначаються за допомогою правила Мейсона.

Правило Мейсона для стохастичного потокового графу полягає в знаходженні топологічного рівняння для замкненого графу, за допомогою якого можна обчислити математичне очікування часу  $t_{ij}$  на перехід від  $i$ -ї польотної ситуації до  $j$ -ї польотної ситуації і навпаки –  $M[t_{ij}]$ ,  $M[t_{ji}]$ , дисперсії часу  $t_{ij}$  розвитку польотної ситуації  $\delta^2[t_{ij}]$ , ймовірності розвитку ситуації  $p_{ij}$ ,  $p_{ji}$ ,  $p_{ii}$ :

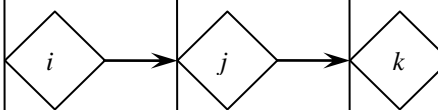
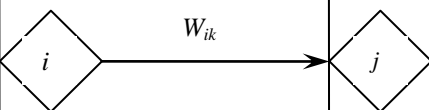
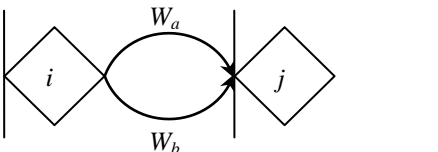
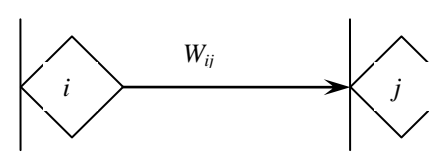
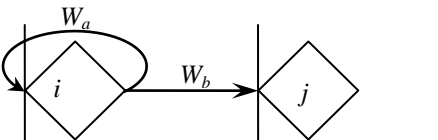
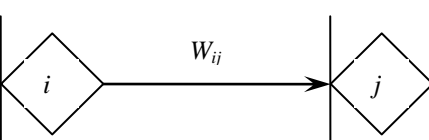
$$N = 1 - \sum T(L_1) + \sum T(L_2) - \sum T(L_3) + \dots + (-1)^m \sum T(L_m) + \dots = 0,$$

де  $\sum T(L_i)$  – сума еквівалентних коефіцієнтів пропускання для всіх можливих петель  $i$ -го порядку.

Параметри GERT аналізу альтернативної стохастичної мережі розвитку польотної ситуації надано в табл. 2.27.

Таблиця 2.25

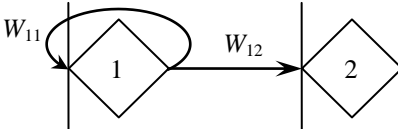
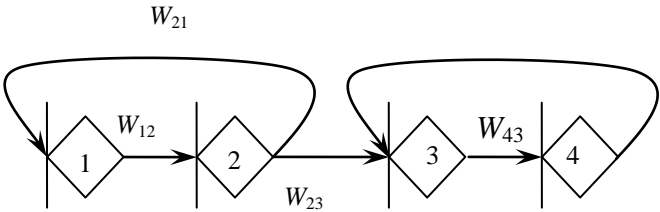
## Дії над дугами в стохастичній мережі розвитку польотних ситуацій

№ з/п	Вихідна мережа	Еквівалентне зображення дуги	Результативна $W$ -функція
1			$W_{ik} = W_i W_{jk}$ (послідовне)
2			$W_{ij} = W_a + W_b$ (паралельне)
3			$W_{ij} = \frac{W_b}{1 - W_a}$ (петля)



Таблиця 2.26

## Перетворення для петель різного порядку

Порядок петлі	Петлі $i$ -го порядку	Перетворення
1		$W_{12} = \frac{W_{12}}{1 - W_{11}}$
2		$W_{21} = \frac{W_{21}}{1 - W_{12}W_{23}}$

Таблиця 2.27

**Параметри GERT аналізу альтернативної стохастичної мережі розвитку польотної ситуації**

№ з/п	Параметри альтернативної стохастичної мережі	Розрахунок параметра
1	Математичне очікування часу $t_{ij}$ на перехід від $i$ -ї польотної ситуації до $j$ -ї польотної ситуації і навпаки	$\mu_{jE} = \frac{\partial^j [M_E(s)]_{s=0}}{\partial s^j}$
2	Математичне очікування часу виконання стохастичної мережі	$\mu_{1E} = M[t_{ij}]$
3	Дисперсії часу $t_{ij}$ розвитку польотної ситуації $\delta^2 [t_{ij}]$	$\delta^2 = \mu_{2E} - (\mu_{1E})^2$
4	Дисперсія часу виконання стохастичної мережі	$\mu_{2E} = \delta^2 [t_{ij}]$
5	Імовірності розвитку ситуації	$p$
6	Імовірність розвитку ситуації в бік ускладнення	$p_{ij}$
7	Імовірність розвитку ситуації в бік парировання	$p_{ji}$
8	Імовірність розвитку ситуації, коли ситуація не ускладнюється, стабілізується	$p_{ii}$

Розроблено алгоритм розрахунку параметрів розвитку польотних ситуацій в бік ускладнення і навпаки за допомогою застосування стохастичних мереж типу GERT [167; 222; 232; 286; 287].

**Алгоритм застосування системи GERT для стохастичного мережевого аналізу розвитку польотної ситуації**

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. 2.35).

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

3. Обчислити еквівалентний коефіцієнт пропускання для всіх петель  $k$ -го порядку мережі  $G$ ,  $k = 1, n$ :

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

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  $i$ -ї до  $j$ -ї польотної ситуації.

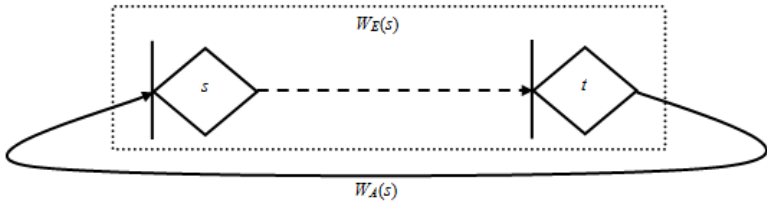


Рис. 2.35. Мережа GERT:  $W_E(s)$  – коефіцієнт пропускання відкритої мережі;  $W_A(s)$  – коефіцієнт пропускання фіктивної дуги;  $s$  – джерело мережі;  $t$  – стік мережі

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

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

де  $\sum T(L_k)$  – сума еквівалентних коефіцієнтів пропускання для всіх можливих петель  $k$ -го порядку.

5. З топологічного рівняння стохастичної замкненої мережі  $G$  визначити коефіцієнт пропускання відкритої мережі  $W_E(s)$ .

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

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

де  $\mu_{1E}$  – математичне очікування часу виконання мережі  $G$ ;  $\mu_{2E}$  – середньоквадратичне відхилення від часу виконання мережі  $G$ .

Приклад розрахунку стохастичної мережі типу GERT для аналізу розвитку польотної ситуації наводиться у додатку Г. Проведемо аналіз розвитку катастрофічної ситуації у складних метеоумовах (СМУ) за допомогою дерева рішень та стохастичної мережі GERT (рис. 2.36).

Маємо на рис. 2.36 наступні позначення  $A$  – позитивний вибір;  $B$  – негативний вибір;  $W_{ij}$  –  $W$ -функція, коефіцієнт пропускання  $(i, j)$ -дуги;  $W_E(s)$  – коефіцієнт пропускання відкритої мережі;  $W_A(s)$  – коефіцієнт пропускання фіктивної дуги;  $G_1$  – нормальна ситуація;  $G_2$  – ускладнена ситуація;  $G_3$  – складна ситуація;  $G_4$  – аварійна ситуація;  $G_5$  – катастрофічна ситуація;  $p_{ii}$  ( $p_{11}, p_{22}, p_{33}, p_{44}$ ) – імовірність стабілізації  $i$ -ї польотної ситуації,  $i = 1; n-1$ ;  $p_{i(i+1)}$  ( $p_{12}, p_{23}, p_{34}, p_{45}$ ) – імовірність розвитку  $i$ -ї польотної ситуації в бік ускладнення;  $p_{i(i-k)}$  ( $p_{21}, p_{32}, p_{43}$  – петлі 1-го порядку;  $p_{31}, p_{42}$  – петлі 2-го порядку;  $p_{41}$  – петля 3-го порядку) – імовірність парирування ОВП,  $k = 1, 3$ .

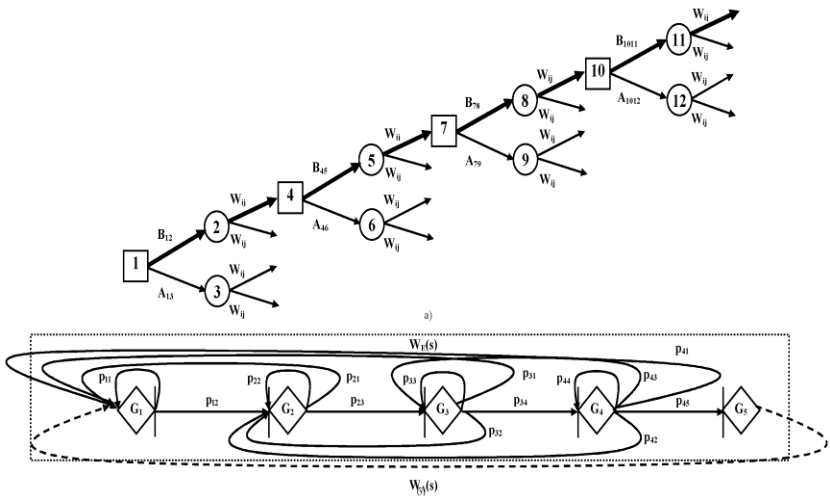


Рис. 2.36. Фрагмент моделі розвитку катастрофічної ситуації:  $a$  – модель у вигляді дерева рішень;  $b$  – модель у вигляді стохастичної мережі GERT

Згідно з даними Бюро безпеки на транспорті (NTSB) [310] за останні 10 років 21,3% АП під час виконання авіаційних

перевезень трапилось через погодні умови, з них 39,1% – у СМУ. При цьому основною причиною АП в СМУ (68%) визнається неправильне і несвочасне ПР екіпажем ПК [311; 312].

На основі  $W$ -функцій побудовано мережу розвитку польотної ситуації від нормальної до катастрофічної і від аварійної до нормальної (рис. 2.37), де  $G_1$  – 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 за позитивного вибору;  $W_{ij}(B)$  – коефіцієнт пропускання  $(i, j)$ -дуги за негативного вибору.

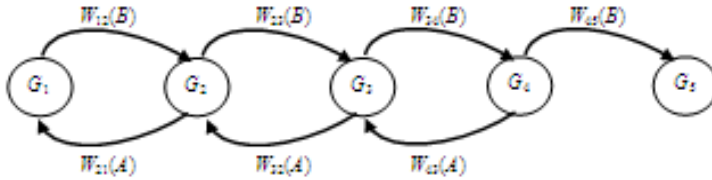


Рис. 2.37. Мережа розвитку польотної ситуації

$W$ -функції розвитку польотної ситуації від аварійної до нормальної визначаються за допомогою очікуваних ризиків  $R_A$ :

$$R_{PP} = R_A = \min\{R_{ij}\},$$

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

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

де  $p_{ij}$  – імовірність впливу  $j$ -го фактора при виборі  $i$ -ї

альтернативи,  $\sum_{j=1}^m p_j = 1$ ;  $u_{ij}$  – збиток, пов'язаний з вибором  $i$ -ї

альтернативи за впливу  $j$ -го фактора.

За допомогою очікуваних ризиків  $R_B$  визначаються  $W$ -функції розвитку польотної ситуації від нормальної до аварійної:

$$R_{PP} = R_B = \{\rho\},$$

де  $R_B$  – очікуваний ризик прийняття рішень Л-О з урахуванням його моделі переваг;  $\rho$  – модель переваг.

Отримані очікувані ризики  $R_A, R_B$  ПР Л-О під час заходу 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 під час ПР Л-О дорівнює:

$$R_{\text{ПР}} = \begin{cases} R_A \succ R_B; \\ R_B \succ R_A, \end{cases}$$

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

Альтернативне рішення  $B$  – вибір Л-О, який визначається системою переваг Л-О, під якою розуміють будь-яку форму упорядкування множини  $F$ , тобто усунення невизначеності вибору деякого елемента  $f^* \in F$  на основі правила вибору  $K$ . Правило вибору  $K$  відображає концепцію раціональної поведінки індивіда  $\gamma$  і його систему переваг  $\rho$  у конкретній ситуації вибору, тобто  $\{\gamma, \rho\} \rightarrow K$ . У результаті розрахунків очікуваних ризиків  $R_A, R_B$  отримуємо мережу розвитку польотної ситуації (рис. 2.38).

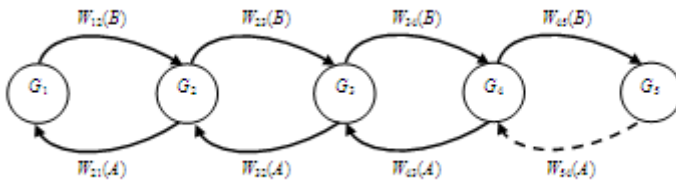


Рис. 2.38. Марковська мережа розвитку польотної ситуації

Подамо перехід від однієї польотної ситуації до іншої у вигляді марковського процесу *загибелі і розмноження*. Щоб визначити ймовірності стану системи в будь-який моменту часу, необхідно скористатися математичними моделями марковських процесів з неперервним часом (неперервних марковських процесів). Якщо два неперервні ланцюги марковської мережі

мають однакові графи станів і розрізняються лише значеннями інтенсивностей, то можна знайти граничні ймовірності станів для кожного з графів окремо. Марковська неперервна мережа називається «процесом загибелі і розмноження», якщо її граф станів має такий вигляд, як показано на рис. 2.38, тобто, коли всі стани можна витягнути в один ланцюжок, у якому кожен із середніх станів ( $G_2, G_3, G_4$ ) пов'язаний у прямому і зворотному напрямках з кожним із сусідніх станів, а крайні стани ( $G_1, G_5$ ) – лише з одним сусіднім станом.

Однорідний марківський процес розвитку польотних ситуацій з неперервним 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 навколишнього середовища. Тобто щільність імовірності 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 прийняття Л-О професійного і непрофесійного характеру.

### **Методика моделювання марковського процесу розвитку польотних ситуацій з безперервним часом $t_{ij}$**

1. Визначити стани системи:  $G_1$  (нормальна ситуація);  $G_2$  (ускладнена ситуація);  $G_3$  (складна ситуація);  $G_4$  (аварійна ситуація);  $G_5$  (катастрофічна ситуація).

2. Визначити коефіцієнти інтенсивності (пропускання)  $(i, j)$ -дуги в прямому напрямку і зворотному напрямку:

–  $W_{ij}(A)$  – коефіцієнт інтенсивності  $(i, j)$ -дуги в прямому напрямку;

–  $W_{ij}(B)$  – коефіцієнт інтенсивності  $(i, j)$ -дуги в зворотному напрямку.

3. Побудувати граф розвитку польотних ситуацій.

4. Побудувати систему диференціальних рівнянь Колмогорова:

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

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

5. Визначити початкові умови і розв'язати систему диференціальних рівнянь. Скласти систему диференціальних рівнянь для марковського процесу розвитку польотної ситуації (рис. 2.38):

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

6. Визначити граничні ймовірності польотних ситуації (рис. 2.39):

$$\begin{aligned}\text{– у бік парирування ситуації: } p_{ij}(B) &= \frac{\prod_{\{G_i\}} W_{ij}(B)}{\prod_{\{G_j\}} W_{ij}(A)} p_{ij}(A); \\ \text{– у бік погіршення польотної ситуації: } p_{ij}(A) &= \frac{\prod_{\{G_i\}} W_{ij}(A)}{\prod_{\{G_j\}} W_{ij}(B)} p_{ij}(B).\end{aligned}$$

Марковську мережу розвитку польотної ситуації з імовірностями  $p_{ij}(A)$ ,  $p_{ij}(B)$  розвитку польотної ситуації за позитивного і негативного розвитку подій наведено на рис. 2.39.

*Теорема Маркова.* Якщо для однорідного дискретного марковського процесу з кінцевою кількістю станів усі ймовірності  $p_{ij} > 0$ , то граничні значення  $p_{ij}(k)$  існують і їх значення не залежать від обраного початкового стану системи.



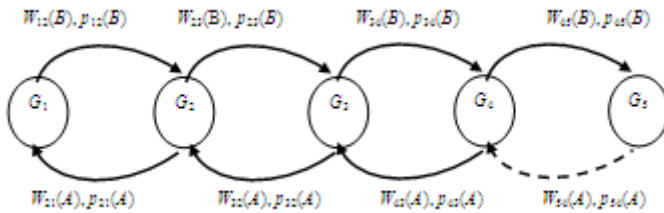


Рис. 2.39. Марковська мережа розвитку польотної ситуації з імовірностями  $p_{ij}(A), p_{ij}(B)$  розвитку польотної ситуації за позитивного і негативного розвитку подій відповідно

Тобто, система розвитку польотної ситуації на рис. 2.39 описується нестационарними процесами. Це означає, що якщо система потрапить у стан  $G_5$ , то вона не зможе перейти в інший будь-який стан. Тому для проведення розрахунків у систему введено фіктивну дугу (5-4) з параметрами  $W_{54}(A), p_{54}(A)$ . Порівняльний аналіз підходів до мережевих аналізів ПР Л-О та розвитку польотних ситуацій наведено в табл. 2.28. Таким чином, мережі типу GERT дозволили отримати стохастичні моделі розвитку польотних ситуацій в ОВП, а марковські мережі – описати стохастичні процеси розвитку польотних ситуацій в ОВП.

Якщо розроблюється оптимальна програма дії Л-О, то відбувається гра «людини з природою», де природа – явища (фактори), що впливають на результат дії людини [67; 81; 154]. Тоді приймається рішення в умовах невизначеності [69]. Множина  $\{A\}$  – альтернативні рішення Л-О, а  $\{B\}$  – фактори, що впливають на прийняття рішення. Є певна різниця у формуванні матриць рішення та «жалю» до певних типів задач. Формальний опис критеріїв знаходження оптимального рішення в АНС в умовах нестохастичної невизначеності наведено в [81; 154, 155]. Цікаві задачі, пов'язані з керуванням малою групою, такі як задачі оптимального призначення, вибору запасного аеродрому, вибору оптимального місця посадки в разі аварійного зниження. Результати, отримані з використанням ігрових моделей для опису та оптимізації конфліктних ситуацій загального виду та близьких за змістом, що виникають в системі УПР та інших системах цивільної авіації [75], дають змогу вирішувати конкретні задачі.

Таблиця 2.28

**Порівняльний аналіз моделей ПР розвитку польотних ситуацій**

Моделі ПР Л-О в ОВП	Методи аналізу	Вузли	Дуги
Детерміновані моделі ПР Л-О в ОВП	Мережеве планування	Етапи ПР	Дії (процедурні операції) відповідно до інструкції
Стохастичні моделі ПР Л-О в ОВП	Дерево рішень	Вершини-рішення – рішення Л-О, випадкові вершини – вплив зовнішнього середовища на ПР Л-О	Перехід між рішеннями під впливом зовнішнього середовища
Стохастичні моделі розвитку польотних ситуацій в ОВП	Стохастична мережа типу GERT	Стадії польотних ситуацій	Перехід від нормальної до катастрофічної, від аварійної до нормальної ситуацій
Стохастичні процеси розвитку польотних ситуацій в ОВП	Марковська мережа	Стани системи: нормальна, ускладнена, складна, аварійна, катастрофічна ситуації	Коефіцієнти інтенсивності (пропускання) $(i, j)$ -дуги в прямому і зворотному напрямках

Проведений аналіз розвитку ОВП та ПР екіпажем ПК і авіадиспетчером в ОВП за допомогою критеріїв Вальда, Лапласа, Севіджа, Гурвіца, в результаті якого отримано моделі ПР Л-О у разі виникнення ОВП в умовах невизначеності (табл. 2.29). Наслідки розвитку польотної ситуації  $u_{ij}$  отримано відповідно до теорії рефлексії.

За даними ІСАО, велика частина відмов і несправностей (98–99 % [123]) виявляється і усувається на землі в процесі технічного обслуговування інженерно-технічним складом, деяка частина (близько 1–2 % [123]) виявляється в повітрі і локалізується своєчасними і правильними діями екіпажу і тільки близько 0,01 % [123; 134] призводить до АП.

Розроблено модель ПР Л-О у випадку відмови генераторів [164]. Формально опишемо ситуацію, яка виникає на ПК при спрацьовуванні індикатора (табло) відмови генератора. У цьому випадку можливі два стани природи:  $\Pi_1$  – помилкове спрацьовування табло;  $\Pi_2$  – вмотивоване спрацьовування табло.

Екіпаж має такі альтернативні варіанти рішення:  $a_1$  – переконатися в нормальній роботі генератора і продовжити політ;  $a_2$  – вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ;  $a_3$  – вимкнути генератор і завершити політ.

Таблиця 2.29

**Матриця можливих результатів ПР Л-О АНС в ОВП**

Фактори	Альтернативні рішення		
	Тиск зовнішнього середовища на Л-О у бік позитивної альтернативи в момент вибору	Тиск попереднього досвіду Л-О у бік позитивної альтернативи в момент вибору	Вольовий вибір (інтенція) Л-О у бік позитивної альтернативи в момент вибору
А – вибір у бік позитивного полюса	$u_{11}$	$u_{12}$	$u_{13}$
В – вибір у бік негативного полюса	$u_{21}$	$u_{22}$	$u_{23}$

Реалізуючи один з альтернативних варіантів, екіпаж ПК «втрачає» деяку корисність  $u_{ij}(a_i, \Pi_j)$ , що є результатом його суб'єктивної оцінки цієї ситуації, тобто йде на відповідний ризик. Сукупність можливих результатів рішення описується відповідною матрицею (табл. 2.30). Значення  $u_{ij}$  відповідають збиткам екіпажу, що визначені експертним шляхом за п'ятибальною шкалою в умовних одиницях. Через нульові втрати позначаються найбільш сприятливі комбінації  $a_i$  і  $\Pi_j$ , тобто мінімальні втрати ( $u_{11} = 0$ ) відповідають мінімальним збиткам екіпажу, максимальні втрати ( $u_{32} = 5$ ) відповідають максимальним збиткам.

Таблиця 2.30

**Матриця можливих результатів ПР екіпажем у разі  
спрацьовування індикатора відмови генератора**

Альтернативні рішення	Фактори	
	П <sub>1</sub> – хибне спрацьовування табло	П <sub>2</sub> – дійсне спрацьовування табло
$a_1$ – переконатися в нормальній роботі генератора і продовжити політ	0	5
$a_2$ – вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ	3	1
$a_3$ – вимкнути генератор і завершити політ	4	2

Оптимальні рішення знайдені за допомогою класичних критеріїв теорії ПР в умовах невизначеності: Вальда, Лапласа, Севіджа, Гурвіця в табл. 2.31.

Таблиця 2.31

**Матриця ПР у разі спрацьовування індикатора відмови  
генератора**

Альтернативні рішення	Фактори		Критерій			
	П <sub>1</sub> – хибне спрацьо вування табло	П <sub>2</sub> – дійсне спрацьо вування табло	Вальда	Лапласа	Севіджа	Гурвіця
$a_1$ – переконатися в нормальній роботі генератора і продовжити політ	0	5	5	2,5	5	2,5
$a_2$ – вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ	3	1	3	2	2	2
$a_3$ – вимкнути генератор і завершити політ	4	2	4	3	2	3

Критерій Вальда (мінімаксий критерій) ґрунтується на консервативному обережному поводженні ЛПП і зводиться до вибору найкращої альтернативи з найгірших:

$$L_{mm} = \min_{a_i} \left\{ \max_{\Pi_j} u(a_i, \Pi_j) \right\} =$$

$$= \min \{ \max (0;5); \max (3;1); \max (4;2) \} = \min \{ 5; 3; 4 \} = 3$$

(тобто  $a_2$  – вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ).

де  $L_{mm}$  – оціночна функція за мінімаксною умовою для матриці втрат;  $u(a_i, \Pi_j)$  – втрати, що відповідають альтернативі  $a_i$  і зовнішнім умовам  $\Pi_j$ .

Відповідно до критерію Вальда оптимальним рішенням є альтернатива  $a_2$ , яка відповідає мінімальній оціночній функції (табл. 2.31).

Критерій Лапласа спирається на принцип недостатнього обґрунтування, згідно з яким у разі невідомого розподілу ймовірностей станів природи  $\Pi_j$  їх слід вважати рівними між собою (оптимальним рішенням є альтернатива  $a_2$ ):

$$L_l = \min_{a_i} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u(a_i, \Pi_j) \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{0+5}{2}; \frac{3+1}{2}; \frac{4+2}{2} \right\} = \min \{ 2,5; 2; 3 \} = 2 \text{ ( тобто } a_2 \text{ –}$$

вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ),

де  $L_l$  – оціночна функція за критерієм Лапласа;  $n$  – кількість можливих станів природи.

Критерій Севіджа прагне пом'якшити консерватизм мінімаксного критерію шляхом заміни матриці втрат матрицею ризиків (табл. 2.32). Оптимальне рішення за критерієм Севіджа визначається з умови:

$$L_s = \min_{a_i} \left\{ \max_{\Pi_j} r(a_i, \Pi_j) \right\} = \min \{ \max (0;5); \max (2;0); \max$$

$$(2;0) \} = \min \{ 5; 2; 2 \} = 2;$$

$$r(a_i, \Pi_j) = u(a_i, \Pi_j) - \min_{a_i} \{ u(a_i, \Pi_j) \} \text{ (тобто } a_2 \text{ –}$$

вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ;  $a_3$  – вимкнути генератор і завершити політ),

де  $L_s$  – оціночна функція за критерієм Севіджа;  $r(a_i, \Pi_j)$  – елементи матриці ризиків, що відповідають альтернативі  $a_i$  і зовнішнім умовам  $\Pi_j$ .

Згідно з критерієм Севіджа оптимальним рішенням є альтернативи  $a_2$  і  $a_3$ , які відповідають мінімальній оціночній функції.

Таблиця 2.32

**Матриця ризиків для ПР за критерієм Севіджа**

Альтернативні рішення	Фактори	
	$\Pi_1$ – хибне спрацьовування табло	$\Pi_2$ – дійсне спрацьовування табло
$a_1$ – переконатися в нормальній роботі генератора і продовжити політ	0	5
$a_2$ – вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ	2	0
$a_3$ – вимкнути генератор і завершити політ	2	0

Критерій Гурвіца охоплює ряд різних підходів до ПР – від найбільш оптимістичного до найбільш песимістичного (консервативного):

$$L_g = \min_{a_i} \left\{ \alpha \min_{\Pi_j} u(a_i, \Pi_j) + (1 - \alpha) \max_{\Pi_j} u(a_i, \Pi_j) \right\} =$$

$= \min \{0,5 \min (0;5) + (1-0,5) \max (0;5); 0,5 \min (3;1) + (1-0,5) \max (3;1); 0,5 \min (4;2) + (1-0,5) \max (4;2)\} = 2$  (тобто  $a_2$  – вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ), де  $L_g$  – оцінна функція за критерієм Гурвіца;  $\alpha$  – показник оптимізму ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ).

За критерієм Гурвіца оптимальним рішенням також є альтернатива  $a_2$ . Параметри моделі ПР Л-О в умовах невизначеності для прикладу відмови генератора зведено до табл. 2.33.

Таблиця 2.33

**Параметри моделі ПР Л-О в умовах невизначеності в ОВП  
(відмова генератора)**

<b>Входи моделі ПР Л-О в ОВП</b>			
<b>П</b>	Фактори, що впливають на ПР Л-О	<b>A</b>	Можливі альтернативні рішення
<b>П<sub>1</sub></b>	Хибне спрацювання табло	<b>a<sub>1</sub></b>	Переконатися в нормальній роботі генератора і продовжити політ
<b>П<sub>2</sub></b>	Дійсне спрацювання табло	<b>a<sub>2</sub></b>	Вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ
		<b>a<sub>3</sub></b>	Вимкнути генератор і завершити політ
<b>Критерій ефективності - величина потенційного збитку</b>			
<b>u<sub>11</sub>=0</b>	Збитки за дій Л-О – переконатися в нормальній роботі генератора і продовжити політ (хибне спрацювання табло)	<b>u<sub>12</sub>=5</b>	Збитки за дій Л-О – переконатися в нормальній роботі генератора і продовжити політ (дійсне спрацювання табло)
<b>u<sub>21</sub>=3</b>	Збитки за дій Л-О – вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ (хибне спрацювання табло)	<b>u<sub>21</sub>=1</b>	Збитки за дій Л-О – вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ (дійсне спрацювання табло)
<b>u<sub>31</sub>=4</b>	Збитки за дій Л-О – вимкнути генератор (хибне спрацювання табло)	<b>u<sub>32</sub>=2</b>	Збитки за дій Л-О – вимкнути генератор (дійсне спрацювання табло)
<b>Виходи моделі ПР Л-О в ОВП – альтернативні рішення Л-О в ОВП</b>			
<b>a<sub>2</sub><sup>*</sup></b>	Вальда	Вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ	
<b>a<sub>2</sub><sup>*</sup></b>	Лапласа	Вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ	
<b>a<sub>2</sub><sup>*</sup></b>	Гурвіца	Вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ	
<b>a<sub>2</sub><sup>*</sup>, a<sub>3</sub><sup>*</sup></b>	Севіджа	Вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ; вимкнути генератор	

Виконано порівняльний аналіз критеріїв, за якими знаходились оптимальні рішення (табл. 2.34). Згідно з критеріями Вальда, Лапласа, Севіджа і Гурвіца, оптимальним альтернативним рішенням екіпажу є перемикання живлення на резервні генератори і продовження польоту. За критерієм Севіджа мінімізації втрат, якщо Л-О приймає додаткове рішення, то пілот повинен вимкнути генератор і завершити політ. Цей випадок характерний для дій екіпажу, якщо резервної системи немає або є невпевненість у її надійності. Тобто на основі порівняльного аналізу критеріїв оптимальним альтернативним рішенням екіпажу (командира ПК) в умовах невизначеності є вимкнення генератора і завершення польоту, тобто посадка повинна відбутися протягом 20–30 хв.

Таблиця 2.34

**Порівняльний аналіз критеріїв ПР в умовах невизначеності**

Альтернативні рішення	ПР в умовах невизначеності, критерії			
	Вальда	Лапласа	Гурвіца	Севіджа
$a_1$ – переконатися в нормальній роботі генератора і продовжити політ	-	-	-	-
$a_2$ – вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ	$a_2$	$a_2$	$a_2$	$a_2$
$a_3$ – вимкнути генератор і завершити політ	-	-	-	$a_3$

Моделі розвитку польотних ситуацій доцільно використовувати у складі СППР, що дасть Л-О АНС можливість кількісно оцінювати можливі варіанти розвитку ОВП і оперативно вибирати стратегію дій з мінімальним рівнем потенційного збитку в умовах неповноти і невизначеності наявної інформації. У додатку Д надано приклади моделей ПР в умовах нестохастичної невизначеності і вирішення задачі прийняття рішення в умовах невизначеності щодо вибору оптимального аеродрому посадки.



### **3. МОДЕЛІ БІПОЛЯРНОГО ВИБОРУ ОПЕРАТОРОМ АЕРОНАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ**

#### **3.1. Моделі переваг операторів соціотехнічної системи**

Моделі прийняття рішень (ПР) в умовах нормованих алгоритмів професійної діяльності Л-О (детерміновані моделі ПР), а також в умовах впливу зовнішнього середовища (стохастичні моделі ПР Л-О) дозволяють виявляти закономірності діяльності операторів в очікуваних і неочікуваних умовах ПК, попереджувати і прогнозувати розвиток польотних ситуацій. Для дослідження закономірностей діяльності Л-О в АНС як СТС особливу значущість має виявлення особистісних властивостей Л-О і визначення відповідних моделей переваг, які описують пріоритети Л-О АНС відповідно до його поведінки на множині вибору [2; 6; 270].

У практиці діагностування особистісних рис індивідуума найбільшу популярність отримав стандартизований багатофакторний метод дослідження особистості СМДЛ – модифікований (адаптований до вітчизняних умов) варіант тесту ММРІ (Мінесотський багатопрофільний особистісний опитувальник), розробленого в 40-х роках 20 ст. американськими психологами Дж. Маккінлі та С. Хатеуєм для професійного відбору військових льотчиків. Також використовуються тест Айзенка, 16-факторний опитувальник Кеттелла (тест 16PF), тести Ліри, Стреляу, Леонгарда, «рисункові тести», тести колірних переваг, а також такі екзотичні, як графологічні (аналіз почерку) і фізіогномічні (аналіз рис обличчя) [8].

Для аналізу результатів досліджень широко використовуються різні способи графічного представлення інформації [108]. З одного боку, це пов'язано з ефективністю сприйняття інформації, отриманої по зорових каналах, а з іншого боку – розвитком засобів комп'ютерної графіки, розширенням можливостей її застосування. Широке поширення одержали гістограми [108], перевагою яких є наочність. До недоліків відноситься той факт, що гістограма (як і аналогічні

діаграми) дозволяє, як правило, порівнювати результати лише за одним критерієм. Порівняння за декількома критеріями за допомогою гістограм можливо в тому випадку, коли величини, що відповідають різним критеріям, вимірюються в тих самих одиницях. У такому випадку дані представляють у вигляді ряду стовпчиків. Однак, якщо різні результати мають різні якості в різній мірі, і перевага за одним критерієм сполучається з недоліками за іншим, проведення аналізу на основі гістограми стає складним. Гістограми можна застосувати для графічного представлення системи переваг Л-О АНС при визначенні впливу на ПР соціально-психологічних факторів. На відміну від діаграм, побудованих у прямокутних декартових координатах, «Павук-ЦІЗ» (аббревіатура «ЦІЗ» утворена першими буквами від назви Центрального інституту зварювання, у якому цей метод був розроблений) представляє собою наочну діаграму, побудовану в полярних координатах [108]. Результат визначається за розміром площі, яку окреслює «павутина». Тому цей спосіб представлення інформації доцільно використовувати для оцінювання особистісних якостей Л-О відповідно до базових моделей Л-О, отриманих за допомогою визначення системи переваг Л-О у разі впливу на ПР факторів непрофесійного характеру.

Напрямок переходу польотної ситуації – у бік покращення або у бік погіршення – залежить від дій Л-О АНС під впливом навколишнього середовища, попереднього досвіду та вольового вибору (інтенції). На прикладі АНС як СТС авторами проведено наступні дослідження [255]:

1. Для дослідження закономірностей діяльності операторів і моделювання розвитку польотних ситуацій в АНС як СТС проведено системний аналіз, формалізовано фактори, що впливають на ЛПП, виконано математичне моделювання діяльності операторів АНС.

2. Для отримання базових моделей Л-О АНС під впливом навколишнього середовища визначені кількісні значення факторів соціально-психологічного та індивідуально-психологічного характеру у вигляді вагових коефіцієнтів, що представляють систему переваг Л-О (пілотів і диспетчерів ЦА, військових пілотів та штурманів).

3. Визначено вплив системи переваг на прийняття рішень пілотами і диспетчерами ЦА у разі вибору у бік позитивного полюсу, негативного полюсу та однакового тиску при виборі в бік позитивного і негативного полюсів. Урахування впливу соціально-психологічних та індивідуально-психологічних факторів на ПР Л-О АНС дозволяє прогнозувати його дії у разі виникнення особливого випадку в польоті, моделювати можливий розвиток польотної ситуації у бік ускладнення і навпаки.

**Базові моделі переваг операторів АНС важливості впливу соціально-психологічних факторів.** Вплив професійних факторів та факторів непрофесійного характеру на прийняття рішень Л-О АНС розглянуто в працях [46; 53; 165; ; 230–232; 242; 287]. Визначено, що Л-О АНС знаходиться під впливом наступних факторів:

– професійних факторів (professional factors):

$$\bar{F}_p = \{F_{ed}, F_{exp}\},$$

де  $F_{ed}$  – професійне навчання;  $F_{exp}$  – професійна діяльність;

– факторів непрофесійного характеру (non-professional factors):

$$\bar{F}_{np} = \{F_{sp}, F_{ip}, F_{pf}\},$$

де  $F_{sp}$  – соціально-психологічні якості Л-О;  $F_{ip}$  – індивідуально-психологічні якості Л-О;  $F_{pf}$  – психофізіологічні якості Л-О.

Результатом оцінювання професійних факторів є знання, навички, вміння Л-О АНС:

$$W_j = \prod_{i=1}^n F_{ij}^{\omega_i}; i = 1, n; j = \overline{1, m},$$

де  $\omega_i$  – вагові коефіцієнти, що визначаються за пріоритетами складових комплексного показника під час прийому на роботу;  $F_{ij}$  – і-та оцінка j-го кандидата, яка визначається відповідно до вимог «Правил видачі свідоцтв авіаційному персоналу в Україні» [8].

Результатом оцінювання непрофесійних факторів є: врахування соціального впливу на ПР Л-О АНС шляхом визначення системи переваг людини, що приймає рішення

(ЛПР); діагностування індивідуально-психологічних якостей Л-О АНС в умовах розвитку польотної ситуації; моніторинг емоційного стану Л-О АНС з метою своєчасної діагностики переходу до потенційно небезпечних видів психічної діяльності та визначення стійкості АНС відповідно до змін психофізіологічних якостей Л-О в процесі виконання професійних обов'язків.

Визначення ступеня важливості впливу соціально-психологічних факторів на Л-О АНС у разі виникнення позаштатної ситуації в польоті здійснено методом експертних оцінок шляхом оброблення анкет, що заповнили респонденти з числа пілотів і диспетчерів ЦА [230; 232]. Отримані на прикладі 5 соціально-психологічних факторів результати (табл. 3.1, рис. 3.1) показали, що респонденти-пілоти приділяють найбільшу увагу соціальним показникам і найменшу – духовним цінностям.

Таблиця 3.1

**Системи переваг щодо важливості впливу соціально-психологічних факторів**

№ з/п	Соціально-психологічні фактори	Код	Вага фактора, w			
			Пілот ЦА	Диспетчер ЦА	Пілот ВА	Штурман ВА
1	Духовні та культурні орієнтири особистості	$f_{spm}$	0,07	0,07	0,07	0,07
2	Економічні інтереси особистості	$f_{spe}$	0,23	0,30	0,27	0,27
3	Соціальні пріоритети особистості	$f_{sps}$	0,33	0,30	0,33	0,33
4	Політичні погляди особистості	$f_{spp}$	0,23	0,13	0,13	0,13
5	Відношення до правових норм особистості	$f_{spl}$	0,14	0,20	0,20	0,20

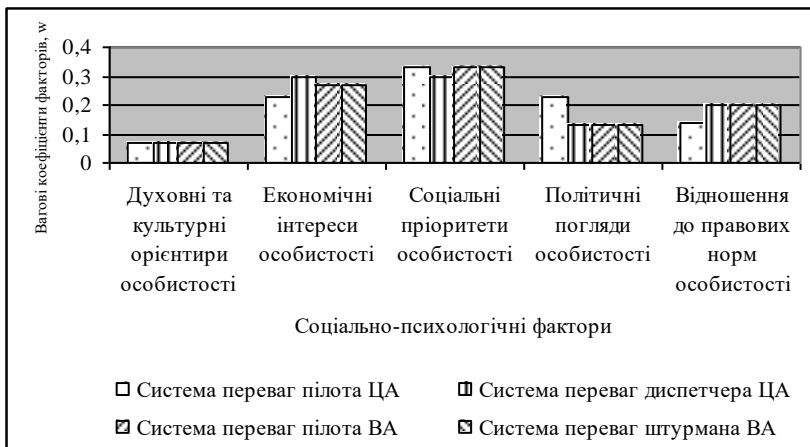


Рис. 3.1. Графік візуалізації системи переваг ЛПР (пілоти і диспетчери ЦА, пілоти і штурмани ВА) щодо впливу на операторське рішення соціально-психологічних факторів у разі виникнення позаштатної ситуації в польоті (5 факторів)

У свою чергу, респонденти-диспетчери максимум уваги приділяють економічним і соціальним показникам і значно більше уваги, порівняно з пілотами, – нормативно-правовим принципам. Системи переваг пілота та диспетчера ЦА (5 факторів):

– система переваг пілота ЦА:

$$S_p = f_{sps} > f_{spe}, f_{spp} > f_{spl} > f_{spm};$$

– система переваг диспетчера ЦА:

$$S_p = f_{sps}, f_{spe} > f_{spl} > f_{spp} > f_{spm},$$

де  $f$  – ранг фактора відповідно до моделі переваг Л-О.

Респонденти – військові пілоти та штурмани різних вікових категорій з різним професійним досвідом визначили вплив соціально-психологічних факторів на ПР у процесі їх професійної діяльності. Експеримент був проведений на базі військової частини А2099 та А0780 Повітряного командування «ЗАХІД» [232]. У результаті порівняння значень вагових коефіцієнтів були визначені системи переваг впливу соціально-психологічних факторів фахівців ВА. Отримані результати щодо

системи переваг значущості соціально-психологічних факторів фахівців ВА показали, що респонденти – військові пілоти і штурмани – приділяють найбільшу увагу соціальним і економічним показникам (табл. 3.1, рис. 3.1).

Системи переваг пілота та штурмана ВА:

– система переваг пілота ВА :

$$S_p = f_{sps} \succ f_{spe} \succ f_{spl} \succ f_{spp} \succ f_{spm};$$

– система переваг штурмана ВА (7):

$$S_p = f_{sps} \succ f_{spe} \succ f_{spl} \succ f_{spp} \succ f_{spm},$$

де  $f$  – ваговий коефіцієнт фактора відповідно до системи переваг (див.табл. 3.1).

Системи переваг Л-О (пілотів і диспетчерів ЦА та пілотів і штурманів ВА) при визначенні значущості соціально-психологічних факторів, які впливають на Л-О під час ПР в позаштатних ситуаціях, визначаються на множині  $\bar{F}_{sp} = \{f_{spm}, f_{spe}, f_{sps}, f_{spp}, f_{spl}\}$  відповідно до табл. 3.1.

Порівняльний аналіз систем переваг соціально-психологічних факторів, що впливають на Л-О під час ПР (5 факторів) на множині  $\bar{F}_{sp} = \{f_{spm}, f_{spe}, f_{sps}, f_{spp}, f_{spl}\}$  показав, що пілоти і диспетчери ЦА та пілоти і штурмани ВА мають подібні моделі переваг відповідно до норм суспільства, тобто, віддають перевагу соціальним і економічним інтересам особистості.

У результаті проведення декомпозиції соціально-психологічних факторів на 13 підфакторів (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) [82; 92] та більш детального аналізу їх впливу визначено, що на діяльність як пілотів, так і диспетчерів, які брали участь у дослідженні, суттєво впливають інтереси сім'ї, власне економічне становище, перспективи кар'єрного росту, інтереси колег, власний авторитет та імідж корпорації. В той же час респонденти-диспетчери в порівнянні з респондентами-пілотами більшу увагу приділяють правовим нормам (табл. 3.2, рис. 3.2). Системи переваг пілота та диспетчера ЦА (13 факторів):

– система переваг пілота ЦА:

$$S_p = f_{spf} \succ f_{spn} \succ f_{sps} \succ f_{spk} \succ f_{spa} \succ f_{spe} \succ \\ \succ f_{spm} \succ f_{spz} \succ f_{spl} \succ f_{spc} \succ f_{spd} \succ f_{spr}, f_{spp}$$

– система переваг диспетчера ЦА:

$$S_p = f_{spf} \succ f_{spn} \succ f_{sps} \succ f_{spk} \succ f_{spa} \succ f_{spe} \succ \\ \succ f_{spm} \succ f_{spz} \succ f_{spl} \succ f_{spc} \succ f_{spd} \succ f_{spp} \succ f_{spr}$$

де  $f$  – ранг фактора відповідно до системи переваг (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

**Система переваг Л-О (пілота, диспетчера ЦА) важливості впливу соціально-психологічних факторів на ПР у разі виникнення позаштатної ситуації в польоті (13 факторів)**

№ з/п	Соціально-психологічні фактори	Код	Пілот		Диспетчер	
			Ранг фактора, r	Вага фактора, w	Ранг фактора, r	Вага фактора, w
1	Релігійні погляди	$f_{spr}$	12,5	0,02	13	0,01
2	Філософські погляди	$f_{spp}$	12,5	0,02	12	0,02
3	Матеріальний стан підприємства	$f_{spm}$	7	0,08	7	0,08
4	Матеріальний стан особистості	$f_{spn}$	2	0,13	2	0,13
5	Інтереси сім'ї	$f_{spf}$	1	0,14	1	0,14
6	Кар'єра	$f_{sps}$	3	0,12	3	0,12
7	Авторитет	$f_{spa}$	5	0,10	5	0,10
8	Імідж підприємства	$f_{spe}$	6	0,09	6	0,09
9	Інтереси колег	$f_{spk}$	4	0,11	4	0,11
10	Інтереси керівництва компанії	$f_{spc}$	10	0,04	10	0,04
11	Імідж особистості	$f_{spz}$	8	0,07	8	0,07
12	Політичні погляди	$f_{spd}$	11	0,03	11	0,03
13	Правові норми	$f_{spl}$	9	0,05	9	0,06

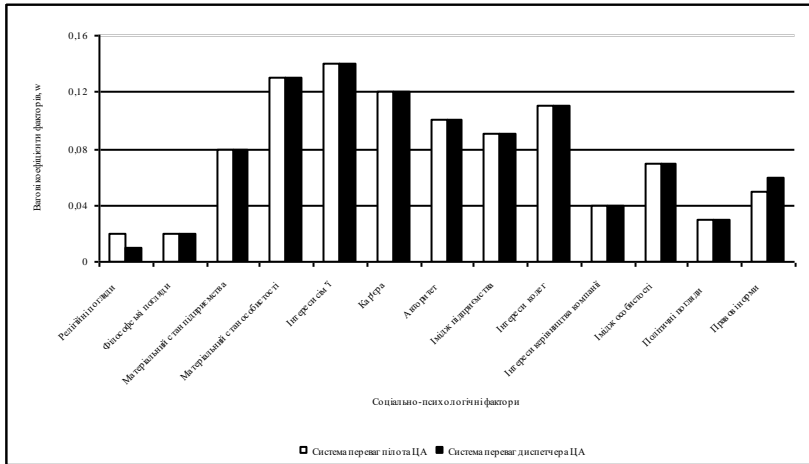


Рис. 3.2. Графік візуалізації системи переваг ЛПР (пілота, диспетчера ЦА) щодо впливу на операторське рішення соціально-психологічних факторів (13 факторів)

**Базові моделі пілотів та штурманів ВА важливості впливу індивідуально-психологічних факторів.** Проведено дослідження з військовими пілотами і штурманами щодо значущості впливу індивідуально-психологічних факторів у разі розвитку польотної ситуації від нормальної до катастрофічної [232] (табл. 3.3). Графічна інтерпретація вагових коефіцієнтів значущості індивідуально-психологічних факторів військових пілотів і штурманів в умовах розвитку польотних ситуацій подано на рис. 3 а (індивідуальні якості пілотів) та рис. 3 б (індивідуальні якості штурманів). Результати аналізу систем переваг пілотів та штурманів показали, що досвід, воля, здоров'я, сприйняття інформації є найбільш значущими в разі виникнення позаштатної польотної ситуації для штурманів ВА; для пілотів ВА – це передусім здоров'я, досвід, темперамент, воля; темперамент більш важливий для пілота, ніж для штурмана, а для штурманів більш важливе мислення.



Таблиця 3.3

**Значущість індивідуально-психологічних факторів військових пілотів та штурманів в умовах розвитку польотної ситуації.**

№ з/п	Індивідуально-психологічні фактори	Код	Вагові коефіцієнти факторів, w									
			Проста ситуація, G <sub>s1</sub>		Ускладнена ситуація, G <sub>s2</sub>		Складна ситуація, G <sub>s3</sub>		Аварійна ситуація, G <sub>s4</sub>		Катастрофічна ситуація, G <sub>s5</sub>	
			Пілот	Штурман	Пілот	Штурман	Пілот	Штурман	Пілот	Штурман	Пілот	Штурман
1	Темперамент	f <sub>ipt</sub>	0,11	0,02	0,11	0,03	0,13	0,04	0,17	0,07	0,17	0,04
2	Увага	f <sub>ipa</sub>	0,16	0,13	0,16	0,16	0,16	0,16	0,11	0,16	0,11	0,13
3	Сприйняття	f <sub>ipp</sub>	0,07	0,09	0,09	0,10	0,09	0,13	0,17	0,13	0,17	0,16
4	Мислення	f <sub>ipth</sub>	0,04	0,11	0,07	0,10	0,07	0,11	0,07	0,09	0,07	0,09
5	Уява	f <sub>ipi</sub>	0,09	0,07	0,04	0,03	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02
6	Натура	f <sub>ipn</sub>	0,02	0,04	0,02	0,07	0,02	0,07	0,02	0,04	0,02	0,07
7	Воля	f <sub>ipw</sub>	0,13	0,18	0,13	0,18	0,11	0,18	0,09	0,18	0,09	0,18
8	Здоров'я	f <sub>iph</sub>	0,19	0,16	0,19	0,13	0,19	0,09	0,16	0,11	0,16	0,11
9	Досвід	f <sub>exp</sub>	0,19	0,20	0,19	0,20	0,19	0,20	0,17	0,20	0,17	0,20

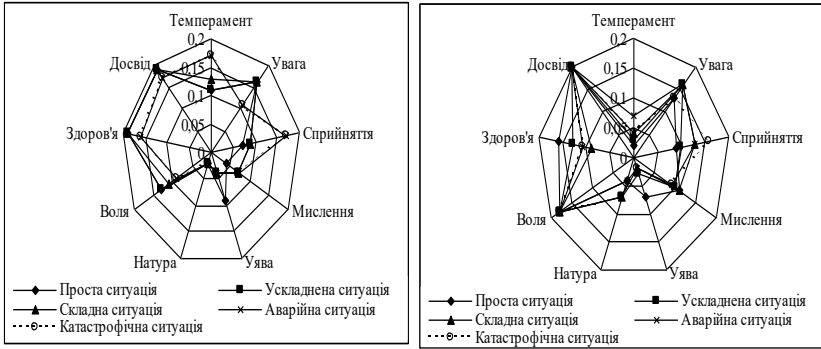
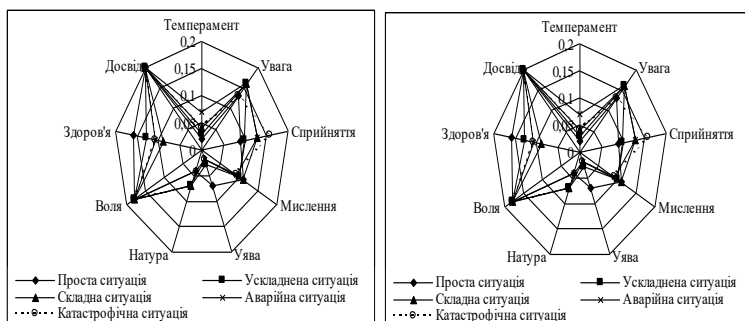


Рис. 3.3. Графічна інтерпретація зміни вагових коефіцієнтів факторів значущості індивідуально-психологічних факторів військових пілотів (а) і штурманів (б)

Під час аналізу індивідуально-психологічних факторів використовувались модифіковані коефіцієнти, які представляють собою добуток вагових коефіцієнтів факторів і кількісних показників, що визначають якісні характеристики рівнів ризику польотних ситуацій залежно від їх складності (табл. 3.4), які отримані за допомогою нечіткої логіки [287].

Таблиця 3.4

Коефіцієнти	Польотна ситуація				
	проста ситуація	ускладнена ситуація	складна ситуація	аварійна ситуація	катастрофічна ситуація
Рівень ризику, R	0,1	0,35	0,6	0,8	1
Коефіцієнт ризику, $K_1$	10	35	60	80	100
Коефіцієнт ризику, $K_2$	10	30	50	80	100



*a*
*б*

Рис. 3.4. Значущість індивідуально-психологічних факторів  
 військових пілотів (а) і штурманів (б) в умовах розвитку польотних  
 ситуацій з урахуванням рівня ризику польотної ситуації

Модифіковані коефіцієнти факторів, що отримано з урахуванням рівня ризику польотної ситуації, кількісні показники яких відповідають значенням лінгвістичної змінної «Рівень ризику», наведено в табл. 3.5. Моделі переваг значущості індивідуально-психологічних якостей Л-О (пілота і штурмана ВА)  $\bar{F}_{ip} = \{f_{ipt}, f_{ipa}, f_{ipp}, f_{ipth}, f_{ipi}, f_{ipn}, f_{ipw}, f_{iph}, f_{exp}\}$ , які змінюються залежно від розвитку польотної ситуації  $\bar{G}_s = \{G_{s1}, G_{s2}, G_{s3}, G_{s4}, G_{s5}\}$ , наведено на рис. 3.4 а та 3.4 б.

Аналіз змін у системах переваг військових пілотів і штурманів (табл. 3.3, 3.5 та рис. 3.3, 3.4) показує, що з розвитком польотної ситуації до катастрофічної у пілотів зростає значущість темпераменту та сприйняття інформації за рахунок зменшення уваги, уяви, волі. Але в момент аварійної ситуації явними є пріоритети темпераменту, сприйняття інформації, досвіду, здоров'я. У штурманів незалежно від розвитку польотної ситуації на першому місці – досвід, воля, а в разі ускладнення польотної ситуації зростає значущість уваги, сприйняття інформації. Для штурманів ВА темперамент і уява мають меншу значущість, ніж для пілотів ВА.

Таблиця 3.5

**Система переваг Л-О (військових пілотів і штурманів) значущості індивідуально-психологічних факторів**

№ з/п	Індивідуально-психологічні фактори	Модифіковані коефіцієнти факторів, $\omega$									
		Проста ситуація, $G_{s1}$		Ускладнена ситуація, $G_{s2}$		Складна ситуація, $G_{s3}$		Аварійна ситуація, $G_{s4}$		Катастрофічна ситуація, $G_{s5}$	
		Пілот	Штурман	Пілот	Штурман	Пілот	Штурман	Пілот	Штурман	Пілот	Штурман
1	Темперамент	1,1	0,2	3,3	0,9	6,5	2,0	13,6	5,6	17,0	4,0
2	Увага	1,6	1,3	4,8	4,8	8,0	8,0	8,8	12,8	11,0	13,0
3	Сприйняття	0,7	0,9	2,7	3,0	4,5	6,5	13,6	10,4	17,0	16,0
4	Мислення	0,4	1,1	2,1	3,0	3,5	5,5	5,6	7,2	7,0	9,0
5	Уява	0,9	0,7	1,2	0,9	2,0	1,0	2,4	1,6	3,0	2,0
6	Натура	0,2	0,4	0,6	2,1	1,0	3,5	1,6	3,2	2,0	7,0
7	Воля	1,3	1,8	3,9	5,4	5,5	9,0	7,2	14,4	9,0	18,0
8	Здоров'я	1,9	1,6	5,7	3,9	9,5	4,5	13,6	8,8	17,0	11,0
9	Досвід	1,9	2,0	5,7	6,0	9,5	10,0	13,6	16,0	17,0	20,0
	Рівень ризику, од.	10	10	30	30	50	50	80	80	100	100

**Вплив системи переваг на концепцію поведінки пілотів та диспетчерів ЦА.** Вибір у бік позитивного полюса А чи негативного полюса В визначається концепцією раціональної (нераціональної) поведінки Л-О АНС в момент вибору. На Л-О в момент вибору впливає соціальне середовище, в якому вона перебуває. Тобто, концепція поведінки індивідуума залежить від системи переваг Л-О. Концепція раціональної поведінки Л-О АНС в момент вибору визначається системою переваг «норма»  $\gamma = \rho_n$ , отриманою в результаті проведеного експертного опитування респондентів різних вікових груп – пілотів і диспетчерів ЦА, пілотів і штурманів ВА, що на даний момент працюють в Україні (табл. 3.1, 3.5). Концепція нераціональної поведінки  $\bar{\gamma} = \rho$  відтворює значні відхилення в системі переваг Л-О, що призводить до вибору в бік негативного полюсу. Якщо система переваг індивіда в конкретній ситуації вибору визначається відповідно до табл. 3.1, 3.5, то Л-О здійснює вибір у бік позитивного полюса А:

$$\rho = S_p(F_{sp}) \cup S_p(F_{ip});$$

$$\sum_{sp=1}^n S_p(F_{sp}) = 1;$$

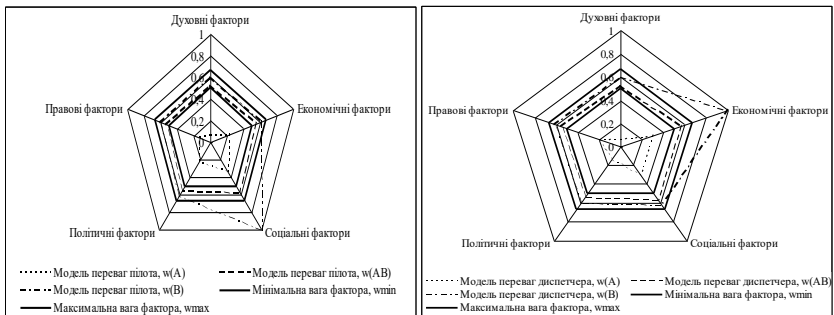
$$\sum_{ip=1}^n S_p(F_{ip}) = 1,$$

де  $S_p(F_{sp})$  – система переваг Л-О значущості соціально-психологічних факторів у разі ПР в позаштатній ситуації, визначена експертним шляхом на множині соціально-психологічних якостей оператора (моральні, економічні, соціальні, політичні, правові фактори),  $\bar{F}_{sp} = \{f_{spm}, f_{spe}, f_{sps}, f_{spp}, f_{spl}\}$ ;  $S_p(F_{ip})$  – система переваг Л-О значущості індивідуально-психологічних факторів у разі ПР в позаштатній ситуації, визначена експертним шляхом на множині індивідуально-психологічних якостей оператора

(темперамент, увага, сприйняття, мислення, уява, натура, воля, здоров'я, досвід),  $\bar{F}_{ip} = \{f_{ipt}, f_{ira}, f_{irp}, f_{irph}, f_{ipi}, f_{ipn}, f_{ipw}, f_{iph}, f_{exp}\}$ .

Вибір Л-О в сторону позитивного полюса А відповідає ваговим коефіцієнтам соціально-психологічних та індивідуально-психологічних факторів в межах  $A \subset [1/2; 2/3]$ . Якщо один з факторів множин  $\bar{F}_{sp}$  і  $\bar{F}_{ip}$  або відсутній, або виходить за межі системи, то виникає ймовірність вибору Л-О в сторону негативного полюсу В. Моделі переваг пілотів і диспетчерів ЦА (рис. 3.5) у разі вибору у бік позитивного полюсу  $w(A)$ , негативного полюсу  $w(B)$  та однакового тиску при виборі в бік позитивного і негативного полюсів  $w(A)=w(B)=w(AB)$  побудовані за розрахунками, що наведені в табл. 3.6.

Для оцінювання поведінкової діяльності оператора АНС як СТС з урахуванням його моделей переваг щодо впливу факторів професійної і непрофесійної діяльності використано графічний метод оцінки ситуації «Павук-ЦЗ». Даний метод надає інформацію про переваги оператора, його професійні якості, емоційний стан у вигляді схеми (діаграми) і дозволяє по зображенню оцінювати моделі поведінки оператора



*а*

*б*

Рис. 3.5. Моделі переваг пілотів (*а*) і диспетчерів (*б*) ЦА у разі вибору у бік позитивного полюсу  $w(A)$ , негативного полюсу  $w(B)$  та однакового тиску при виборі в бік позитивного і негативного полюсів  $w(A)=w(B)=w(AB)$

Таблиця 3.6

**Система переваг пілотів і диспетчерів ЦА у разі вибору у бік позитивного полюсу  $w(A)$ , негативного полюсу  $w(B)$  та однакового тиску при виборі в бік позитивного і негативного полюсів  $w(AB)$**

Соціально-психологічні фактори	Духовні фактори	Економічні фактори	Соціальні фактори	Політичні фактори	Правові фактори
<b>Система переваг пілота</b>					
Ранг фактора, $r$	5	2,5	1	2,5	4
Вага фактора, $w(A)$	0,07	0,23	0,33	0,23	0,14
Вага фактора, $w(AB)$	0,52	0,55	0,57	0,55	0,53
Вага фактора, $w(B)$	0,60	0,61	1,00	0,61	0,60
<b>Система переваг диспетчера</b>					
Ранг фактора, $r$	5	1,5	1,5	4	3
Вага фактора, $w(A)$	0,07	0,30	0,30	0,13	0,20
Вага фактора, $w(AB)$	0,52	0,57	0,57	0,53	0,55
Вага фактора, $w(B)$	0,60	1,00	0,61	0,60	0,61
<b>Система переваг пілота і диспетчера, разом</b>					
Ранг фактора, $r$	5	2	1	4	3
Вага фактора, $w(A)$	0,07	0,27	0,33	0,13	0,20
Вага фактора, $w(AB)$	0,52	0,56	0,57	0,53	0,52
Вага фактора, $w(B)$	0,60	0,61	0,61	0,60	0,60
Мінімальне значення ваги фактора, $w_{\min}$	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Максимальне значення ваги фактора, $w_{\max}$	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67

На рис. 3.6 наведено приклад оцінювання індивідуальної моделі пілота ЦА, яка порівнюється з базовою моделлю – системою агрегованих показників значень соціально-психологічних, індивідуально-психологічних та психофізіологічних факторів, а також соціонічних, соціометричних показників і показників професійного відбору, які впливають на ПР Л-О АНС у разі виникнення позаштатної польотної ситуації.

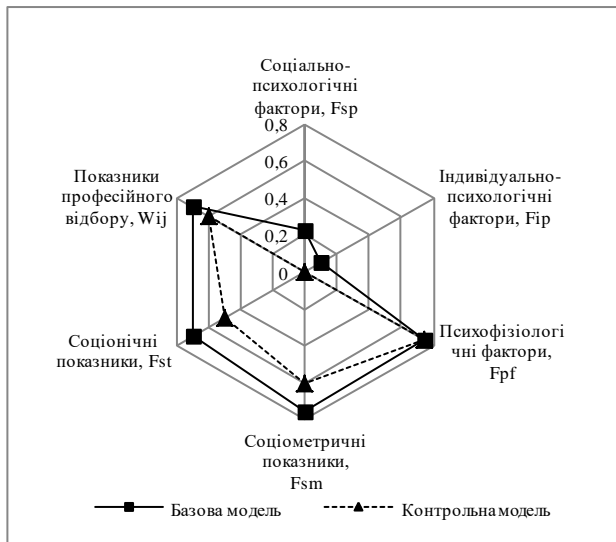


Рис. 3.6. Графічне представлення діагностування оператора у системі полярних координат

Якщо оцінювати стани факторів, які впливають на ПР Л-О (відповідність або невідповідність базовим показникам), логічними змінними 0 або 1, отримуємо замкнений полігон у випадку відповідності всіх факторів заданим межам. У разі наявності розриву полігону уточнюється причина невідповідності індивідуальної і базової моделей.

**Використання результатів діагностування та оцінювання індивідуальних якостей Л-О АНС.** Результати діагностування і оцінювання професійних та непрофесійних



факторів застосовуються в СППР авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях [261; 262], в автоматизованій системі підготовки передпольотної інформації (АС ППІ), для моделювання розвитку польотної ситуації у разі виникнення особливого випадку в польоті, в системі професійного відбору Л-О АНС, для апостеріорного аналізу АП, для діагностики соціально-психологічних та індивідуально-психологічних якостей Л-О з метою пролонгованого корегування в процесі навчання, стажування та професійної діяльності оператора АНС (рис. 3.7) [135; 144; 224; 225–227].

Значення психофізіологічних факторів отримуються за допомогою комп'ютерної програми «Діагностика емоційного стану людини-оператора», що призначена для збору даних про роботу екіпажу, аналізу дій Л-О і прогнозування функціональної стійкості АНС. Моніторинг поточного емоційного стану Л-О і діагностика деформацій емоційного досвіду у вигляді переходів до небезпечних типів діяльності Л-О (розсудливого або емоційного) в екстремальних ситуаціях та визначення функціональної стійкості Л-О як ланки АНС, дозволяють своєчасно попередити розвиток польотної ситуації у бік погіршення. Отримана інформація може бути використана в рамках програми аудитів безпеки польотів LOSA «Line operations Safety Audit» з метою створення бази даних дій екіпажів в реальних польотах [270; 276]. Проблема автоматичного моніторингу стану людини є важливою в інших багатьох випадках: пацієнтам лікарень протягом періоду реабілітації часто потрібний цілодобовий контроль за функціонуванням відповідних внутрішніх органів (нирки, легені, мозок, селезінка, серце, кишечник тощо; під час лікування людини велике значення має її психоемоційний стан - діагностування і коригування психоемоційного стану позитивно впливає на результат лікування. В умовах розвитку та вдосконалення технологій сучасної інтелектуальної системи автоматизованого управління можна вирішити задачу ефективного моніторингу стану людини.

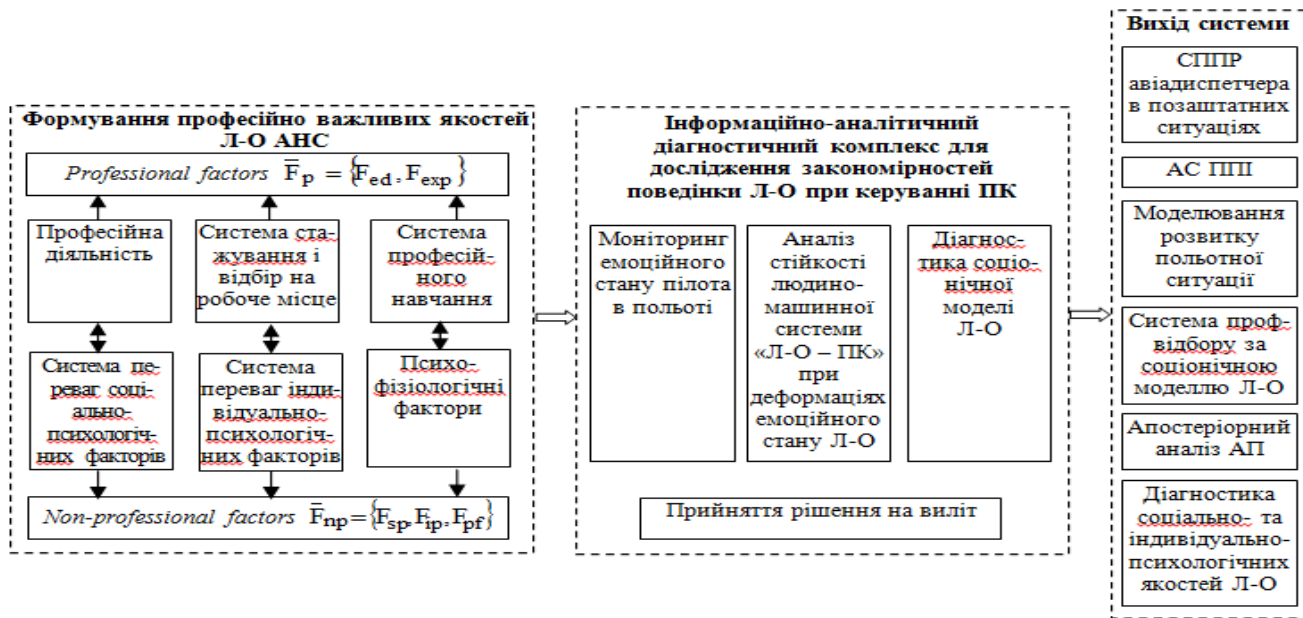


Рис. 3.7. Застосування результатів діагностики індивідуальних якостей Л-О АНС

### 3.2. Рефлексивні моделі біполярного вибору оператором аеронавігаційної системи

В основу моделювання поведінкової діяльності Л-О в АНС як соціотехнічної системи покладено відому теорію рефлексії В.О. Лефевра (теорія швидкої рефлексії, *fast reflexion*, *Lefebvre*, 1987) [86; 87]. Теорія швидкої рефлексії відрізняється від класичної рефлексії, за якою *рефлексія це здатність свідомості зосередитися на собі* [111]. За В.О. Лефевром, *рефлексія свідомості виявляється в інтуїтивному мисленні*. По суті, рефлексія свідомості В. Лефевра є синонімом совісті (в англійській мові совість означає і свідомість, і совість – «conscience»). В.І. Даль тлумачив поняття «совість» як моральне усвідомлення добра та зла, тайник душі, в якому висловлюється схвалення або засудження кожного вчинку; здатність розпізнати якість вчинку, відчуття, що спонукає до істини і добра, відвертає від неправди і зла; невільна любов до добра і істини; вроджена правда [48]. Як стверджує В.О. Лефевр, у психіку людини від народження немовби вбудований інформаційний процесор, функція якого – автоматична генерація образів разом з їхнім суб'єктивним світом. Робота цього процесора породжує специфічний спектр людських реакцій, які перебігають надзвичайно швидко (одна – дві мілісекунди) і ніяк свідомо не контролюються [86]. У книзі В.О. Лефевра «Алгебра совісті» [87] вперше було розглянуто питання про існування формальних законів оперування категоріями добра і зла, побудовано теорію, що описує автоматизм прийняття моральних рішень, виявлено, що є дві етичні системи, що визначають психологічні профілі людей в умовах конфлікту і співробітництва. У працях В.О. Лефевра [86; 87] розглядається ситуація, коли людина стоїть перед біполярним вибором однієї з двох альтернатив, одна з яких оцінюється позитивно, а друга – негативно. За допомогою булевої алгебри В.О. Лефевр моделює складні розумові процеси, які відбуваються в свідомості людини [86; 87]. Методи рефлексивного і інформаційного управління під час ПР у конфліктних ситуаціях за допомогою когнітивного моделювання також представлені в роботах Т.А. Таран, В.М. Шемаєва [153]. В.О. Лефевр вводить поняття

автоматичного і навмисного вибору, а рефлексивна модель дає змогу внести різницю між цими випадками.

У простішому випадку, коли внутрішній світ суб'єкта не містить образів інших суб'єктів, згідно з теорією рефлексії В.О.Лефевра [86; 87], вибір Л-О описується функцією:

$$X = f(x_1, x_2, x_3),$$

де  $X(x_1, x_2, x_3)$  – імовірність, з якою Л-О готовий обрати позитивний полюс  $A$  у реальності;  $x_1$  – тиск зовнішнього середовища на Л-О у бік позитивної альтернативи в момент вибору,  $x_1 \in [0, 1]$ ;  $x_2$  – тиск у бік позитивної альтернативи в момент вибору, очікуване суб'єктом на основі його попереднього досвіду,  $x_2 \in [0, 1]$ ;  $x_3$  – інтенція (вольовий вибір) суб'єкта здійснити вибір в сторону позитивного полюса,  $x_3 \in [0, 1]$ .

Змінна  $x_3$  виражає волю (намір, інтенцію) суб'єкта, змінна  $X$  – його поведінку. *Автоматичне управління* не залежить від волі, а отже поведінка людини в момент автоматичного вибору не залежить від його волі  $x_3$ , а залежить від тиску зовнішнього середовища  $x_1$  або його попереднього досвіду  $x_2$ . Вибір суб'єкта може бути *навмисний*, тоді поведінка суб'єкта  $X$  залежить тільки від вольового вибору  $x_3$  [86]. З основного рівняння теорії рефлексії [86] випливає, що при автоматичному виборі одна зі змінних ( $x_1, x_2$ ) приймає значення 1. У разі навмисного вибору  $x_1 = x_2 = 0$ .

Тобто при ПР у разі виникнення позаштатної ситуації в неочікуваних умовах експлуатації ПК Л-О діє автоматично, під впливом зовнішнього середовища (соціальне середовище, професійний досвід). Отримано моделі поведінкової діяльності Л-О в польотних ситуаціях (штатних і позаштатних) – рефлексивні моделі біполярного вибору в бік позитивного чи негативного полюса [86; 87]. Модель представляє собою суб'єкта (Л-О), що перебуває перед вибором однієї з альтернатив:  $A$  (позитивний полюс) і  $B$  (негативний полюс) під тиском зовнішнього середовища, попереднього досвіду Л-О, вольового вибору (інтенції) Л-О.

Тобто, при автоматичному виборі, що зазвичай відбувається в неочікуваних позаштатних ситуаціях, тиск зовнішнього середовища  $x_1$  може виступати в якості керувальної дії в момент вибору. Т.А. Таран, В.М. Шемаєв запропонували принцип рефлексивного управління за допомогою когнітивного моделювання [153]. Принцип рефлексивного управління за теорією Т.А. полягає в такому: щоб схилити суб'єкта до рішення, яке нав'язує йому зовнішнє середовище, необхідно, щоб суб'єкт мав неадекватно завищену самооцінку в момент вибору [153].

Розглянемо моделювання ПР Л-О в АНС як СТС. Очікуваний ризик ПР Л-О в ОВП становить:

$$R_{\text{ПР}} = \begin{cases} R_A = X(x_1, x_2, x_3), \gamma, \rho); \\ R_B = X(q_1, q_2, q_3), \bar{\gamma}, \rho); \\ R_{AB} = X(\gamma, \rho), \end{cases}$$

де  $R_A$  – очікуваний ризик ПР Л-О у бік позитивного полюса  $A$ ;  $R_B$  – очікуваний ризик ПР Л-О у бік негативного полюсу  $B$ ;  $X(q_1, q_2, q_3)$  – імовірність, з якою Л-О готовий обрати негативний полюс  $B$ ;  $q_1 = 1 - x_1$  – тиск зовнішнього середовища на Л-О у бік негативної альтернативи в момент вибору,  $q_1 \in [0, 1]$ ;  $q_2 = 1 - x_2$  – тиск попереднього досвіду Л-О у бік негативної альтернативи в момент вибору,  $q_2 \in [0, 1]$ ;  $q_3 = 1 - x_3$  – вольовий вибір (інтенція) Л-О у бік негативної альтернативи в момент вибору,  $q_3 \in [0, 1]$ ;  $\gamma$  – концепція раціональної поведінки індивіда;  $\bar{\gamma}$  – концепція нераціональної поведінки індивіда;  $\rho$  – система переваг індивіда в конкретній ситуації вибору;  $R_{AB}$  – змішаний вибір Л-О.

Вибір у бік позитивного полюса  $A$  чи негативного полюса  $B$  визначається концепцією раціональної (нераціональної) поведінки Л-О в момент вибору. На Л-О в момент вибору впливає соціальне середовище, в якому вона перебуває. Тобто концепція поведінки індивідуума залежить від системи переваг Л-О. Концепція раціональної поведінки Л-О АНС в момент вибору визначається системою переваг «норма»  $\gamma = \rho_n$ , отриманою в результаті проведеного експертного опитування респондентів різних вікових груп – пілотів, диспетчерів і пілотів

ЦА, штурманів ВА, що на даний момент працюють в Україні (див. табл. 3.2–3.4). Якщо вибір у бік позитивного полюсу А визначається концепцією раціональної поведінки Л-О ( $\gamma = \rho_n$ ), оператор намагається мінімізувати ризик (збитки), тоді очікуваний ризик визначається за формулою:

$$R_A = X(x_1, x_2, x_3, \gamma, \rho) = \min \{R_{ij}\}, R_{ij} = \sum_{j=1}^m p_{ij} u_{ij},$$

$$i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m},$$

де  $R_{ij}$  – очікуваний ризик;  $p_{ij}$  – імовірність впливу  $j$ -го фактора при виборі  $i$ -ї альтернативи,  $\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1$ ;  $u_{ij}$  – збиток, пов'язаний з вибором  $i$ -ї альтернативи при впливі  $j$ -го фактора;  $\gamma = \rho_n$  – нормалізована концепція поведінки у разі норма-системи переваг (див. табл. 3.2–3.4).

Концепція нераціональної поведінки  $\bar{\gamma} = \rho$  відтворює значні відхилення в системі переваг Л-О, що призводить до вибору в бік негативного полюсу з ймовірністю  $Q_B$ :

$$R_B = X(q_1, q_2, q_3, \bar{\gamma}, \bar{\rho}) = Q_B.$$

Багатошарова модель у вигляді шарів – дерев рішень з вершинами-рішеннями та випадковими вершинами (рис. 3.8):

1) шар «вибір Л-О  $R_{ПР}^A, R_{ПР}^B$ » (пілот/диспетчер):

$$R^1(x_1, x_2, x_3) \vee R^2(x_1, x_2, x_3),$$

$$R^1(q_1, q_2, q_3) \vee R^2(q_1, q_2, q_3),$$

де  $R^1(x_1, x_2, x_3)$  - автоматичний вибір в бік позитивного полюса А;  $R^2(x_1, x_2, x_3)$  - навмисний (вольовий) вибір в бік негативного полюса В; *випадкові вершини*:  $x_1$  – тиск зовнішнього середовища на Л-О у бік позитивного полюса;  $x_2$  – тиск попереднього досвіду Л-О у бік позитивного полюса;  $x_3$  – вольовий вибір (інтенція) Л-О у бік позитивного полюса;  $q_1 = 1 - x_1$  – тиск зовнішнього середовища на Л-О у бік негативного полюса;  $q_2 = 1 - x_2$  – тиск попереднього досвіду Л-О у бік негативного полюса;  $q_3 = 1 - x_3$  – вольовий вибір (інтенція) Л-О

у бік негативного полюса; *вершини-рішення*:  $R_{\text{ПР}}^A, R_{\text{ПР}}^B$  – ПР Л-О у бік позитивного  $A$  або негативного  $B$  полюса.

2) шар «вплив середовища (суспільство)  $R_{\text{ПР}}^A, R_{\text{ПР}}^B$ »:

$$R^1(x_1, x_2, x_3) \vee R^2(x_1, x_2, x_3),$$

$$R^1(q_1, q_2, q_3) \vee R^2(q_1, q_2, q_3),$$

3) шар «вплив середовища (природні умови)  $R$ » (вершини-рішення: ПР Л-О, випадкові вершини:  $p_1, p_2, p_3$  – імовірність розвитку ситуації в залежності від умов зовнішнього середовища (наприклад, метеоумов)).

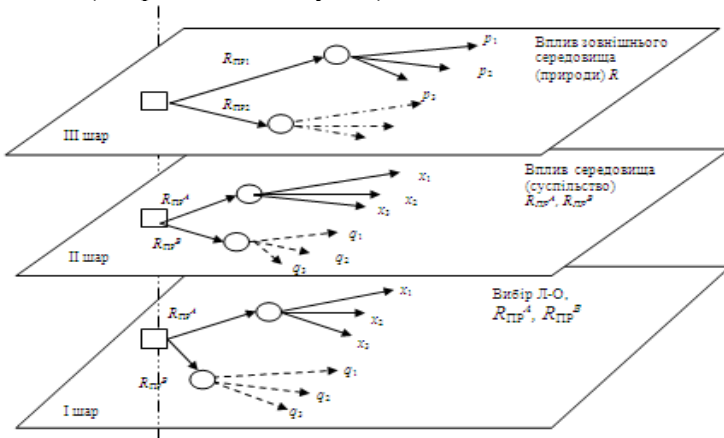


Рис. 3.8. Модель рефлексивного біполярного вибору:  $R^1$  – автоматичний вибір Л-О;  $R^2$  – вольовий вибір

У простішому випадку, коли внутрішній світ суб'єкта не містить образів других суб'єктів, вибір Л-О описується функцією:

$$X_1 = f(x_1, x_2, x_3) = F(x_1, F(x_2, x_3)) = F(x_1, x_2),$$

де  $X_1$  – імовірність, з якою Л-О готовий обрати позитивний полюс  $A$ ;  $x_1$  – тиск зовнішнього середовища на Л-О у бік позитивного полюса;  $x_2$  – тиск попереднього досвіду Л-О у бік позитивного полюса;  $x_3$  – вольовий вибір (інтенція) Л-О у бік позитивного полюса;  $F(x_2, x_3) = X_2$  – образ самого себе, наявний у суб'єкта.

Процес когнітивних обчислень вибору суб'єкта  $X_1$  починається спочатку з визнання об'єктом образу себе  $X_2 = F(x_2, x_3)$ , а потім знаходиться вибір суб'єкта  $X_1 = F(x_1, x_2)$ . Визначення можливих дій Л-О у разі виникненні позаштатних ситуацій є важливим для прогнозування дій Л-О в неочікуваних умовах експлуатації ПК, коли Л-О діє не за стандартними технологіями, а приймає інтуїтивні рішення під впливом факторів професійного і непрофесійного характеру. Керівництво з льотної експлуатації розраховано тільки на очікувані умови експлуатації ПК і не включає в себе дії екіпажа в екстремальних умовах, зустрічі з якими можна надійно уникнути шляхом введення експлуатаційних обмежень і правил. Основна ж частина авіаційних подій виникає в так званих неочікуваних умовах експлуатації ПК.

У нормальній ситуації оператором виконуються стандартні процедури пілотування та обслуговування повітряного руху, які чітко регламентовані нормативними документами. Позаштатні ситуації вимагають оперативного втручання Л-О в розвиток подій для попередження переходу ситуації в ранг катастрофічної. Дослідження закономірностей діяльності Л-О у разі автоматичного і вольового вибору, в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК, дозволяє прогнозувати дії Л-О в екстремальних умовах з упередженням, тим самим управляти розвитком польотної ситуації.

Людина здійснює свій вибір автоматично чи за попереднім плануванням. Рефлексивна модель біполярного вибору дає змогу визначити та формалізувати поведінкову діяльність Л-О за різних типів вибору: автоматичному  $R^1$  чи вольового  $R^2$  [86].

*1 випадок. Автоматичний вибір  $R^1$ .* Автоматична поведінка це така, що не залежить від волі людини. Функція рефлексії не залежить від  $x_3$  і  $X_1$  дорівнює:

$$X_1 = f(x_1, x_2, x_3) = f(x_1, x_2), x_3 = 0.$$

Тобто, якщо Л-О діє автоматично ( $R^1$ ), її вибір не залежить від волі  $x_3$ , а залежить від попереднього досвіду  $x_2$  і впливу зовнішнього середовища  $x_1$ . Позитивний ( $A$ ) чи негативний вибір ( $B$ ) залежить від характеристик зовнішнього середовища, тобто впливу соціально-психологічних факторів(суспільства).



2 випадок. Навмисний вибір  $R^2$ . Якщо Л-О діє свідомо ( $R^2$ ), приймає вольове рішення, то її вибір  $X_1$  залежить від  $x_3$  (волі, інтенції, бажання, наміру), і не залежить від зовнішнього впливу  $x_1$ , тобто соціально-психологічних факторів):

$$X_1 = f(x_1, x_2, x_3) = f(x_3), x_1 = 0, x_2 = 0.$$

Позитивний ( $A$ ) чи негативний вибір ( $B$ ) залежить від вольового рішення Л-О тобто від попереднього досвіду і дії безпосередньо професійних факторів також. Можливі змішані випадки, в яких поведінкова дія визначається імовірністю, з якою людина приймає рішення. Основне рівняння, що визначає готовність суб'єкта обрати позитивний полюс має вигляд:

$$X_1 = f(x_1, x_2, x_3) = x_1 + (1 - x_1)(1 - x_2) x_3.$$

Модель являє собою суб'єкта (Л-О), що перебуває перед біполярним вибором однієї з альтернатив:  $A$  (позитивний полюс) і  $B$  (негативний полюс) в очікуваних (неочікуваних) умовах експлуатації ПК (рис. 3.9).

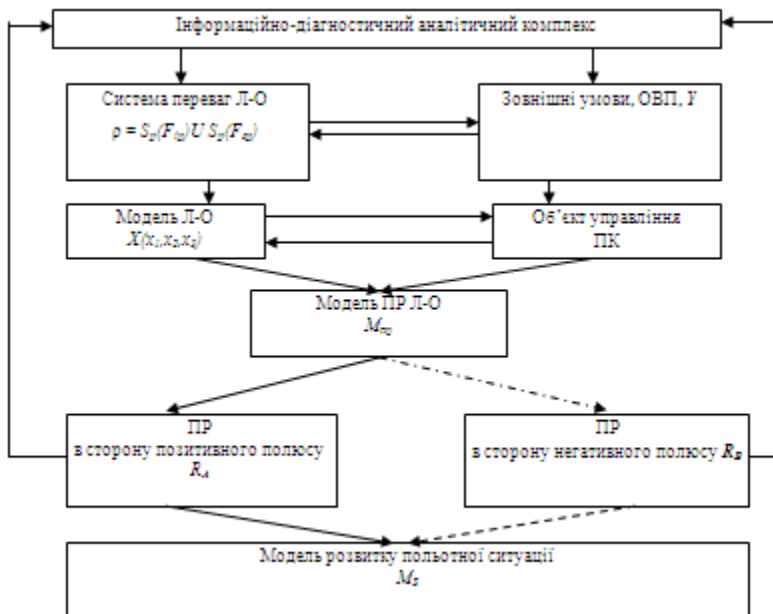


Рис. 3.9. Схема рефлексивного управління ПР Л-О в сторону позитивного чи негативного полюсу

Модель виглядає як дерево рішень з вершинами-рішеннями та випадковими вершинами – імовірнісні реалізації вибору відповідно до впливу зовнішнього середовища (природи, суспільства). Вибір Л-О у бік  $A$  (позитивний полюс):  $M_{\text{ПР}}^A = f(x_1, x_2, x_3)$ . Вибір Л-О в сторону  $B$  (негативний полюс):  $M_{\text{ПР}}^B = f(z_1, z_2, z_3)$ , де  $z_1 = 1 - x_1$ ;  $z_2 = 1 - x_2$ ;  $z_3 = 1 - x_3$ . Модель ПР Л-О визначається на множині  $W$ -функцій, де  $W$ -функція – функція позитивного та негативного вибору, яка залежить від вхідних та вихідних дій, що впливають на Л-О. Визначимо  $W$ -функції позитивного та негативного вибору Л-О в очікуваних на неочікуваних умовах експлуатації ПК.

Якщо тиск у бік позитивного та негативного полюсів однаковий,  $x_1 = 1/2$ , очікуваний суб'єктом тиск в сторону позитивного полюса збігається з його наміром обрати позитивний полюс, тобто  $x_2 = X$ , з рівняння виходить вираз:

$$X = \frac{1 + x_3}{2 + x_3}.$$

Моделі переваг Л-О у випадку однакового тиску в бік позитивного та негативного полюсів наведено в табл. 3.7 і на рис. 3.10.

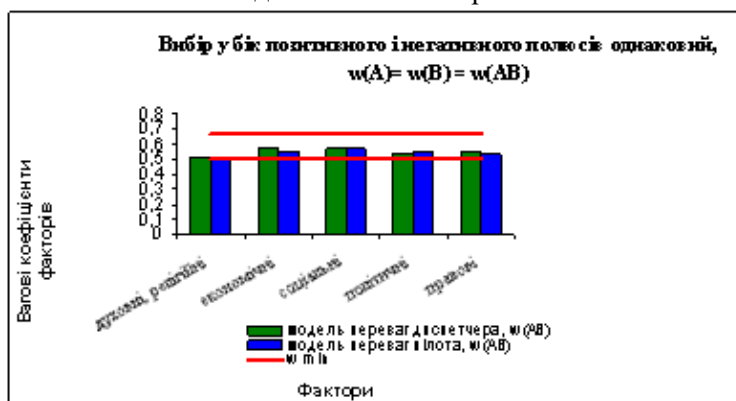
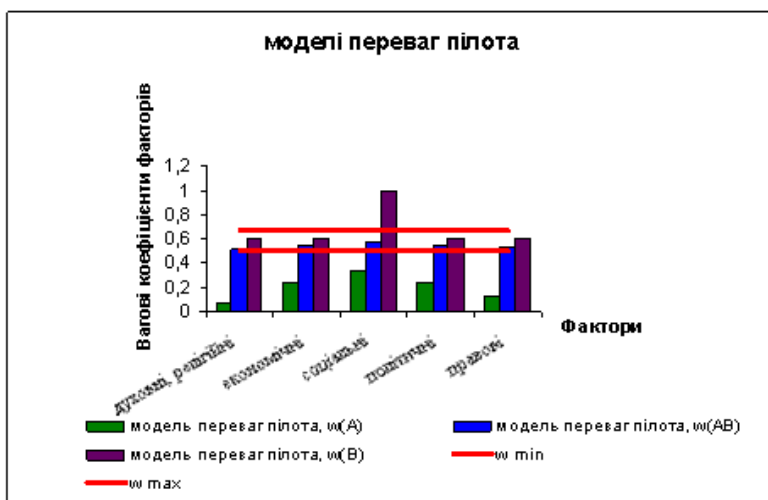
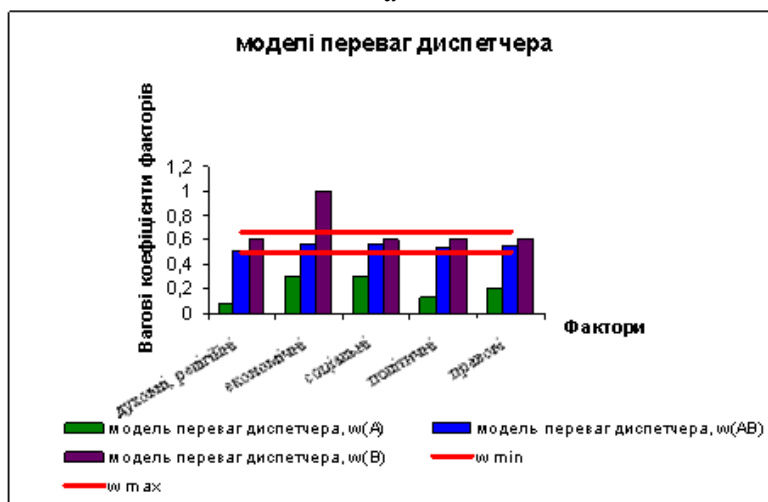


Рис. 3.10. Вибір, якщо тиск в сторони позитивного та негативного полюсів однаковий (пілоти, диспетчери)

Побудовані моделі переваг у разі вибору у бік позитивного полюсу  $w(A)$ , негативного полюсу  $w(B)$ , однаковий тиск в бік позитивного, негативного полюсу  $w(A) = w(B) = w(AB)$  пілота (рис. 3.11 а) і диспетчера (рис. 3.11 б) за розрахунками, що наведені в табл. 3.7.



*a*



*b*

Рис. 3.11. Моделі переваг пілота а), диспетчера б), якщо вибір в сторону позитивного полюсу (А), негативного полюсу (В) і тиск в сторони позитивного та негативного полюсів однаковий (АВ)

Таблиця 3.7

**Моделі переваг Л-О у випадку однакового тиску в бік позитивного та негативного полюсів**

№ з/п	Моделі переваг	Соціально-психологічні фактори				
		Духовні, релігійні	Економічні	Соціальні	Політичні	Правові
1	<b>Модель переваг диспетчерів</b>					
	Ранги	5	1,5	1,5	4	3
	Вагові коефіцієнти $w(A)$	0,0667	0,3	0,3	0,1333	0,2
	$w(A) = w(B) = w(AB)$	0,5161	0,5652	0,5652	0,5313	0,5455
2	<b>Модель переваг пілотів</b>					
	Ранги	5	2,5	1	2,5	4
	Вагові коефіцієнти $w(A)$	0,0667	0,2333	0,3333	0,2333	0,1333
	$w(A) = w(B) = w(AB)$	0,5161	0,5522	0,5714	0,5522	0,5313
3	<b>Моделі переваг (диспетчер, пілот разом)</b>					
	Ранги	5	2	1	4	3
	Вагові коефіцієнти $w(A)$	0,0667	0,2667	0,3333	0,1333	0,2
	$w(A) = w(B) = w(AB)$	0,5161	0,5588	0,5714	0,5313	0,5455
4	$w_{\min}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
5	$w_{\max}$	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67

Якщо наміри суб'єкта заздалегідь не відомі, тобто  $X = x_3$ , тоді з рівняння визначається:

$$X = \frac{\sqrt{5}-1}{2} = 0,618.$$

Якщо у суб'єкта наперед виникає позитивна інтенція, тоді  $x_3 = 1$  і  $X = 2/3$ , якщо негативна,  $x_3 = 0$ , тоді  $X = 1/2$ . Поява золотого перетину в експериментах з біполярними конструктами доказується рефлексивною моделлю. Серія експериментів, виконаних в США, показали, що респонденти в середньому оцінюють об'єкти позитивними полюсами біполярних конструкторів з частотою 0,62 [86]. Розглянемо модель Л-О відповідно до функціональної схеми АЕС «Л-О – ПК» на рис. 3.12, де Л-О представлено з точки зору теорії рефлексії, і визначимо можливі випадки ПР Л-О (рис. 3.13).

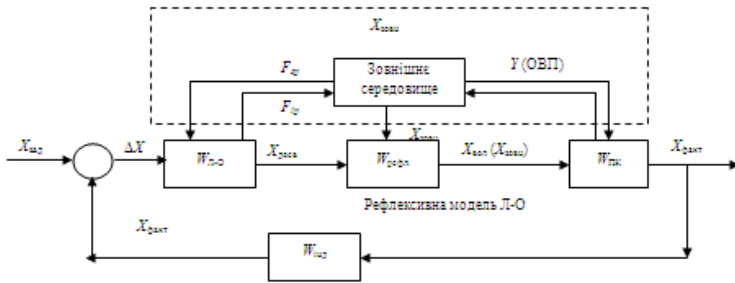


Рис. 3.12. Функціональна схема АЕС «Л-О – ПК», де Л-О представлена з точки зору теорії рефлексії

Визначимо множину функцій вибору  $W$ –функцію як функцію позитивного та негативного вибору Л-О, яка залежить від вхідних та вихідних дій, що впливають на Л-О:

$$W = \{W_1, W_2, W_3\},$$

де  $W_1 = \frac{x_{\text{вол}}}{x_{\text{досв}}}$  – функція впливу волі на Л-О, що керується досвідом;

$W_2 = \frac{x_{зовн}}{x_{вол}}$  – функція впливу зовнішнього середовища на

Л-О, що керується волею;

$W_3 = \frac{x_{вол}}{x_{зовн}}$  – функція волі Л-О, на яку впливає зовнішнє

середовище.

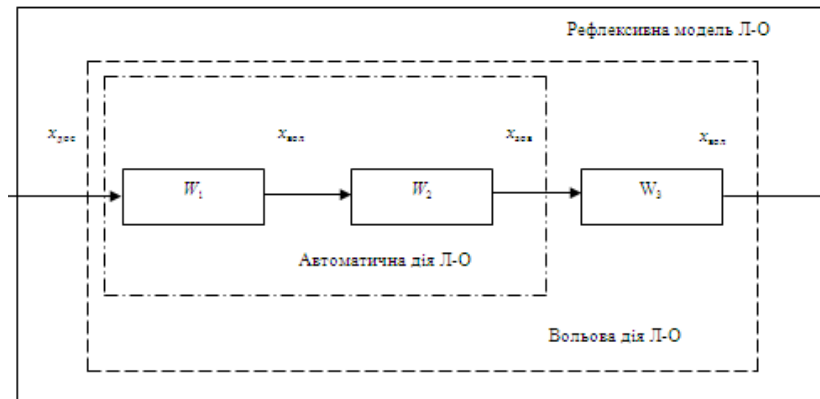


Рис. 3.13. Рефлексивна модель Л-О:  $x_{дос}$  – досвід;  $x_{вол}$  – воля;  $x_{зовн}$  – зовнішнє середовище;  $W_1$  – функція впливу волі на Л-О, що керується досвідом;  $W_2$  – функція впливу зовнішнього середовища на Л-О, що керується волею;  $W_3$  – функція впливу волі на Л-О, на яку впливає зовнішнє середовище

Розрахуємо  $W$ -функцію вибору для таких випадків:

1. Л-О діє автоматично (в неочікуваних умовах експлуатації ПК). При виборі Л-О в сторону  $A$ , маємо модель ПР Л-О:

$$W = W(R^1) = M_{\text{ПР}}^A = f(x_1, x_2, x_3) = W_1 W_2 = \frac{x_{вол}}{x_{досв}} \frac{x_{зовн}}{x_{вол}} = \frac{x_{зовн}}{x_{досв}}$$

Тобто, якщо Л-О діє автоматично, вибір здійснюється інтуїтивно, не залежить від волі  $x_{вол}$ , а залежить від попереднього досвіду  $x_{досв}$  і впливу зовнішнього середовища  $x_{зовн}$ . Позитивний ( $A$ ) чи негативний вибір ( $B$ ) залежить від характеристик зовнішнього середовища, тобто впливу соціально-психологічних чинників (суспільства).

2. Л-О приймає вольове рішення (в очікуваних умовах експлуатації ПК). При виборі Л-О в сторону А і маємо наступну модель ПР Л-О:

$$W = W(R^2) = M_{\text{ПР}}^A = f(x_1, x_2, x_3) = W_1 \ W_2 \ W_3 = \frac{x_{\text{вол}}}{x_{\text{досв}}} \ \frac{x_{\text{зовн}}}{x_{\text{вол}}}$$

$$\frac{x_{\text{вол}}}{x_{\text{зовн}}} = \frac{x_{\text{вол}}}{x_{\text{досв}}}$$

Якщо Л-О робить вольовий свідомий вибір, то її рішення залежить від досвіду  $x_{\text{досв}}$ , волі  $x_{\text{вол}}$  і не залежить від зовнішнього впливу  $x_{\text{зовн}}$ , тобто впливу соціально-психологічних чинників (суспільства). Позитивний (А) чи негативний вибір (В) залежить від вольового рішення Л-О (професійних факторів). Рефлексивна модель визначає імовірність ПР Л-О вибору в бік позитивного чи негативного полюсів та дає змогу формалізувати різницю між автоматичним та планованим (вольовим) вибором. Якщо Л-О діє автоматично, наприклад, в неочікуваних умовах експлуатації ПК, вона знаходиться під тиском зовнішнього середовища. Має значення лише попередній досвід Л-О і вона не встигає проявити волю (інтенцію). Тобто в автоматичному режимі ПР, в умовах швидкої рефлексії має значення характер суспільства – зовнішнього середовища. Відповідно до рефлексивної теорії біполярного вибору отримані очікувані ризики  $R_A$ ,  $R_B$  у разі виникнення ОВП. В момент ПР Л-О знаходиться під впливом зовнішнього середовища  $x_1$ , попереднього досвіду  $x_2$  та вольового вибору  $x_3$ . Очікуваний ризик у разі ПР Л-О дорівнює (автоматичний вибір):

$$R_{\text{ПР}}^1 = \begin{cases} R_A = X(x_1, x_2, \gamma, \rho); \\ R_B = X(q_1, q_2, \bar{\gamma}, \rho); \\ R_{AB} = X(\gamma, \rho), \end{cases}$$

де  $R_A$  – очікуваний ризик ПР Л-О в сторону позитивного полюсу А;  $R_B$  – очікуваний ризик ПР Л-О в сторону негативного полюсу В;  $\gamma$  – концепція раціональної поведінки індивіда;  $\bar{\gamma}$  – концепція нераціональної поведінки індивіда;  $\rho$  – система переваг індивіда в конкретній ситуації вибору;  $R_{AB}$  – змішаний вибір Л-О;  $x_1$  –

тиск зовнішнього середовища на Л-О у бік позитивного полюса;  $x_2$  – тиск попереднього досвіду Л-О у бік позитивного полюса;  $q_1 = 1 - x_1$  – тиск зовнішнього середовища на Л-О у бік негативного полюса;  $q_2 = 1 - x_2$  – тиск попереднього досвіду Л-О у бік негативного полюса  $B$ .

Очікуваний ризик в разі ПР Л-О дорівнює (*вольовий вибір*):

$$R_{\text{ПР}}^2 = \begin{cases} R_A = X(x_3), \gamma, \rho); \\ R_B = X(q_3), \bar{\gamma}, \rho); \\ R_{AB} = X(\gamma, \rho), \end{cases}$$

де  $R_A$  – очікуваний ризик ПР Л-О в бік позитивного полюса  $A$ ;  $R_B$  – очікуваний ризик ПР Л-О в бік негативного полюса  $B$ ;  $\gamma$  – концепція раціональної поведінки індивіда;  $\bar{\gamma}$  – концепція нераціональної поведінки індивіда;  $\rho$  – система переваг індивіда в конкретній ситуації вибору;  $R_{AB}$  – змішаний вибір Л-О;  $x_3$  – вольовий вибір (інтенція) Л-О в бік позитивного полюса;  $q_3 = 1 - x_3$  – вольовий вибір (інтенція) Л-О у бік негативного полюса  $B$ .

Якщо система переваг індивіда в конкретній ситуації вибору здійснюється вибір у бік позитивного полюса  $A$ :

$$\rho = S_p(F_{ip}) \cup S(F_{sp});$$

$$\sum_{sp=1}^n S_p(F_{sp}) = 1;$$

$$\sum_{sp=1}^n S_p(F_{ip}) = 1,$$

де  $S_p(F_{sp}) = f_{sps} \succ f_{spe}, f_{spp} \succ f_{spl} \succ f_{spm}$  – система переваг Л-О значущості соціально-психологічних факторів у разі ПР в аварійній ситуації визначена експертним шляхом на множині соціально-психологічних якостей Л-О (моральні, економічні, соціальні, політичні, правові тощо) –  $\bar{F}_{sp} = \{f_{spm}, f_{spe}, f_{sps}, f_{spp}, f_{spl}\}$ ;  $S_p(F_{ip})$  – система переваг Л-О значущості індивідуально-психологічних факторів у разі ПР в аварійній ситуації, визначена на множині індивідуально-психологічних якостей Л-О (темперамент, увага, сприйняття,



мислення, уява, натура, воля, здоров'я, досвід) –  
 $\overline{F}_{ip} = \{f_{ipt}, f_{ipa}, f_{ipp}, f_{ipth}, f_{ipi}, f_{ipn}, f_{ipw}, f_{iph}, f_{exp}\}.$

Якщо один з факторів множин  $\overline{F}_{sp}$  і  $\overline{F}_{ip}$  відсутній, або виходить за межі системи, то виникає імовірність вибору Л-О в сторону негативного полюсу  $B$ . Вибір в сторону позитивного полюсу  $A$  чи негативного полюсу  $B$  визначається концепцією раціональної (нераціональної) поведінки Л-О в момент вибору. Концепція поведінки індивідуума залежить від моделі переваг Л-О. Альтернативне рішення Л-О 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  $K$ . Правило вибору  $K$  відображає концепцію раціональної поведінки індивіда  $\gamma$  і його систему переваг  $\rho$  у конкретній ситуації вибору, тобто,  $\{\gamma, \rho\} \rightarrow K$  [252].

Якщо пілот, диспетчер і суспільство мають вибір у бік негативного полюсу  $B$ , моделі переваг можуть утворювати площину катастрофи  $K(w_p(B), w_d(B), w_s(B))$  (рис. 3.14):

– модель переваг пілота  $w_p(B) = S_p = f_{sps} \succ f_{spe}, f_{spp}, f_{spl}, f_{spm}$ ;

– модель переваг диспетчера

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

– модель переваг суспільства

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

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).

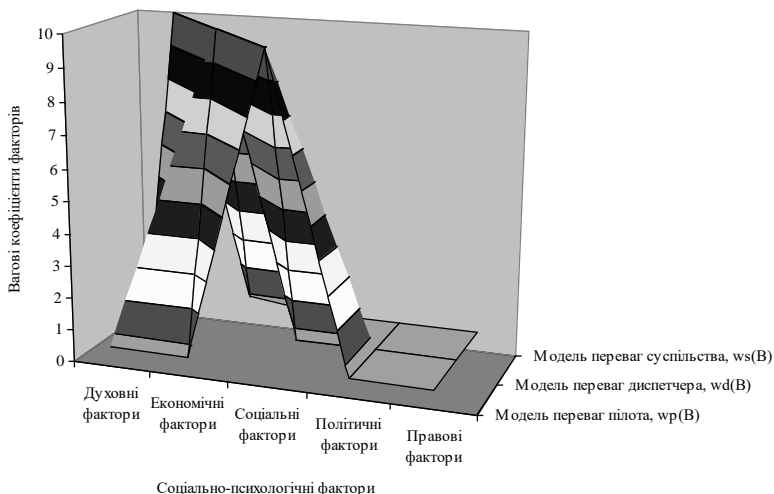


Рис. 3.14. Графічна інтерпретація моделі катастрофи  $K(w_p(B), w_d(B), w_s(B))$ :  $w_p(B)$  – модель переваг пілота,  $w_d(B)$  – модель переваг диспетчера;  $w_s(B)$  – модель переваг суспільства

Вибір Л-О в сторону позитивного полюсу А відповідає ваговим коефіцієнтам соціально-психологічних чинників в межах  $A \subset [1/2; 2/3]$ . Наприклад, система переваг пілота ВА на множині індивідуально-психологічних факторів  $\bar{F}_{ip}$  відображає об'єктивну характеристику рішення і психологію мислення індивіда, якою він керувався при раціональних діях, у випадках простої і катастрофічної ситуацій відповідно:

$$(f_{iph}, f_{exp}) \succ f_{ipa} \succ f_{ipw} \succ f_{ipt} \succ f_{ipi} \succ f_{ipp} \succ f_{ipth} \succ f_{ipn}$$

$$(f_{iph}, f_{exp}) \succ (f_{ipt}, f_{ipp}) \succ f_{ipa} \succ f_{ipw} \succ f_{ipth} \succ f_{ipi} \succ f_{ipn},$$

де  $f_{iph}$  – здоров'я;  $f_{ipexp}$  – досвід;  $f_{ipa}$  – увага;  $f_{ipw}$  – воля;  $f_{ipt}$  – темперамент;  $f_{ipi}$  – уява;  $f_{ipp}$  – 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 майже без змін. Отримані моделі визначають пріоритети військових пілотів і штурманів на множині соціально-психологічних факторів  $\overline{F}_{sp}$ :

$$f_{sps} \succ f_{spe} \succ f_{spl} \succ f_{spp} \succ f_{spm},$$

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

### 3.3. Графоаналітичні моделі прийняття рішень оператором соціотехнічної системи

Метою аналізу аварійних ситуацій технічних об'єктів є отримання висновків щодо правильності або ефективності реакції системи (спрацьовування захисних засобів, адекватних дій персоналу та ін.) на руйнівні дії розвитку небезпеки. Аварія розгортається в часі і, як правило, не може розглядатися як одномоментна подія. Розвиток аварійних ситуацій призводить до матеріальних збитків і інших небажаних наслідків. Тому виникає проблема розроблення «моделі аварійної ситуації» – узагальненої схеми виникнення і розвитку аварійної ситуації, застосування якої до конкретних аварій сприяло б виявленню факторів і дій, що зумовили заподіяння шкоди на кожному етапі розвитку подій. Динаміка розвитку ситуації, що приводить до АП, розглядається таким чином [134]: «У процесі розвитку негативного явища, яким завершується АП, в більшості випадків можуть мати місце кілька причин, які послідовно ускладнюють ситуацію і призводять до АП. Таким чином, АП в більшості випадків подія складна і є замикаючою в ланцюжку послідовних подій, що мають причинно-наслідкові зв'язки». Процес розвитку аварійної обстановки розглядається в праці [65], у якій зазначається що «Складні умови польоту – це ненавмисне ускладнення польоту, за якого немає безпосередньої загрози льотній події. Вони можуть бути обумовлені помилками

льотного складу, відмовами техніки, порушеннями в організації забезпечення польотів наземними службами. Екіпаж має можливість спокійно оцінити обстановку, прийняти потрібне рішення, що дозволяє локалізувати виникнення ускладнення.

*Аварійна ситуація* - ненавмисне ускладнення польоту, під час якого її розвиток відбувається досить швидко, однак швидкість відповідної реакції екіпажу порівнянна зі швидкістю ускладнення і дозволяє благополучно закінчити політ. Розвиток аварійної ситуації призводить до льотної події, а її локалізація – до того, що передумови до льотного події не реалізуються. Катастрофічна ситуація – ненавмисне ускладнення польоту, під час якого екіпаж не може врятувати ПК і попередити АП (рис. 3.15).

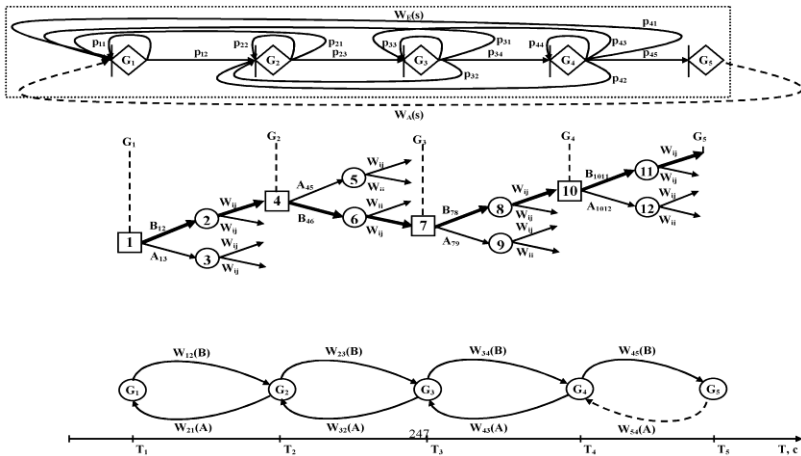


Рис. 3.15. Стохастичні моделі типу мережі GERT, дерева рішень та марковської мережі

За допомогою біполярної рефлексивної моделі поведінкової діяльності Л-О в екстремальних ситуаціях [86; 239; 286] отримано  $W$ -функції вибору в бік позитивного (негативного) полюса. Розрахунок одного із сценаріїв розвитку польотної ситуації як приклад заходу на посадку в СМУ [167; 232; 287; 289] наведено на рис. 3.16.

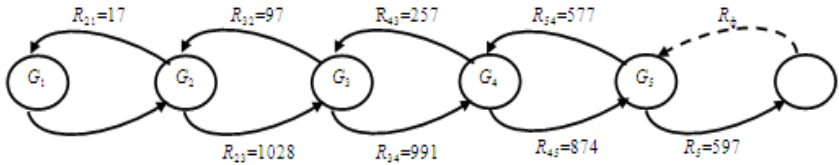


Рис. 3.16. Марковська мережа розвитку польотної ситуації:  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$ ,  $G_4$ ,  $G_5$  – нормальна, ускладнена, складна, аварійна, катастрофічна ситуації;  $R_{ij}$  – величина ризику при переході між польотними ситуаціями,  $R_\phi$  – величина ризику для фіктивної дуги

Проаналізуємо розвиток катастрофічної ситуації на прикладі заходу на посадку в СМУ, який наводився в розділі 2, за допомогою дерева рішень, стохастичної мережі GERT та марковської мережі (рис. 3.17), де маємо:

- $W_{ij}$ ,  $WE(s)$ ,  $WA(s)$  – коефіцієнти пропускання (i, j)-дуги, відкритої мережі та фіктивної дуги;
- $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$ ,  $G_4$ ,  $G_5$  – нормальна, ускладнена, складна, аварійна, катастрофічна ситуації;
- $A$ ,  $B$  – вибір у бік позитивного (негативного) полюса;  $p_{ii}$  ( $p_{11}$ ,  $p_{22}$ ,  $p_{33}$ ,  $p_{44}$ ) – імовірності стабілізації  $i$ -ї польотної ситуації,  $i = 1; n-1$ ;  $p_{i(i+1)}$  ( $p_{12}$ ,  $p_{23}$ ,  $p_{34}$ ,  $p_{45}$ ) – імовірності розвитку  $i$ -ї польотної ситуації в бік ускладнення;
- $p_{i(i-k)}$  ( $p_{21}$ ,  $p_{32}$ ,  $p_{43}$  – петлі 1-го порядку;  $p_{31}$ ,  $p_{42}$  – петлі 2-го порядку;  $p_{41}$  – петля 3-го порядку) – імовірності парировання ОВП,  $k = \overline{1;3}$ .

Результати розрахунку ризиків  $R_{ij}$  при переході між польотними ситуаціями за критерієм очікуваного значення методом динамічного програмування зведено в табл. 3.8 [285; 287]. Приклад розрахунку очікуваних ризиків при переході між польотними ситуаціями наведено на рис. 3.17. Вибір у бік негативного полюса В за сценарієм S1-2-3-4В приводить до максимального очікуваного ризику  $R = 1028$  у.о. Вибір у бік позитивного полюса А у разі виникненні ОВП на першому етапі ПР Л-О АНС (наприклад, політ на запасний аеродром в СМУ) має ризик в 60,5 разів менший  $R = 17$  у.о.

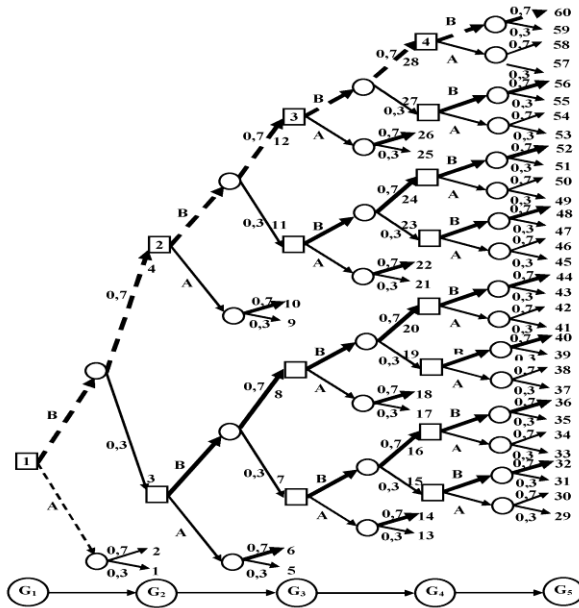


Рис. 3.17. Приклад розрахунку одного з сценаріїв розвитку польотної ситуації:  $A, B$  – вибір в бік позитивного або негативного полюса

Таблиця 3.8

**Результати розрахунку сценаріїв розвитку польотної ситуації**

Сценарій, $S$	Імовірність розвитку ситуації, $p$	Наслідки розвитку ситуації, $U$	Очікувані ризики, $R$
$S_{4B}$	0,7	60	597
	0,3	59	
$S_{3-4B}$	0,7	28	874
	0,3	27	
$S_{2-3-4B}$	0,7	12	991
	0,3	11	
$S_{1-2-3-4B}$	0,7	4	1028
	0,3	3	
$S_{1A}$	0,7	2	17
	0,3	1	

На рис. 3.18 наведена графічна інтерпретація впливу зовнішнього середовища на ПР (зовнішнє середовище має, наприклад, релігійну перевагу).

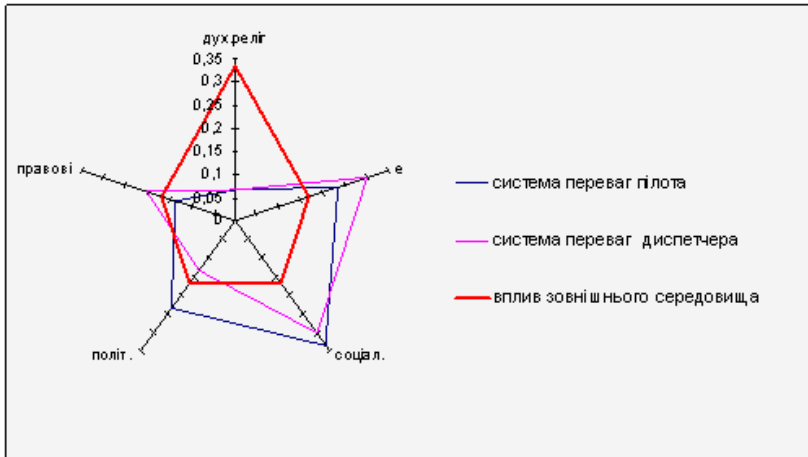


Рис. 3.18. Інтерпретація релігійних переваг зовнішнього середовища (суспільства)

Розглянуто системний підхід до побудови моделі прийняття рішення Л-О АНС в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК з комплексним урахуванням факторів на кожному етапі прийняття рішення [230; 231; 244; 253; 263]. При моделюванні розвитку польотних ситуацій доцільно використовувати орієнтовані графи. Були отримані моделі розвитку польотної ситуації  $M_c$  і моделі ПР Л-О АНС ЛПР з урахуванням індивідуальних якостей Л-О, що ПР, у вигляді орієнтованого графу  $\bar{G}$  (рис. 3.19). Подамо порівневу формалізацію графоаналітичної моделі ПР Л-О АНС.

*Перший рівень* (сприйняття інформації) можна описати множиною:

$$\bar{G}_i^I = \left\{ \bar{G}_{ii}^I \right\},$$

де  $\bar{G}_{ii}^I = \left\{ \bar{G}_{is}^I, \bar{G}_{ie}^I, \bar{G}_{ih}^I, \bar{G}_{iv}^I, \bar{G}_{iint}^I \right\}$  – множина каналів сприйняття інформації Л-О:  $\bar{G}_{is}^I$  – зоровий канал;  $\bar{G}_{ie}^I$  –

слуховий канал;  $\bar{G}_{ih}^I$  – тактильний канал;  $\bar{G}_{iv}^I$  – вербальний канал;  $\bar{G}_{int}^I$  – інтуїція.

При цьому  $\bar{G}_{ii}^I \in N$ -мірним бінарним вектором:

$$\bar{G}_{ii}^I = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \bar{G}_{ii}^I \in \bar{Z}_{ii}^I \\ 0, & \text{якщо } \bar{G}_{ii}^I \notin \bar{Z}_{ii}^I \end{cases},$$

де  $\bar{Z}_{ii}^I$  – множина отриманих сигналів (через зоровий, слуховий, тактильний, вербальний, інтуїтивний канали) на рівні сприйняття інформації.

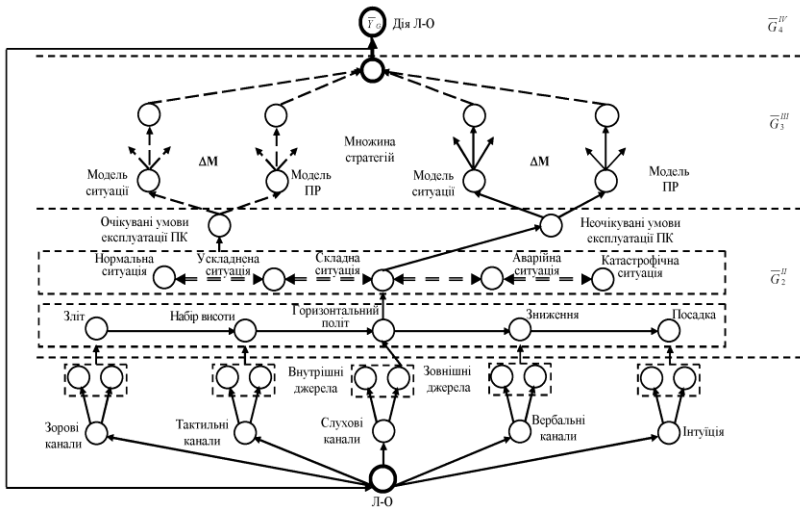


Рис. 3.19. Графоаналітична модель PR Л-О  $\bar{G}$

Другий рівень (ідентифікація ситуації) можна подати у вигляді множини:

$$\bar{G}_i^II = \{ \bar{G}_{pj}^II, \bar{G}_{sk}^II, \bar{G}_{cr}^II \},$$

де  $\bar{G}_{pj}^II = \{ \bar{G}_{p1}^II, \bar{G}_{p2}^II, \bar{G}_{p3}^II, \bar{G}_{p4}^II, \bar{G}_{p5}^II \}$  – підмножина етапів функціонування складного ОК (етапів польоту ПК):  $\bar{G}_{p1}^II$  – зліт;



$\bar{G}_{p2}^{II}$  – набір висоти;  $\bar{G}_{p3}^{II}$  – горизонтальний політ;  $\bar{G}_{p4}^{II}$  – зниження;  $\bar{G}_{p5}^{II}$  – посадка;  $\bar{G}_{cr}^{II} = \{\bar{G}_{c1}^{II}, \bar{G}_{c2}^{II}\}$  – підмножина умов експлуатації об'єкту управління (ПК);  $\bar{G}_{c1}^{II}$  – очікувані умови експлуатації ПК;  $\bar{G}_{c2}^{II}$  – неочікувані умови експлуатації ПК;  $\bar{G}_{sk}^{II} = \{\bar{G}_{s1}^{II}, \bar{G}_{s2}^{II}, \bar{G}_{s3}^{II}, \bar{G}_{s4}^{II}, \bar{G}_{s5}^{II}\}$  – підмножина розвитку польотної ситуації на кожному етапі функціонування об'єкту управління (ПК);  $\bar{G}_{s1}^{II}$  – нормальна ситуація;  $\bar{G}_{s2}^{II}$  – ускладнена ситуація;  $\bar{G}_{s3}^{II}$  – складна ситуація;  $\bar{G}_{s4}^{II}$  – аварійна ситуація;  $\bar{G}_{s5}^{II}$  – катастрофічна ситуація.

При цьому вектор  $\bar{G}_{pj}^{II}$  залежить від параметрів польоту і може бути описаний функцією:

$$\bar{G}_{pj}^{II} = F(\psi, H, V, V_y, \beta, \gamma, \vartheta),$$

де  $\psi$  – курс ПК;  $H$  – висота польоту ПК;  $V$  – горизонтальна швидкість польоту ПК;  $V_y$  – вертикальна швидкість польоту ПК;  $\beta$  – ковзання ПК;  $\gamma$  – крен ПК;  $\vartheta$  – тангаж ПК.

*Третій рівень* (ПР Л-О АНС) описується множиною:

$$\bar{G}_i^{III} = \{\bar{G}_{Mds}^{III}, \bar{G}_{Mdm}^{III}\},$$

де  $\bar{G}_{Mds}^{III} = \{\bar{N}_{Mds}^{III}, \bar{M}_{Mds}^{III}, \bar{P}_{Mds}^{III}, \bar{C}_{Mds}^{III}, \bar{A}_{Mds}^{III}\}$  – підмножина стратегій розвитку ситуації:  $\bar{N}_{Mds}^{III}$  – множина нормативних посилай;  $\bar{M}_{Mds}^{III}$  – множина наслідків розвитку ситуації;  $\bar{P}_{Mds}^{III}$  – множина ймовірностей розвитку ситуації;  $\bar{C}_{Mds}^{III}$  – множина якостей Л-О;  $\bar{A}_{Mds}^{III}$  – множина стратегій розвитку ситуації;  $\bar{G}_{Mdm}^{III} = \{\bar{N}_{Mdm}^{III}, \bar{M}_{Mdm}^{III}, \bar{P}_{Mdm}^{III}, \bar{C}_{Mdm}^{III}, \bar{A}_{Mdm}^{III}\}$  – підмножина стратегій прийняття рішень Л-О:  $\bar{N}_{Mdm}^{III}$  – множина нормативних

посилань;  $\overline{M}^{III}_{Mdm}$  – множина наслідків дій Л-О;  
 $\overline{P}^{III}_{Mdm}$  – множина ймовірних дій Л-О;  $\overline{C}^{III}_{Mdm}$  – множина якостей Л-О;  $\overline{A}^{III}_{Mdm}$  – множина стратегій дій Л-О.

Формалізацію третього рівня графоаналітичної моделі ПР Л-О АНС зображено функціональною схемою системи керування (рис. 3.20, де  $\overline{Y}^{sn}$  – вектор заданих нормативних значень розвитку польотної ситуації;  $\overline{Y}_G$ ,  $\overline{Y}_{G_0}$  – вектори керуючих дій Л-О без врахування та з врахуванням впливу середовища відповідно;  $\overline{Y}^{dm}$  – вектор прийняття рішення Л-О;  $\overline{Y}^{sf}$  – вектор фактичних значень розвитку польотної ситуації).

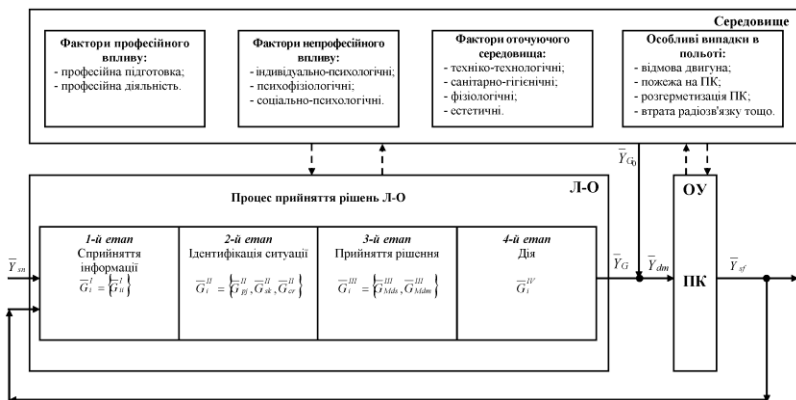


Рис. 3.20. Система «Л-О – ПК – Середовище»

Четвертий рівень (дія Л-О)  $\overline{G}_i^{IV}$  полягає у виборі оптимальної дії керувальним елементом (Л-О), і може бути поданий функцією:

$$\overline{Y}_G = F(\overline{G}_i^I, \overline{G}_i^{II}, \overline{G}_i^{III}, \overline{G}_i^{IV}),$$

де  $\overline{G}_i^I, \overline{G}_i^{II}, \overline{G}_i^{III}, \overline{G}_i^{IV}$  – етапи оброблення інформації і ПР відповідно: сприйняття інформації Л-О, ідентифікація інформації, безпосередньо ПР, набутий досвід (зворотний

зв'язок), керувальна дія Л-О в ОВП з урахуванням професійних та непрофесійних факторів, що впливають на людину як в очікуваних, так і в неочікуваних умовах експлуатації ПК.

Таким чином, процес ПР Л-О АНС можна описати функцією:

$$\bar{Y}_{dm} = F(\bar{Y}_G, \bar{Y}_{G_0}),$$

де  $\bar{Y}_G$  – вектор дій Л-О, зображений графоаналітичною моделлю ПР Л-О  $\bar{G}$ ;  $\bar{Y}_{G_0}$  – вектор дій Л-О з урахуванням впливу професійних і непрофесійних факторів, поданих підграфом обмежень  $\bar{G}_0$ .

На рис. 3.21 маємо – підграф  $\bar{G}_0$  факторів  $\bar{F} = \{\bar{F}_p, \bar{F}_{np}\}$ , що впливають на ПР Л-О:  $\bar{F}_p = \{\bar{F}_{ed}, \bar{F}_{exp}\}$  – фактори професійної діяльності Л-О;  $\bar{F}_{ed}$ ,  $\bar{F}_{exp}$  – знання, навички, вміння, здобуті Л-О в процесі навчання і професійної діяльності відповідно;  $\bar{F}_{np} = \{\bar{F}_{ip}, \bar{F}_{pf}, \bar{F}_{sp}\}$  – фактори непрофесійної діяльності Л-О;  $\bar{F}_{ip}$  – множина індивідуально-психологічних якостей Л-О;  $\bar{F}_{pf}$  – множина психофізіологічних якостей Л-О;  $\bar{F}_{sp}$  – множина соціально-психологічних якостей Л-О;  $\bar{G}_{c1}, \bar{G}_{c2}$  – очікувані (неочікувані) умови експлуатації ПК.

Наприклад, очікуваний ризик ПР Л-О, якщо Л-О здійснює вибір в сторону негативного полюсу  $B$  під впливом економічних факторів  $f_{spe}$ :

$$R_{PP} = R_B = \{\bar{\gamma}, \rho(f_{sps} \succ f_{spe} \succ f_{spl} \succ f_{spp} \succ f_{spm})\} = \{\bar{\gamma}, \rho(f_{spe})\},$$

де  $R_B$  – очікуваний ризик ПР Л-О з урахуванням його моделі переваг;  $\bar{\gamma}$  – концепція поведінки індивіда;  $f_{sps}, f_{spe}, f_{spl}, f_{spp}, f_{spm}$  – соціальні; економічні, правові, політичні моральні фактори.

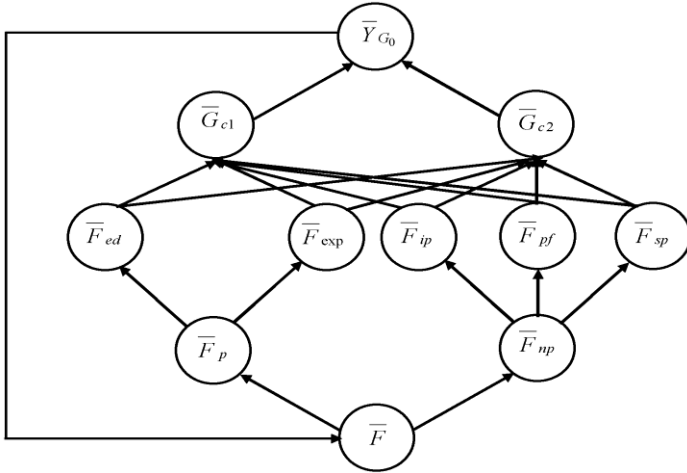


Рис. 3.21. Підграф  $\bar{Y}_{G_0}$  факторів, що впливають на ПР Л-О

Приклад моделювання ПР Л-О АНС у разі виникнення складної ситуації в польоті на етапі горизонтального польоту в неочікуваних умовах експлуатації ПК наведено на рис. 3.22.

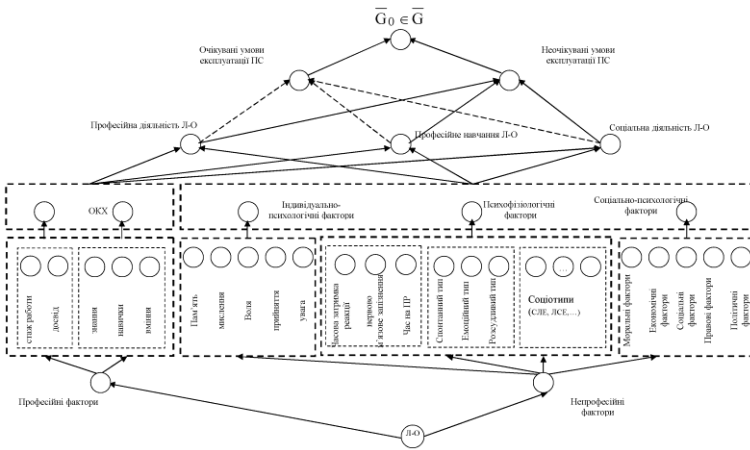


Рис. 3.22. Підграф  $\bar{Y}_{G_0}$  факторів  $\bar{F} = \{ \bar{F}_p, \bar{F}_{np} \}$ , що впливають на ПР Л-О АНС

Приклад моделювання ПР Л-О при виникненні складної ситуації в польоті на етапі горизонтального польоту в неочікуваних умовах експлуатації ПК наведено на рис. 3.23.

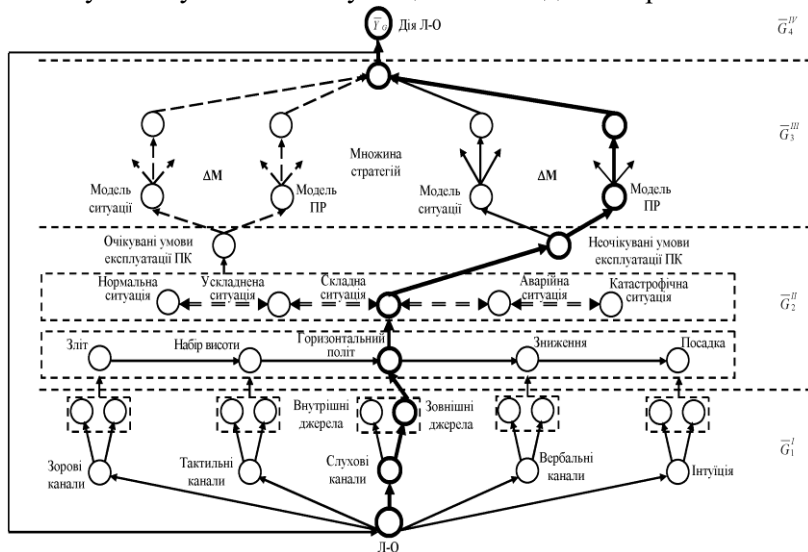


Рис. 3.23. Приклад моделювання ПР Л-О при виникненні складної ситуації в польоті на етапі горизонтального польоту в неочікуваних умовах експлуатації ПК

При слуховому сприйнятті інформації за допомогою зовнішніх джерел на горизонтальному етапі польоту ПК  $\bar{G}_{p3}^{II}$  в складній польотній ситуації  $\bar{G}_{s3}^{II}$ , отримуємо функціонал дії Л-О  $\bar{Y}$  в неочікуваних умовах експлуатації ПК  $\bar{G}_{c2}^{II}$ :

$$\bar{Y} = F(\bar{G}_y, \bar{G}_{p3}, \bar{G}_{s3}^{II}, \bar{G}_{c2}^{II}, \bar{G}_{Mdm}, \bar{G}_i (F_{inp} \langle f_{ipt}, f_{ipa}, f_{ipp}, f_{iph}, f_{ipi}, f_{ipn}, f_{ipw}, f_{iph}, f_{exp} \rangle, F_{ip}))$$

де етапи ПР Л-О наступні:

1. Сприйняття інформації  $\bar{G}_i^I = \left\{ \bar{G}_y^I \right\}$  – слухове сприйняття інформації за допомогою зовнішніх джерел  $\bar{G}_y^I$ .
2. Ідентифікація ситуації  $\bar{G}_i^{II} = \left\{ \bar{G}_{pj}^{II}, \bar{G}_{sk}^{II}, \bar{G}_{cr}^{II} \right\}$ ;  
 – етап польоту ПС – горизонтальний політ  $\bar{G}_{p3}^{II}$ ;  
 – складна польотна ситуація  $\bar{G}_{s3}^{II}$ ;  
 – неочікувані умови експлуатації ПК –  $\bar{G}_{c2}^{II}$ .
3. Прийняття рішень – в неочікуваних умовах експлуатації ПК, Л-О діє автоматично і в умовах швидкої рефлексії має значення характер суспільства – зовнішнього середовища. Модель ПР Л-О:

$$\bar{G}_i^{III} = \left\{ \bar{G}_{Mds}^{III}, \bar{G}_{Mdm}^{III} \right\} = \left\{ \bar{G}_{Mdm}^{III} \right\} = F(\bar{N}_{Mdm}, \bar{M}_{Mdm}, \bar{P}_{Mdm}, \bar{G}_{Mdm}, \bar{A}_{Mdm}) =$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_A = \min \{ R_{ij} \} \\ R_B = \{ \gamma, \rho \} = \bar{F}_{ip} = \{ f_{ipt}, f_{ipa}, f_{ipp}, f_{ipth}, f_{ipti}, f_{iptn}, f_{ipw}, f_{iph}, f_{exp} \} \end{array} \right. ,$$

де  $\bar{N}_{Mdm}$  – нормативні посилення;  $\bar{M}_{Mdm}$  – множина наслідків;  $\bar{P}_{Mdm}$  – множина ймовірних дій Л-О;  $\bar{G}_{Mdm}$  – множина якостей Л-О;  $\bar{A}_{Mdm}$  – множина стратегій Л-О.

Формалізація третього рівня графоаналітичної моделі ПР Л-О АНС зображено функціональною схемою «Л-О – ПК – Середовище». Задача керування полягає у виборі такої вхідної дії  $\bar{Y}^{sn}$ , яка за будь-яких збурювальних впливах навколишнього середовища  $\bar{Y}_{G_0}$  (виникненні ОВП та впливу факторів професійного  $\bar{F}_p$  і непрофесійного  $\bar{F}_{np}$  характеру на Л-О) забезпечує заданий рівень вихідної величини  $\bar{Y}^{sf}$  за рахунок моделювання оптимальної дії керувального елемента (Л-О)  $\bar{Y}^{dm}$ .

4. Дія Л-О залежить від впливу зовнішнього середовища, дії факторів професійного і непрофесійного характеру:

$$G_i^{IV} = \left\{ \overline{F}_p, \overline{F}_{np} \right\},$$

де  $\overline{F}_p = \{F_{ed}, F_{exp}\}$  – професійні фактори;  $\overline{F}_{np} = \{F_{ip}, F_{pf}, F_{sp}\}$  – непрофесійні фактори.

Очікуваний ризик (при автоматичному виборі) у разі ПР Л-О визначається відповідно до моделі переваг Л-О (залежить від вибору Л-О в бік позитивного (негативного) полюса).

Запропоновані моделі дозволять своєчасно діагностувати та прогнозувати можливі дії Л-О в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК. Практична цінність проведених досліджень полягає в розробленні методики проведення пролонгованої соціально-психологічної корекції Л-О АНС в процесі навчання та професійної діяльності, а також застосування підходу до оцінки діяльності Л-О у ході розслідування АП.

### 3.4. Метод узагальнення неоднорідних факторів за допомогою теоретико-множинного підходу

Як показав соціотехнічний аналіз АНС, на оператора в процесі виконання професійних обов'язків впливають фактори, систематизація яких дозволяє оцінити якість прийняття рішень і ефективність роботи системи в цілому, а також оптимізувати діяльність операторів. Різномірність факторів, що впливають на прийняття рішень оператора та їх природна нестабільність не дозволяє для оптимізації АНС як СТС в цілому застосувати класичні методи агрегування, прийняті для багатокритеріальних задач, наприклад, методи паретооптимальної оптимізації. Різномірність факторів, що впливають на прийняття рішень оператором, та їх природна нестабільність не дозволяє для оптимізації АНС як СТС в цілому застосувати класичні методи агрегування, прийняті для багатокритеріальних задач, наприклад, методи паретооптимальної оптимізації (рис. 3.24).

Актуальною задачею є соціотехнічний аналіз АНС, систематизація і формалізація факторів, що впливають на ПР,

розробка методу узагальнення неоднорідних факторів, що впливають на ПР Л-О АНС, який дозволить врахувати структурну ієрархічність, різнорідність, динамічну нестабільність факторів професійного і непрофесійного характеру та визначити умови для їх оцінювання.

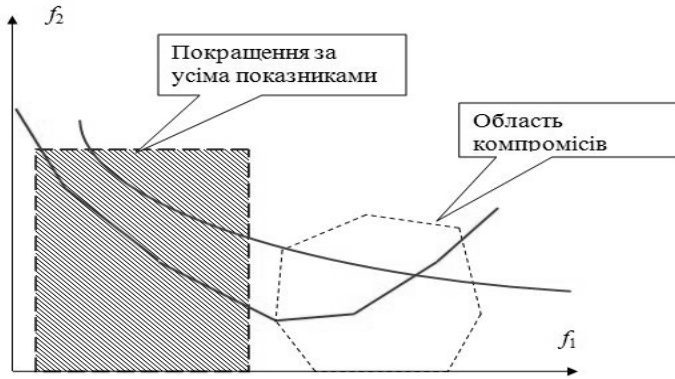


Рис. 3.24. Геометрична інтерпретація паретових рішень для задачі оптимізації діяльності Л-О з двома критеріями

**Метод узагальнення неоднорідних факторів за допомогою теоретико-множинного підходу** дозволяє врахувати: структурну ієрархічність, різнорідність, динамічну нестабільність факторів та визначити умови для їх оцінювання (рис. 3.25). Для оцінювання якості ПР оператором АНС і прогнозування розвитку польотної ситуації, класифіковані, системно узагальнені і формалізовані різнорідні фактори, що впливають на ПР (табл. 3.9), проведено декомпозицію ПР, отримані графоаналітичні моделі ПР і розвитку польотної ситуації в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК (рис. 3.25) – граф ПР  $\bar{G}$  і підграф факторів  $\bar{G}_0$  [59; 60; 290].

Вектор дії оператора  $\bar{Y}$  є об'єднанням множин, отриманих за допомогою графоаналітичних моделей  $\bar{G}$ ,  $\bar{G}_0$  в очікуваних  $\bar{G}_{c1}$  (неочікуваних  $\bar{G}_{c2}$ ) умовах експлуатації ПК [252]:



$$\begin{aligned}
\vec{Y}(\vec{G} \cup \vec{G}_0) &= \vec{Y}(\vec{G}(\vec{G}_{c1} \vee \vec{G}_{c2}) \cup \vec{G}_0(\vec{F})) = \\
&= Y(\vec{G}(\vec{G}_{c1} \vee \vec{G}_{c2}) \cup \vec{G}_0(\vec{F}(\vec{F}_{ip} \wedge \vec{F}_{sp} \wedge \vec{F}_{pf}))); \\
\vec{G}_0(\vec{F}(\vec{F}_{ip} \wedge \vec{F}_{sp})) &\in \vec{S}(x_1, x_2, x_3) = \\
&= \vec{Y}(\vec{M}(\gamma(\rho(\vec{V})) \vee \bar{\gamma}(\rho(\vec{V})))) \quad ; \\
\rho &= S_p(F_{ip}) \cup S(F_{sp}); \quad \gamma = \rho(V) = V_A(F_{ip}) \cup V_A(F_{sp}); \\
\bar{\gamma} &= \rho(V) = V_B(F_{ip}) \cup V_B(F_{sp});
\end{aligned}$$

$$\text{за умов: } \sum_{sp=1}^n S_p(F_{sp}) = 1, \sum_{sp=1}^n S_p(F_{ip}) = 1;$$

$$\begin{aligned}
V_{\max} < V_A(\vec{F}_{sp}) < V_{\min}; \quad V_{\max} < V_A(\vec{F}_{ip}) < V_{\min}; \\
V_{\min} \leq V_B(\vec{F}_{sp}) \leq V_{\max}; \quad V_{\min} \leq V_B(\vec{F}_{ip}) \leq V_{\max}; \\
\vec{G} &= \{ \vec{G}_i^I, \vec{G}_i^{II}, \vec{G}_i^{III}, \vec{G}_i^{IV} \},
\end{aligned}$$

де  $\vec{Y}(\vec{G} \cup \vec{G}_0)$  - вектор дії оператора;  $\vec{G}$  - орієнтований граф ПР і розвитку польотної ситуації;  $\vec{G}_0$  - підграф факторів, що впливають на ПР;  $\vec{G}_{c1}$  - очікувані умови експлуатації ПК;  $\vec{G}_{c2}$  - неочікувані умови експлуатації ПК;  $\vec{G}_{c1} \vee \vec{G}_{c2}$  - логічна сума «ЛП»;  $\vec{F}$  - фактори, що впливають на ПР в АНС;  $\vec{F}(\vec{F}_{ip} \wedge \vec{F}_{sp} \wedge \vec{F}_{pf})$  - композиція індивідуально-психологічних  $\vec{F}_{ip}$ , соціально-психологічних  $\vec{F}_{sp}$  і психофізіологічних  $\vec{F}_{pf}$  факторів;  $\vec{S}(x_1, x_2, x_3)$  - вектор-модель поведінки оператора АНС,  $x_1$  - тиск зовнішнього середовища на Л-О,  $x_1 \in [0, 1]$ ;  $x_2$  - тиск попереднього досвіду,  $x_2 \in [0, 1]$ ;  $x_3$  - інтенція (вольовий вибір),  $x_3 \in [0, 1]$ ;  $\gamma(\rho(\vec{V}))$  - раціональна модель індивідуума;  $\bar{\gamma}(\rho(\vec{V}))$  - нераціональна модель індивідуума;

$\bar{M}(\gamma(\rho(\bar{V})) \vee \bar{\gamma}(\rho(\bar{V})))$  - модель поведінки індивідуума;  
 $\rho = S_p(F_{ip}) \cup S(F_{sp})$  - переваги ЛПР значущості факторів;  
 $\bar{V}_A(\bar{F}_{ip})$  - вибір у бік позитивного полюсу А;  
 $\bar{V}_B(\bar{F}_{ip})$  - вибір у бік негативного полюсу В;  $V_{\min}, V_{\max}$  – мінімальне (максимальне) значення на векторі вибору (рис. 3.25, табл. 3.9).

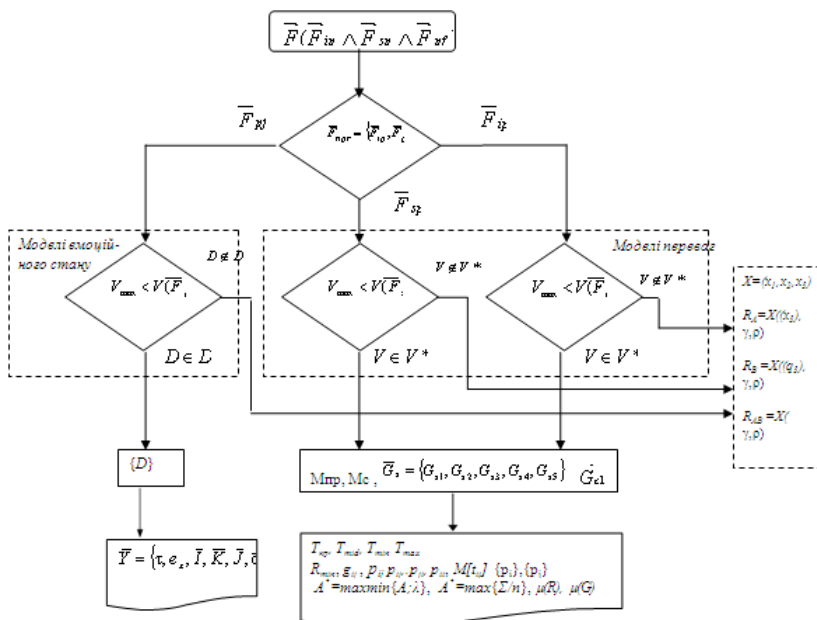


Рис. 3.25. Метод узагальнення неоднорідних факторів за допомогою теоретико-множинного підходу

Модель поведінки Л-О описується вектором вибору  $\bar{V}$ , що має кількісне значення.

Таблиця 3.9

**Зміст і формальний опис параметрів графоаналітичної моделі  
ПР Л-О АНС**

<b>1. Сприйняття інформації <math>\overline{G}_i^I</math></b>	
$\overline{G}_i^I = \{ \overline{G}_y^I, \overline{G}_a^I, \overline{G}_t^I, \overline{G}_v^I, \overline{G}_i^I \}$	$\overline{G}_y^I$ – зоровий канал; $\overline{G}_a^I$ – слуховий канал; $\overline{G}_t^I$ – тактильний канал; $\overline{G}_v^I$ – вербальний канал; $\overline{G}_i^I$ – інтуїція
<b>2. Ідентифікація ситуації <math>\overline{G}_i^{II} = \{ \overline{G}_{pj}^{II}, \overline{G}_{sk}^{II}, \overline{G}_{cr}^{II} \}</math></b>	
$\overline{G}_{pj}^{II} = \{ \overline{G}_{p1}^{II}, \overline{G}_{p2}^{II}, \overline{G}_{p3}^{II}, \overline{G}_{p4}^{II}, \overline{G}_{p5}^{II} \},$ $j = \overline{1,5}$ $\overline{G}_{pj}^{II} = F(\psi, H, V, V_y, \beta, \gamma, \theta)$ – параметри польоту на $j$ -му етапі польоту	$\overline{G}_{p1}^{II}$ – зліт; $\overline{G}_{p2}^{II}$ – набір висоти; $\overline{G}_{p3}^{II}$ – горизонтальний політ; $\overline{G}_{p4}^{II}$ – зниження; $\overline{G}_{p5}^{II}$ – посадка
$\overline{G}_{sk}^{II} = \{ \overline{G}_{s1}^{II}, \overline{G}_{s2}^{II}, \overline{G}_{s3}^{II}, \overline{G}_{s4}^{II}, \overline{G}_{s5}^{II} \},$ $k = \overline{1,5}$	$\overline{G}_{s1}^{II}$ – нормальна ситуація; $\overline{G}_{s2}^{II}$ – ускладнена ситуація; $\overline{G}_{s3}^{II}$ – складна ситуація; $\overline{G}_{s4}^{II}$ – аварійна ситуація; $\overline{G}_{s5}^{II}$ – катастрофічна ситуація
$\overline{G}_{c1}^{II} = F(\overline{N}_{d1}, \overline{M}_{d1}, \overline{P}_{d1}, \overline{G}_{0d1})$	$\overline{G}_{c1}^{II}$ – очікувані умови експлуатації ПК;
$\overline{G}_{c2}^{II} = F(\overline{N}_{d2}, \overline{M}_{d2}, \overline{P}_{d2}, \overline{G}_{0d2})$	$\overline{G}_{c2}^{II}$ – неочікувані умови експлуатації ПК

<p><b>3. Прийняття рішень Л-О</b> <math>\bar{G}_i^{III} = \{ \bar{G}_{Mds}^{III}, \bar{G}_{Mdm}^{III} \}</math></p>	
<p><math>\bar{G}_{M_c}^{III} = F(\bar{N}_{Mds}, \bar{M}_{Mds}, \bar{P}_{Mds}, \bar{G}_{Mds}, \bar{A}_{Mds})</math> – модель розвитку ситуації</p>	<p><math>\bar{N}_{Mds}</math> – нормативні послання;  <math>\bar{M}_{Mds}</math> – множина наслідків;  <math>\bar{P}_{Mds}</math> – множина ймовірностей розвитку ситуації;  <math>\bar{G}_{Mds}</math> – множина якостей Л-О;  <math>\bar{A}_{Mds}</math> – множина стратегій розвитку ситуації</p>
<p><math>\bar{G}_{Mdm}^{III} = F(\bar{N}_{Mdm}, \bar{M}_{Mdm}, \bar{P}_{Mdm}, \bar{G}_{Mdm}, \bar{A}_{Mdm})</math> – модель ПР Л-О</p>	<p><math>\bar{N}_{Mdm}</math> – нормативні послання;  <math>\bar{M}_{Mdm}</math> – множина наслідків;  <math>\bar{P}_{Mdm}</math> – множина ймовірних дій;  <math>\bar{G}_{Mdm}</math> – множина якостей Л-О;  <math>\bar{A}_{Mdm}</math> – множина стратегій Л-О</p>
<p><b>4. Дія ЛО</b> <math>G_i^{IV} = \{ \bar{F}_p, \bar{F}_{np} \}</math></p>	
<p><math>\bar{F}_p = \{ \bar{F}_{ed}, \bar{F}_{exp} \}</math> – фактори професійної діяльності Л-О;  <math>\bar{F}_{np} = \{ \bar{F}_{ip}, \bar{F}_{pf}, \bar{F}_{sp} \}</math> – фактори непрофесійної діяльності Л-О</p>	<p><math>\bar{F}_{ed}, \bar{F}_{exp}</math> – знання, навички, вміння, здобуті Л-О в процесі навчання і професійної діяльності;  <math>\bar{F}_{ip}</math> – множина індивідуально-психологічних якостей Л-О;  <math>\bar{F}_{pf}</math> – множина психофізіологічних якостей;  <math>\bar{F}_{sp}</math> – множина соціально-психологічних якостей Л-О</p>
<p><math>\bar{Y} = F(\bar{G}_i^I, \bar{G}_i^{II}, \bar{G}_i^{III}, \bar{G}_i^{IV})</math>  <math>=  \bar{Y}_c - \bar{Y}_{np}  \rightarrow \min, i = \bar{1}, \bar{m}</math></p>	<p><math>\bar{Y}_c = F(\bar{G})</math> – вектор розвитку ситуації;  <math>\bar{Y}_{np} = F(\bar{G}, \bar{G}_0)</math> – вектор дії при ПР Л-О</p>

Модель поведінки Л-О на прикладі діагностики впливу соціально-психологічних факторів, графічно представлена на рис. 3.26, має наступний вигляд:

$$\bar{M}_{np} = \{ \bar{F}_{sp \min}, \bar{F}_{sp}, V_{\min}, V, V_{\max}, \bar{F}_{sp \max} \};$$

$$V_{\max} \leq V(\bar{F}_{sp}) \leq V_{\min},$$

де  $\bar{F}_{sp \min}$ ,  $\bar{F}_{sp \max}$  – мінімальне (максимальне) значення вагового коефіцієнту фактору;  $\bar{F}_{sp}$  – дійсне значення вагового коефіцієнту фактору;  $V$  – кількісна міра вибору;  $V(\bar{F}_{sp})$  – модель вибору;  $V_{\min}$ ,  $V_{\max}$  – мінімальне (максимальне) значення позитивного вибору.

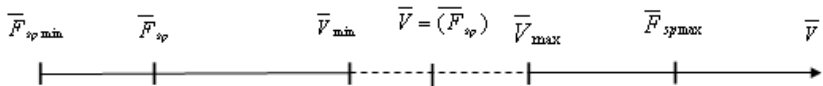


Рис. 3.26. Модель поведінки Л-О на прикладі діагностики впливу соціально-психологічних факторів

На рис. 3.25 надана графічна інтерпретація методу узагальнення неоднорідних факторів за допомогою теоретико-множинного підходу. Управління (діагностування, оцінювання, прогнозування і корегування) розвитком польотної ситуації здійснюється за допомогою аналізу моделей оператора АНС (рис. 3.26, 3.27) з урахуванням індивідуальних якостей людини-оператора, своєчасної діагностики і корегування впливу факторів, а саме  $\langle V \notin V^* \rangle \rightarrow \langle V \in V^* \rangle$  діагностики впливу

соціально-психологічних факторів  $V(\bar{F}_{sp})$ ; оцінювання і корегування індивідуально-психологічних якостей  $V(\bar{F}_{ip})$  в умовах розвитку польотної ситуації; моніторингу психофізіологічних якостей оператора  $V(\bar{F}_{pf})$ , своєчасного оцінювання емоційного стану оператора.

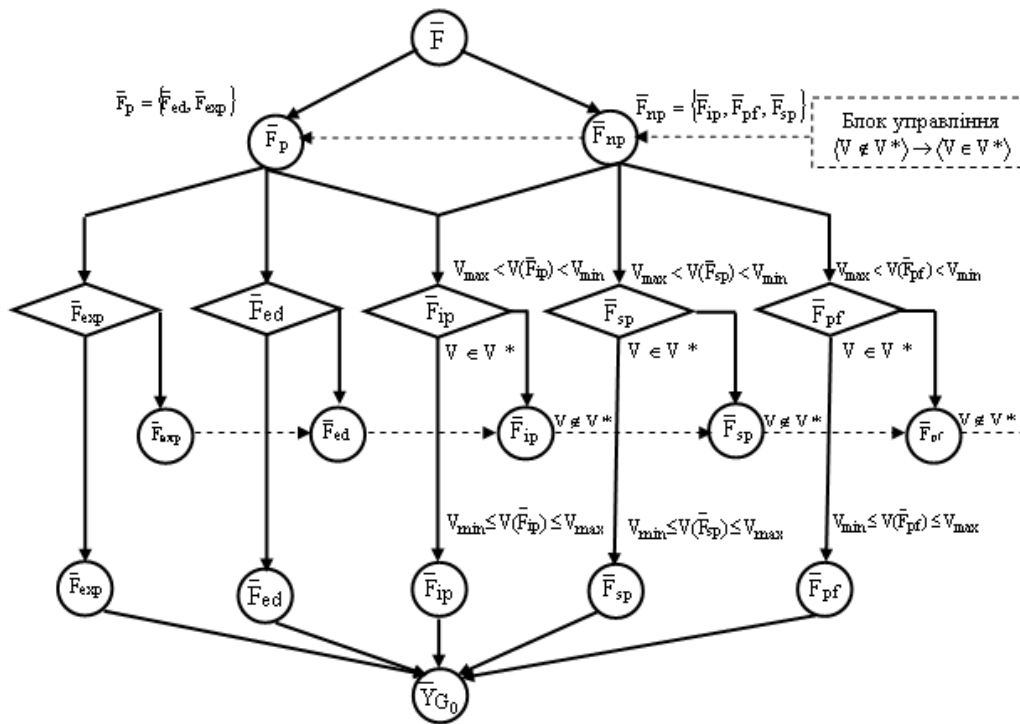


Рис. 3.27. Схема методу узагальнення неоднорідних факторів за допомогою теоретико-множинного підходу

Запропоновано застосування теоретико-множинного методу узагальнення неоднорідних факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства [232], що дозволяє врахувати структурну ієрархічність, різноманітність, динамічну нестабільність факторів та визначити умови для їх оцінювання:

$$\overline{F} = \overline{F}_{ie} \cup \overline{F}_{eedi} \cup \overline{F}_{eeii},$$

де  $\overline{F}_{ie} = \{\overline{G}, \overline{Ta}, \overline{S}, \overline{Te}, \overline{Pe}\}$  – множина факторів внутрішнього середовища менеджменту авіапідприємства (цілі  $\overline{G}$ , задачі  $\overline{Ta}$ , структури  $\overline{S}$ , технології  $\overline{Te}$ , кадри  $\overline{Pe}$ );

$\overline{F}_{eedi} = \{\overline{C}, \overline{Co}, \overline{Pa}, \overline{L}\}$  – множина факторів зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства прямого впливу (споживачі  $\overline{C}$ , конкуренти  $\overline{Co}$ , партнери  $\overline{Pa}$ , закони  $\overline{L}$ );

$\overline{F}_{eeii} = \{\overline{ES}, \overline{SP}, \overline{PF}, \overline{SF}, \overline{IE}\}$  – множина факторів зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства опосередкованого впливу (стан економіки  $\overline{ES}$ , науково-технічний прогрес  $\overline{SP}$ , політичні фактори  $\overline{PF}$ , соціокультурні фактори  $\overline{SF}$ , міжнародні події  $\overline{IE}$ ).

На рис. 3.28 представлено графічну інтерпретацію методу узагальнення неоднорідних факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства за допомогою теоретико-множинного підходу ( $\overline{F}_{ie}$  – множина факторів внутрішнього середовища менеджменту авіапідприємства;  $\overline{F}_{ee}$  – множина факторів зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства;  $\overline{F}_{eedi}$  – множина факторів зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства прямого впливу;  $\overline{F}_{eeii}$  – множина факторів зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства опосередкованого впливу;  $\overline{G}$  – цілі;  $\overline{Ta}$  – задачі;  $\overline{S}$  –

структури;  $\overline{Te}$  – технології;  $\overline{Pe}$  – кадри;  $\overline{C}$  – споживачі;  $\overline{Co}$  – конкуренти;  $\overline{Pa}$  – партнери;  $\overline{L}$  – закони;  $\overline{ES}$  – стан економіки;  $\overline{SP}$  – науково-технічний прогрес;  $\overline{PF}$  – політичні фактори;  $\overline{SF}$  – соціокультурні фактори;  $\overline{IE}$  – міжнародні події).

Розроблені моделі ПР Л-О АНС застосовуються в автоматизованій системі підготовки передпольотної інформації (АС ПП) для ПР на виліт, в СППР авіадиспетчера для оцінювання ефективності потенційних альтернатив завершення польоту в реальному УПР; допуску студентів до навчання в системі передтренажерної підготовки; діагностики помилкових дій авіадиспетчера у навчанні для оптимізації процесу здобування інформації й отримання необхідних висновків у критичних і аварійних польотних ситуаціях, які вимагають від оператора прийняття оперативних рішень в умовах багатофакторності вибору. Практична цінність проведених досліджень полягає в розробленні методики проведення пролонгованої соціально-психологічної корекції Л-О АНС в процесі навчання та професійної діяльності, а також застосування підходу до оцінки діяльності Л-О у ході розслідування АП тощо [316–325].

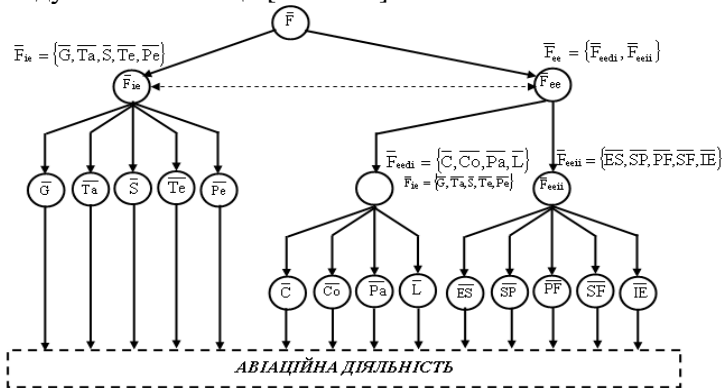


Рис. 3.28. Графічна інтерпретація методу узагальнення неоднорідних факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства



## ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень:

1. З позицій системного підходу розглянуто особливості АНС як високотехнологічної СТС; виконано класифікацію, узагальнення та формалізацію різномірних факторів, що впливають на ПР оператором. Доведено, що окрім психофізіологічних, індивідуально-психологічних та соціально-психологічних факторів, на ПР Л-О СТ АНС впливають різномірні фактори внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства, які будуються за ієрархічним принципом.

2. Визначено типи особистостей Л-О СТ АНС та їх взаємодії в процесі виконання професійних завдань у складі малої групи на прикладі диспетчерської зміни, виконано кореляційний аналіз соціометричних та соціонічних показників.

3. Розроблено моделі ПР Л-О СТ АНС в умовах повної визначеності, ризику та невизначеності, а також моделі розвитку польотної ситуації на основі використання мереж типу GERT та марковських мереж. Розроблено методологію прогнозування розвитку польотної ситуації на основі аналізу ПР Л-О СТ АНС.

4. На основі представленої методики виявлення особистісних властивостей Л-О СТ АНС отримано моделі переваг, які описують пріоритети оператора (пілота або авіадиспетчера) залежно від його поведінки. Проведено діагностику емоційного стану Л-О СТ АНС методами дисперсійного аналізу, отримано моделі деформації емоційного стану у разі виникненні ОВП та визначено стійкість АНС при деформаціях емоційного стану оператора.

5. На основі рефлексивної теорії біполярного вибору визначено очікувані ризики ПР оператором СТ АНС під впливом зовнішнього середовища, попереднього досвіду і вольового вибору Л-О.

6. Для своєчасної діагностики та прогнозування можливих дій оператора в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК розроблено графоаналітичні моделі ПР Л-О СТ АНС.

7. Узагальнення та оцінювання структурно ієрархічних, різномірних, динамічно нестабільних факторів, що впливають на ПР Л-О СТ АНС проводилось із застосуванням теоретико-множинного підходу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Глобальный аэронавигационный план применительно к системам CNS/ATM / Circ. ICAO 9750-AN/963. – Канада, Монреаль : ICAO, 2002. – 325 с.
2. Основные принципы учета человеческого фактора в системах ОВД (ATM) / Circ. ICAO 9758-AN/966. – Канада, Монреаль : ICAO, 2000. – 126 с.
3. Представление данных об авиационных происшествиях и инцидентах (ADREP): Статистический ежегодник-2000 / Circ. ICAO 289-AN/167. – Канада, Монреаль : ICAO, 2002. – 37 с.
4. Правила полетов и обслуживания воздушного движения / Doc. 4444-RAC/501. – 13-е изд. – Канада, Монреаль : ICAO, 1996. – 425 с.
5. Руководство по службам аэронавигационной информации / Doc. 8126. – Канада, Монреаль : ICAO, 2006. – 459 с.
6. Руководство по обучению в области человеческого фактора / Doc. 9683-AN/950. – 1-е изд. – Канада, Монреаль : ICAO, 1998. – 333 с.
7. Повітряний кодекс України : введ. в дію Постановою ВР від 19.05.2011 р. № 3393-VI // Відомості Верховної Ради України. – 2011. – № 48–49. – Ст. 536.
8. Правила видачі свідоцтв авіаційному персоналу в Україні: затв. наказом Мінтрансу від 07.12.1998 р. №486, зі змінами, внесеними наказом МТЗУ від 24.09.2007 р. №842. – К. : МТЗУ, 2007. – 72 с.
9. Правила сертифікації суб'єктів, що надають послуги з аеронавігаційного обслуговування: затв. наказом Мінтрансу від 22.01.2007 р. №42, зі змінами, внесеними наказом МТЗУ від 28.11.2011 р. №575. – К. : МТЗУ, 2007. – 24 с.
10. Правила польотів повітряних суден та обслуговування повітряного руху у класифікованому повітряному просторі України : затв. наказом Міністерства транспорту України від 16.04.2003 р. №293. – К. : МТУ, 2003. – 52 с.
11. Порядок прийняття рішення на виліт та приліт повітряних суден цивільної авіації України за правилами польотів за приладами : затрв. наказом Державіаслужби України від 28.04.05 р. №295. – 14 с.

12. Положення про організацію роботи об'єктів обслуговування повітряного руху Украероруху : затв. наказом Украероруху від 12.03.2008 р. №64 (з поправками №1-№10). – К. : Украерорух, 2008. – 52 с.
13. Алексеев П.В. Социальная философия: учеб. пособие / П.В. Алексеев. – М. : ООО «ТК Велби», 2003 – 202 с.
14. Амосова О.В. Аналіз сумісності та соціонічної поведінки групи авіаційних спеціалістів / О.В. Амосова // Політ-2009. Сучасні проблеми науки : IX міжнар. наук. конф. студ. та молодих учених, Київ, 8-10 квіт. 2009 р. : тези доповідей. – К. : НАУ, 2009. – С. 238.
15. Анастаси А. Психологическое тестирование / А. Анастаси, С. Урбина. – 7-е междунар. изд. – СПб. : Питер, 2009. – 688 с.
16. Анодина Т.Г. Управление воздушным движением. / Т.Г. Анодина, С.В. Володин, В.П. Куранов, В.И. Мокшанов. – М. : Транспорт, 1988. – 232 с.
17. Анохин П.К. Избранные труды. Кибернетика функциональных систем / П.К. Анохин ; под общей ред. академика РАМН К.В. Судакова. – М. : Медицина, 1998. – 297 с.
18. Андреева Г.М. Социальная психология / Г.М. Андреева. – М. : Аспект Пресс, 1999. – 375 с.
19. Арнольд В.И. Теория катастроф / В.И. Арнольд. – М. : Наука, 1981. – 322 с.
20. Алешин В. И. Организация управления воздушным движением / В.И. Алешин, Ю.П. Дарымов, Г.А. Крыжановский и др. ; под ред. Г.А. Крыжановского. – М. : Транспорт, 1988. – 264 с.
21. Артеменко О.В. Построение нейросетевой модели анализа возможности выполнения полета / О.В. Артеменко, Т.Ф. Шмельова, А.С. Тимошенко // Системи управління, навігації та зв'язку : зб. наук. пр. ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління». – 2012.– Вип. 1 (21). – Т. 2. – С. 68–74.
22. Артеменко О.В. Розробка автоматизованої системи підготовки передпольотної інформації / О.В. Артеменко, Ю.Б. Беляєв, Т.Ф. Шмельова // Науково-технічна інформація. – 2010. – № 3. – С. 41–44.

23. Архангельский В.И. Нейронные сети в системах автоматизации / В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмшин. – К.: Техника, 1999. – 364 с.
24. Архангельский В.И. Человеко-машинные системы автоматизации : управление качеством, безопасностью и надежностью / В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмшин. – К. : НВК «КІА», 2000. – 296 с.
25. Архангельский В.И. Системы функции-управления / В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмшин. – К. : Техника, 1997. – 207 с.
26. Аугустинавичюте А. Соционика / А. Аугустинавичюте. – М. : Черная белка, 2008. – 568 с.
27. Базлев Д.А. Концепция построения бортовой информационно-экспертной системы поддержки действий летчика в особых ситуациях полета / Д.А. Базлев, В.Н. Евдокименков, Н.В. Ким, М.Н. Красильщиков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2007. – №1. – С.15–20.
28. Белов П.Г. Сущность и методы прогнозирования техногенного риска / П.Г. Белов, Ю.Ф. Запорожченко // Вісник КМУЦА. – 1999. – №1. – С. 260–264.
29. Беляев Ю.Б. Науково-методологічні основи оцінювання помилкових дій оператора авіаційної ергатичної системи в особливих випадках польоту / Ю.Б. Беляев, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // Автоматизація виробничих процесів. – 2002. – №2 (15). – С. 60–65.
30. Беляев Ю.Б. Модельовання процесу прийняття рішень 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.
31. Беляев Ю.Б. Моделі та алгоритми формування рішень в системі підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях / Ю.Б. Беляев, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // Автоматизація виробничих процесів. – 2004. – №2 (19). – С. 42–49.
32. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – 2-е изд. – М. : Статистика, 1980. – 263 с.

33. Борисов А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига : Зинатне, 1990. – 184 с.
34. Васильев В.М. Моделирование аэронавигационных систем. Обработка информации та прийняття рішень в системі керування повітряним рухом: навч. посіб. / В.М. Васильев, В.П. Харченко. – К. : НАУ, 2008. – 180 с.
35. Васильев М.В. Система мониторингу емоційного стану пілота в польоті / В.В. Лукашенко, Т.Ф. Шмельова // Матеріали ІХ міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Інформатика та комп'ютерні технології». – Донецьк : ДонНТУ, 2013. – С. 380.
36. Венда В.Ф. Системы гибридного интеллекта : эволюция, психология, информатика / В.Ф. Венда. – М. : Машиностроение, 1990. – 448 с.
37. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. – М. : Наука, 1988. – 208 с.
38. Вагин В.Н. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В.Н. Вагин, Е.Ю. Головина, А.А. Загорянская, М.В. Фомина. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 704 с.
39. Воронін А.М. Інформаційні системи прийняття рішень : навч. посіб. / А.М. Воронін, Ю.К. Зятдінов, А.С. Климова. – К. : НАУ, 2009. – 135 с.
40. Геловани В.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды / В.А. Геловани, А.А. Башлыков, В.Б. Бритков, Б.Д. Вязилов. – М. : Эдиториал УРСС, 2001. – 304 с.
41. Герасимов Б.М. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта / Б.М. Герасимов, В.А. Тарасов, И.В. Токарев. – К. : Наук. думка, 1993. – 184 с.
42. Герасимов Б.М. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: навч. пос. / Б.М. Герасимов, В.М. Локазюк, О.Г. Оксіюк, О.В. Поморова. – К. : Вид-во Європ. ун-ту, 2007. – 335 с.

43. Герасимов Б.М. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации / Б.М. Герасимов, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмшин. – К. : Техніка, 2002. – 140 с.
44. Глухих И.Н. Интегрированные автоматизированные системы интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении воздушным движением (теория, модели, алгоритмы, принятие решений) : автореф. дис. ... доктора техн. наук : 05.13.16 / И.Н. Глухих. – Самара, 2000. – 34 с.
45. Головаха Р.В. Біотехнічна система для контролю психофізіологічного стану оператора: дис. ... канд. техн. наук : 05.11.17 / Р.В. Головаха. – Харків, 2004. – 154 с.
46. Григорецький В.О. Розробка автоматизованого адаптивного модулю визначення навчального навантаження в залежності від помилок авіадиспетчера при стажуванні в службі руху / В.О. Григорецький, Т.Ф. Шмельова, В.В. Павлова // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2004. – №3. – С. 102–110.
47. Гуленко В.В. Почерк личности в социуме. Социодиагностика через наблюдение / В.В. Гуленко // Соционика, ментология и психология личности. – №3. – 1997. – С. 6–10.
48. Даль В. Толковый словарь живого великорусского языка / В. Даль. – Т. 4. – М. : Русский язык, 1980. – 684 с.
49. Дарымов Ю.П. Управление воздушным движением : учеб. для сред. спец. учеб. заведений / Ю.П. Дарымов, Г.А. Крыжановский, В.М. Затонский и др. ; под ред. Ю.П. Дарымова. – М. : Транспорт, 1989. – 327 с.
50. Демин Л.С. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов / Л.С. Демин, Ю.Г. Жуковский, А.П. Семенов и др. ; под ред. В.Е. Шукшунова. – М. : Машиностроение, 1986. – 240 с.
51. Денисов В.Г. Инженерная психология в авиации и космонавтике / В.Г. Денисов, В.Ф. Онищенко. – М. : Машиностроение, 1972. – 316 с.
52. Джафарзаде Р.М. Апостериорный анализ авиационных аварийных ситуаций / Р.М. Джафарзаде, Т.Ф.Шмелева, Т.Р. Джафарзаде, В.В.Шишаков, И.Л.Якунина // Национальная Академия Авиации «Научный журнал» / Научный журнал :

Национальная Академия Авиации / ELMİ MƏSMUƏLƏR : Milli Aviasiya Akademiyasının. – Азербайджан, Баку : Национальная Академия Авиации. – Азербайджан: НАА, 2014. – Cild 16 №3. – С.154–166.

53. Джафарзаде Т. Р. Моделирование принятия решений человеком-оператором социотехнической аэронавигационной системы / Т. Р. Джафарзаде, Т. Ф. Шмелева, Ю. В. Сикирда // Вестник Азербайджанской Инженерной Академии : междунар. науч.-техн. журнал / HERALD of the Azerbaijan Engineering Academy. – Азербайджан, Баку : Азербайджанская Инженерная Академия, 2014. – CILD 6 № 4. – Oktyabr–Dekabr. – С. 88–102.

54. Дюк В. Data mining : учеб. курс / В. Дюк, А. Самойленко. – СПб. : Питер, 2001. – 368 с.

55. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М. : Мир, 1976. – 167 с.

56. Зараковский Г.М. Закономерности функционирования эргатических систем / Г.М. Зараковский, В.В. Павлов. – М. : Радио и связь, 1987. – 232 с.

57. Зайцев В.С. Системный анализ операторской деятельности / В.С. Зайцев. – М. : Радио и связь, 1990. – 119 с.

58. Ильченко М.А. Устойчивость рабочего процесса в двигателях летательных аппаратов / М.А. Ильченко, В.В. Крютченко. – М. : Машиностроение, 1995. – 320 с.

59. Ильясов М. Х. Формализация деятельности человека-оператора авиационной эргатической системы во внештатных ситуациях / М. Х. Ильясов, Т. Ф. Шмелева, Т. Р. Джафарзаде, Ю. В. Сикирда // Доклады Национальной Академии Наук Азербайджана. – Азербайджан, Баку : Национальная Академия Наук Азербайджана, 2014. – № 1. – С. 23–27.

60. Ильясов М. Х. Графоаналитическая модель деятельности человека-оператора в особых ситуациях / М. Х. Ильясов, Т. Р. Джафарзаде, Т. Ф. Шмелева, Ю. В. Сикирда // Научный журнал : Национальная Академия Авиации / ELMİ MƏSMUƏLƏR : Milli Aviasiya Akademiyasının. – Азербайджан, Баку : Национальная Академия Авиации, 2013. – CILD 15 № 4. – Oktyabr–Dekabr. – С. 97–103.

61. Иванов Э.С. Концепция социально-психологического обеспечения профилактики иррациональных решений человека-оператора в авиационных эргатических системах / Э.С. Иванов // Проблемы аэронавигации : сб. науч. пр. – Кировоград : ДЛАУ, 1996. – С. 56–62.
62. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем / Н.Н. Иващенко. – М. : Машиностроение, 1973. – 606 с.
63. Казак В.Н. Математическая модель системы «Самолет–пилот–среда» в условиях развития особой ситуации в полете / В.Н. Казак, Е.Н. Тачина // Проблемы информатизации та управління. – 2006. – №3 (18). – С. 1–4.
64. Казак В.Н. Системы автоматического и полуавтоматического управления полетом / В.Н. Казак, В.И. Салимон, А.А. Туник. – К. : НАУ, 2001. – 207 с.
65. Картамышев П.В. Методика лётного обучения / П.В. Картамышев, М.В. Игнатович, А.И. Оркин. – М. : Транспорт, 1987. – 280 с.
66. Касти Д. Большие системы. Связанность, сложность и катастрофы / Д. Касти ; пер. с англ. – М. : Мир, 1982. – 216 с.
67. Козелецкий Ю. Психологическая теория решений / Ю. Козелецкий ; пер. с польск. Г.Е. Минца, В.Н. Поруса; под ред. Б.В. Бирюкова. – М. : Прогресс, 1979. – 504 с.
68. Комашинский В.И., Смирнов Д.А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002. – 94 с.
69. Конспект лекцій з курсу «Основи теорії прийняття рішень»: Прийняття рішень в умовах небезпеки і ризику / О.М. Рева, Т.Ф. Шмельова. – Кировоград : ДЛАУ, 1998. – 52 с.
70. Контроль состояния человека-оператора и электрофизиологические помехи : монография / М. В. Фролов, Г. Б. Милованова. – М. : УРСС, 1996. – 160с.
71. Котик М.А. Природа ошибок человека-оператора (на примерах управления транспортными средствами) / М.А. Котик, А.М. Емельянов. – М. : Транспорт, 1993. – 252 с.
72. Котик М.А. Курс инженерной психологии / М.А.



- Котик. – Таллин : Валгус, 1978. – 364 с.
73. Котик М.А. Психология и безопасность / М.А. Котик. – Таллин : Валгус, 1981. – 408 с.
74. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман ; пер. с франц. – М. : Радио и связь, 1982. – 432 с.
75. Крыжановский Г.А. Введение в прикладную теорию управления воздушным движением: уч. для ВУЗов ГА / Г.А. Крыжановский. – М. : Машиностроение, 1984. – 368 с.
76. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – 2-е изд., стереотип. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.
77. Кудрявцев Е.М. Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах / Е.М. Кудрявцев. – М. : Радио и связь, 1984. – 184 с.
78. Кузин А.Н. Оценка полетной ситуации и принятие оперативных решений на базе многослойных нейронных сетей / А.Н. Кузин, Г.Н. Лебедев, С.Э. Ситников // Авиакосмическое приборостроение. – 2002. – № 3. – С. 25–28.
79. Кулик Н.С. Энциклопедия безопасности авиации / Н.С. Кулик, В.П. Харченко, М.Г. Луцкий и др.; под ред. Н.С. Кулика. – К.: Техника, 2008. – 1000с.
80. Лалетин К.Н. Практическая аэродинамика самолета Як-18Т / К.Н. Лалетин, Г.Т. Ганус, Ю.П. Иванов и др. – М. : Транспорт, 1976. – 216 с.
81. Ланге О. Оптимальные решения / О. Ланге. – М. : Прогресс, 1967. – 285с.
82. Леонтьев А.Н. Избранные психологические произведения: в 2х т. / А.Н. Леонтьев. – Т.1. – М. : Педагогика, 1983. – 392 с.
83. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность / А.Н. Леонтьев. – М. : Педагогика, 1982. – 280 с.
84. 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.
85. Лейченко С.Д. Человеческий фактор в авиации: монография в 2-х книгах / С.Д. Лейченко, А.В. Мальшевский, Н.Ф. Михайлик. – Кн. 2. – СПб. – Кировоград : КОД, 2006. – 480 с.

86. 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.

87. Лефевр В.А. Алгебра совести / В.А. Лефевр ; пер. с англ. – 2-е изд. – М. : Когито-центр, 2003. – 418 с.

88. Ломов Б.Ф. Методологические и теоретические проблемы психологии / Б.Ф. Ломов. – М. : Наука, 1984. – 444 с.

89. Ломов Б.Ф. Системность как принцип математического моделирования в психологии / Б.Ф. Ломов // Вопросы кибернетики. – 1979. – Вып. 50. – С. 3–18.

90. Майерс Д. Социальная психология / Д. Майерс ; пер. с англ. – 5-е междунар. изд. – СПб. : Питер, 1997. – 688 с.

91. Макаров Р.Н. Психологические основы дидактики летного обучения / Р.Н. Макаров, Н.А. Нидзий, Ж.К. Шишкин. – М. : МАПЧАК, 2000. – 534 с.

92. Макаров Р.Н. Авиационная педагогика: учебник / Р.Н. Макаров, С.Н. Неделько, А.П. Бамбуркин, В.А. Григорецкий. – М., Кировоград : МНАПЧАК, ГЛАУ, 2005. – 433 с.

93. Маханов С.Р. К проблеме принятия решений экипажем в особой ситуации / С.Р. Маханов, В.Е. Чепига // Оптимизация летной эксплуатации в ожидаемых условиях и особых ситуациях: межвуз. тематич. сб. науч. тр. – Л. : ОЛАГА, 1988. – Вып. 6. – С. 6–7.

94. Мескон М. Основы менеджмента / М. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури ; пер. с англ. – 3-е изд. – М. : Изд-во «Вильямс», 2008. – 665 с.

95. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Теория управления» для курсантов специальности 7.100109 «Обслуживание воздушного движения» и для слушателей заочного факультета специальности 7.100109 «Обслуживание воздушного движения» по теме: «Анализ устойчивости авиационной эргатической системы «оператор – воздушное судно» / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда. – Кировоград : ГЛАУ, 2003. – 24 с.

96. Методические указания для практических занятий по дисциплине «Теория управления» по темам: «Принятие решений путем выявления предпочтений человека-оператора

авиационной эргатической системы», «Многокритериальные задачи», «Эвристические методы принятия решений» / Т.Ф. Шмелева, Л.Н. Джума, Л.А. Сагановская. – Кировоград : ГЛАУ, 2008. – 39 с.

97. Методические указания к проведению практических занятий по дисциплине «Теория управления» для курсантов специальности 7.100109 «Обслуживание воздушного движения» и для слушателей заочного факультета специальности 7.100109 «Обслуживание воздушного движения» по теме: «Принятие решений в условиях неопределенности. Задача выбора запасного аэродрома» / Т.Ф. Шмелева, О.А. Артеменко. – Кировоград : ГЛАУ, 2005. – 32 с.

98. Методичні вказівки до вивчення курсу «Основи теорії прийняття рішень». Однокрокові методи рішення задач з векторним показником ефективності / О.М. Рева. – Кировоград : ДЛАУ, 1996. – 23 с.

99. Методичні вказівки до вивчення курсу «Основи теорії прийняття рішень». Прийняття рішень шляхом виявлення системи пріоритетів (переваг) авіаспеціаліста / О.М. Рева. – Кировоград : ДЛАУ, 1996. – 18 с.

100. Методичні вказівки до вивчення курсу «Основи теорії прийняття рішень». Методи теорії ігор в процесах прийняття і аналізу рішень / О.М. Рева. – Кировоград : ДЛАУ, 1998. – 21 с.

101. Методичні вказівки до вивчення курсу «Основи теорії прийняття рішень». Колективні рішення в невеликій групі авіаційних операторів: конспект лекцій / О.М. Рева. – Кировоград : ДЛАУ, 1998. – 34 с.

102. Микинелов А.Л. Оптимизация летной эксплуатации: учеб. пособие для студентов вузов ГА / А.Л. Микинелов, В.Е. Чепига. – М. : Воздуш. трансп., 1992. – 192 с.

103. Михайлик Н.Ф. Проблема эксплуатации воздушных судов в экстремальных условиях. Постановка задачи / Н.Ф. Михайлик, Р.М. Джафарзаде, А.В. Малишевский // Труды общества независимых исследователей авиационных происшествий. – Вып. 16. – М. : МАК, 2004. – С. 183–198.

104. Мокшанов В.И. Человеческий фактор и безопасность полетов при УВД. Проблемы, состояния, перспективы / В.И. Мокшанов, В.Г. Линов // Отчет о работе

семинара ІСАО по людському фактору. Сб. матеріалів № 4 / Circ. ІСАО 229-AN/137. – Канада, Монреаль, 1990. – С. А-239-А-257.

105. Москаленко В.В. Психологія соціального впливу : навч. пос. / В.В. Москаленко. – К. : Центр учбової літ-ри, 2007. – 448 с.

106. Морено Я.Л. Социометрия: экспериментальный метод и наука об обществе / Я.Л. Морено; пер. с англ. – М.: Академический проект, 2001. – 428 с.

107. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер ; пер. с нем. – М. : Мир, 1990. – 204 с.

108. Надежность и эффективность в технике: справочник в 10 т. / под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – Т. 3. Эффективность технических систем. – М. : Машиностроение, 1988. – 328 с.

109. Неділько С.М. Основи теорії функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом : монографія / С.М. Неділько. – Кіровоград : ДЛАУ, 2011. – 218 с.

110. Неделько В.Н. Обеспечение эффективности информационной поддержки принятия решений в автоматизированных системах обслуживания воздушного движения с элементами искусственного интеллекта : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.13 / В.Н. Неделько. – К., 2002. – 183 с.

111. Немов Р.С. Психология : учеб. для студ. высш. пед. учеб. заведений: в 3х кн. / Р.С. Немов. – Кн. 1. Общие основы психологии. – 5-е изд. – М. : Гуманитарный изд. центр ВЛАДОС, 2006. – 687 с.

112. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / пер. с англ. ; под ред. Р.Р. Ягера. – М. : Радио и связь, 1986. – 408 с.

113. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С.А. Орловский. – М. : Наука. Главная редакция физ.-мат. лит-ры, 1981. – 208 с.

114. Основи інформаційних систем : навч. посіб. / В.Ф. Ситник, Т.А. Писаревська, Н.В. Єрьоміна, О.С. Краєва ; за ред. В.Ф. Ситника. – Вид. 2-ге, перероб. і доп. – К. : КНЕУ, 2001. – 420 с.

115. Петров К.К. Интеллектуальная навигационная тренажерно-обучающая система: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / К.К. Петров. – СПб., 2006. – 176 с.
116. Поліщук С.Т. Методика прогнозування ймовірностей виконання завдання людиною-оператором за критерієм ліміту часу / С.Т. Поліщук // Вісник НАУ. – 2009. – №3. – С. 87–90.
117. Поляк Б.Т. Робастная устойчивость и управление / Б.Т. Поляк, П.С. Щербаков. – М. : Наука, 2002. – 303 с.
118. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д.А. Поспелов. – М. : Наука, 1986. – 245 с.
119. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа вычислительных актов / Д.А. Поспелов. – М. : Радио и связь, 1989. – 184 с.
120. Постон Г. Теория катастроф и ее приложения / Г. Постон, И. Стюарт ; пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 617 с.
121. Присняков В.Ф. Математическое моделирование переработки информации оператором человеко-машинных систем / В.Ф. Присняков, Л.М. Приснякова. – М. : Машиностроение, 1990. – 248 с.
122. Присняков В.Ф. К изучению процессов переработки информации памятью человека / В.Ф. Присняков, Л.М. Приснякова // Приборы и методы автоматизации экспериментальных исследований : сб. науч. тр. – Днепропетровск : ДГУ, 1983. – С. 165–172.
123. Прокофьев А.И. Надежность и безопасность полетов : уч. пособие для вузов гражданской авиации / А.И. Прокофьев. – М. : Машиностроение, 1985. – 184 с.
124. Психодіагностика / І.М. Галян. –К. : Академвидав, 2009. – 464 с.
125. Райфа Х. Анализ решений: (введение в проблему выбора в условиях неопределенности) / Х. Райфа ; пер. с англ. – М. : Наука, 1977. – 408 с.
126. Рева А.Н. Эргономические основы первоначальной профессиональной подготовки пилотов : монография / А.Н. Рева, К.М. Тумьшев. – Алмааты, 2000. – 272 с.

127. Рева А.Н. Эргономические основы первоначальной профессиональной подготовки пилотов: дис. ... доктора техн. наук : 05.22.14 / А.Н. Рева. – К., 1996. – 376 с.
128. Романенко В.Д. Адаптивное управление технологическими процессами на базе микроЭВМ : учеб. пособие / В.Д. Романенко, Б.В. Игнатенко. – К. : Выща шк., 1990. – 334 с.
129. Романов В.Н. Системный анализ для инженеров / В.Н. Романов. – СПб. : СЗГЗТУ, 2006. – 186 с.
130. Рубец М.И. Методика оценки пригодности подстилающей поверхности к выполнению вынужденной посадки гражданским воздушным судном / М.И. Рубец, В.В. Москвичев // Проблемы аеронавігації : зб. наук. пр. – Вип. III. – Ч. II: Удосконалення процесів діяльності та професійної підготовки авіаційних операторів. – Кіровоград : ДЛАУ, 1997. – С. 9–15.
131. Рубинштейн С.Л. Основы общей психологии / С.Л. Рубинштейн. – СПб. : Питер, 2007. – 713 с.
132. Рябинин И. Надежность, живучесть и безопасность кораблей / И. Рябинин // Морской сборник. – 1987. – № 8. – С. 62–65.
133. 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.
134. Сакач Р.В. Безопасность полетов : учеб. для вузов / Р.В. Сакач, Б.В. Зубков, М.Ф. Давиденко и др. ; под ред. Р.В. Сакача. – М. : Транспорт, 1989. – 239 с.
135. Сікірда Ю.В. Склад і функції інформаційно-аналітичного діагностичного комплексу для дослідження закономірностей діяльності операторів в системі аеронавігаційного обслуговування / Ю.В. Сікірда, Т.Ф. Шмельова // Современные направления развития информационно-коммуникационных технологий и средств управления : III междунар. науч.-технич. конф., Полтава-Белгород-Харьков-Киев-Кировоград, 11-12 апреля 2013 г. : тезисы докладов. – Х. : Харьковский научно-исследовательский институт технологии машиностроения, 2013. – С. 22.
136. Сікірда Ю.В. Моделювання системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних

ситуаціях: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Ю.В. Сікірда. – К., 2004. – 184 с.

137. Сікірда Ю.В. Интегрированная адаптивная система управления воздушным движением во внештатных полетных ситуациях / Ю.В. Сікірда, Т.Ф. Шмелева // Искусственный интеллект. – 2003. – №4. – С. 365–372.

138. Сікірда Ю.В. Автоматизація інформаційної підтримки оператора авіаційної ергатичної системи в екстремальних польотних ситуаціях / Ю.В. Сікірда // Автоматизація виробничих процесів. – 2003. – №2 (17). – С. 47–51.

139. Сікірда Ю.В. Нейросіткова модель оцінювання ефективності альтернативних варіантів завершення польоту в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки повітряного судна / Ю.В. Сікірда, Т.Ф. Шмельова // Вісник Технологічного університету Поділля (Хмельницький державний університет). – 2004. – №2. – Ч. 1. – Т. 3. – С. 44–47.

140. Сікірда Ю.В. Нейронно-експертна система діагностики помилкових дій оператора авіаційної ергатичної системи / Ю.В. Сікірда, Т.Ф. Шмельова // Аерокосмічні системи моніторингу та керування : V міжнар. наук.-техн. конф. “АВІА-2003”, Київ, 23-25 квіт. 2003 р. : тези доповідей. – К. : НАУ, 2003. – Т. 2. – С.21.56–21.59.

141. Сікірда Ю.В. Синтез адаптивной системы управления воздушным движением во внештатных полетных ситуациях / Ю.В. Сікірда, Т.Ф. Шмелева // Искусственный интеллект : междунар. науч.-техн. конф., п. Кацивели, Крым, Украина, 16-20 сент. 2003 г. : тезисы докладов. – Таганрог-Донецк : Таганрогский государственный радиотехнический университет, 2003. – С. 127–129.

142. Сікірда Ю.В. Оцінка ефективності потенційних альтернатив завершення польоту в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки повітряного судна / Ю.В. Сікірда, Т.Ф. Шмельова // АВІА–2004 : VI міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 26-28 квіт. 2004 р. – К. : НАУ, 2004. – Т. 2. Аерокосмічні системи моніторингу та керування. – С. 21.101–21.104.

143. Сікірда Ю.В. Формування структури інформаційного забезпечення системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях / Ю.В.

Сікірда, Т.Ф. Шмельова, І.І. Єніна // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград : КНТУ, 2004.– Вип. 15. – С. 212–217.

144. Сікірда Ю.В. Експериментально-методичні засади розробки програмного забезпечення системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях / Ю.В. Сікірда, Т.Ф. Шмельова // Искусственный интеллект. – 2004. – №4. – С. 448–455.

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

146. Сікірда Ю.В. Ідентифікація емоційного стану пілота в екстремальних умовах польоту методом фазової площини / Ю.В. Сікірда, Т.Ф. Шмельова // Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем : III міжн. наук.-практ. конф., Кіровоград, 10 груд. 2008 р. : тези доповідей. – Кіровоград : ДІАУ, 2008. – С. 6–8.

147. Сікірда Ю.В. Система діагностики емоційного стану людини-оператора аеронавігаційної системи / Ю.В. Сікірда, Т.Ф. Шмельова, Ю.Б. Беляев // Наукові праці національного університету харчових технологій. – 2015. – № 3. – Т.21. – С.7-14.

148. Сіроджа І.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления / И.Б. Сіроджа. – К. : Наукова думка, 2002. – 420 с.

149. Сіроджа І.Б. Принятие решений в управлении знаниями средствами инженерии квантов знаний / И.Б. Сіроджа // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – №2 (346). – С. 161–171.

150. Смирнов О.П. Моделирование функционального состояния элементов системы «человек–техника–среда» / О.П. Смирнов // Вестник ХГАДТУ. – Харьков : РИО ХГАДТУ, 2000. – Вып. 12–13. – С. 192–195.



151. Справочник по прикладной статистике: в 2х т. / пер. с англ. ; под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, С.А. Айвазяна, Ю.Н. Тюрина. – Т. 2. – М. : Финансы и статистика, 1990. – 526 с.
152. Стрелков Ю.К. Психология труда, инженерная и профессиональная психология / Ю.К. Стрелков. – М. : Академия, 2004. – 695 с.
153. Таран Т.А. Поддержка принятия решений при рефлексивном управлении / Т.А. Таран, В.Н. Шемаев // Рефлексивные процессы и управление. – 2005. – №2.– Июль–декабрь. – Т. 5. – С. 101–115.
154. Таха Х.А. Введение в исследование операций : в 2х кн. / Х.А. Таха ; пер. с англ. – Кн. 2. – М. : Мир, 1985. – 496 с.
155. Таха Х.А. Введение в исследование операций / Х.А. Таха ; пер. с англ. – 6-е изд. – М. : Издат. дом «Вильямс», 2001. – 912 с.
156. Техническая кибернетика : в 2х кн. / под ред. В.В. Солодовникова. – Кн. 1. – М. : Машиностроение, 1967. – 770 с.
157. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений / Э.А. Трахтенгерц. – М. : СИНТЕГ, 1998. – 376 с.
158. Тулупов В.В. Автоматизована навчаюча система для підготовки оперативно-диспетчерського персоналу газотранспортних систем : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / В.В. Тулупов. – Херсон, 2003. – 152 с.
159. Ухтомский А.А. Интуиция совести / А.А. Ухтомский. – СПб. : Петербургский писатель, 1996. – 528 с.
160. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника / Ф. Уоссермен ; пер. с англ. – М. : Мир, 1992. – 223 с.
161. Факторы, влияющие на длину посадочной дистанции самолета // Воздушный транспорт. Зарубежный опыт: Экспресс-информация. – М. : ЦНТИГА, 1984. – №6. – С. 69–74.
162. Филлипс Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филлипс, Р. Харбор. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 616 с.
163. Филлипс Д. Методы анализа сетей / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас ; пер. с англ. – М. : Мир, 1984. – 496 с.

164. Харченко В.П. Прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи: монографія / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда. – Кіровоград : КІА НАУ, 2012. – 292 с.
165. Харченко В.П. Графоаналітичні 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.
166. Харченко В.П. Застосування методів соціоніки для комплектування груп фахівців аеронавігаційних систем / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, А.В. Землянський // Вісник Національного авіаційного університету. – 2012. – №1. – С. 14–21.
167. Харченко В.П. Стохастичний мережевий аналіз розвитку польотних ситуацій / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // АВІА-2011 : Х міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 19-21 квіт. 2011 р. : тези доповідей. – Т. 2. – К. : НАУ, 2011. – С. 7.28–7.31.
168. Харченко В.П. Майбутнє аерокосмічних інформаційних систем і керування транспортом / В.П. Харченко // Вісник КМУЦА. – К. : КМУЦА, 1999. – № 2. – С.166–179.
169. Харченко В.П. Проблемы развития и методы управления эффективностью систем аэронавигационного обслуживания : дис. ... доктора техн. наук: 05.22.13 / В.П. Харченко. – К., 1994. – 450 с.
170. Харченко В.П. Принципи організації повітряного простору : навч. посіб. / В.П. Харченко, О.Є. Луппо, В.П. Кологуша. – К. : НАУ, 2006. – 124 с.
171. Хьютсон А. Дисперсионный анализ / А. Хьютсон. – М. : Статистика, 1971. – 88 с.
172. Цибулевский И.Е. Человек как звено следящей системы / И.Е. Цибулевский. – М. : Наука, 1981. – 288 с.
173. Черный М.А. Воздушная навигация : учеб. для сред. спец учеб. заведений / М.А. Черный, В.И. Кораблин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1991. – 432 с.
174. Черчмен У. Введение в исследование операций / У. Черчмен, Р. Акоф, Л. Арноф ; пер. с англ. – М. : Наука, 1967. – 488 с.

175. Шапкин А.С. Теория риска и моделирование рискованных ситуаций : учебник / А.С. Шапкин, В.А. Шапкин. – М. : Издат.-торг. корпорация «Дашков и К<sup>о</sup>», 2005. – 880 с.
176. Швец В.А. Анализ состояния аварийности гражданских воздушных судов Украины за период 1998-2007 гг. / В.А. Швец, О.Н. Алексеев. – К. : Госавиаадминистрация, 2008. – 83 с.
177. Шевченко В. Нейронные сети / В. Шевченко // Компьютерное обозрение. – 4 дек. 1996 г. – №46 (70). – С. 19–25.
178. Шехтер М.С. Зрительное опознание: закономерности и механизм / М.С. Шехтер. – М. : Педагогика, 1981. – 264 с.
179. Шемаев В.Н. Знание-ориентированный подход к анализу естественно-языковой текстовой информации в интересах мониторинга и оценки ситуаций / В.Н. Шемаев, И.В. Замаруева, М.В. Приймак, Е.Н. Дубровский // Интеллектуальный анализ информации : сб. науч. тр. – К. : НТУУ «КПИ», 2003. – С. 1–18.
180. Шеридан Т.Б. Системы человек – машина. Модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором / Т.Б. Шеридан, У.Р. Феррелл ; пер. с англ. – М. : Машиностроение, 1980. – 400 с.
181. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах “человек–техника” / Г.П. Шибанов. – М. : Машиностроение, 1983. – 263 с.
182. Ширшов В.Г. Оцінка ризиків функціонування авіаційної транспортної системи / В.Г. Ширшов // Вісник КМУЦА. – К. : КМУЦА, 1999. – №1. – С. 265–268.
183. Шмельова Т.Ф. Ігровий підхід дослідження невизначеності в конфліктних задачах системи управління повітряним рухом / Т.Ф. Шмельова // Проблеми аеронавігації : зб. наук. пр. – Кіровоград : ДЛАУ, 1996. – С. 36–41.
184. Шмельова Т.Ф. Моделювання процесу навчання за допомогою теорії катастроф / Т.Ф. Шмельова // Проблеми аеронавігації : зб. наук. пр. – Вип. III. – Ч. II. – Кіровоград : ДЛАУ, 1997. – С. 56–59.
185. Шмельова Т.Ф. Діагностика емоційного стану людини-оператора в аеронавігаційній системі / Т.Ф. Шмельова //

Наука і техніка Повітряних сил Збройних сил України. – 2012. – Вип. 2 (8). – С. 45–49.

186. Шмельова Т.Ф. Моделювання поведінкової діяльності людини-оператора в авіаційній соціотехнічній системі / Т.Ф. Шмельова // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. Міністерства оборони України. – 2012. – Вип. 2 (100). – С. 68–74.

187. Шмельова Т.Ф. Вплив підготовки пілотів на надійність пілотування на малих висотах / Т.Ф. Шмельова, С.Ф. Колісниченко, Ю.В. Щербина // Наукові праці академії : зб. наук. пр. – 1998. – Вип. III. – Ч. II. – С. 71–77.

188. Шмельова Т.Ф. Метод динамічного моделювання в дослідженні процесів управління в складних поліергатичних системах / Т.Ф. Шмельова, Т.О. Слюсаренко // Збірник наукових праць КДТУ. – 2002. – Вип. 11. – С. 47–50.

189. Шмелева Т.Ф. Моделирование деятельности руководителя полетов в коллективе с позиций системного подхода / Т.Ф. Шмелева, Л.А. Сагановская // Наукові праці академії : зб. наук. пр. – Кіровоград : ДЛАУ, 2002. – Вип. V. – Ч. I. – С. 237–243.

190. Шмелева Т.Ф. Выбор запасного аэродрома в условиях неопределенности / Т.Ф. Шмелева, О.В. Артеменко, В.В. Павлова // Наукові праці академії : зб. наук. пр. – Вип. VII. – Ч. I. – Кіровоград : ДЛАУ, 2003 – С. 234–240.

191. Шмелева Т.Ф. Система поддержки принятия решений летного диспетчера в задаче выбора оптимального маршрута / Т.Ф. Шмельова, Д.П. Шалагина // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем : междунар. науч.-практ. конф., Кировоград, 10 дек. 2008 г. : тезисы докладов. – Кировоград : ГЛАУ, 2008. – С. 129–132.

192. Шмелева Т.Ф. Моделирование процесса принятия решения на вылет в автоматизированной системе подготовки предполетной информации / Т.Ф. Шмелева, О.В. Артеменко // Искусственный интеллект. – 2005. – №4. – С. 441–447.

193. Шмелева Т.Ф. К вопросу автоматизированной обработки логической информации / Т.Ф. Шмелева, С.Т. Кузнецов, Н.В. Столярчук // Наукові записки: математичні науки. – Вип. 65. – Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Вінниченка, 2006. – С. 122–128.

194. Шмельова Т.Ф. Експертний метод визначення часових характеристик при виникненні особливого випадку в польоті / Т.Ф. Шмельова, О.П. Бондар, І.Л. Якуніна // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – №1(25). – С. 175–179.

195. Шмельова Т.Ф. Аналіз особливого випадку в польоті за допомогою мережевого графіка / Т.Ф. Шмельова, О.П. Бондар, І.Л. Якуніна // Вісник НАУ. – 2011. – №2. – С. 41–44.

196. Шмельова Т.Ф. Мережевий аналіз особливого випадку в польоті / Т.Ф. Шмельова, І.Л. Якуніна, О.П. Бондар // Техніка в сільськогосподарському виробництві та галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. праць. – Вип 23. – Кіровоград : КНТУ, 2010. – С. 45–51.

197. Шмелева Т.Ф. Анализ математической модели памяти человека при обработке предполетной информации / Т.Ф. Шмелева, О.В. Артеменко // Техніка в сільськогосподарському виробництві та галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. пр. – Вип 24. – Кіровоград : КНТУ, 2011. – С.152–158.

198. Шмельова Т.Ф. Методи оцінювання помилкових дій оператора авіаційної ергатичної системи за допомогою формалізації ризику / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // Аерокосмічні системи моніторингу та керування : IV міжнар. наук.-техн. конф. “АВІА-2002”, Київ, 23-25 квіт. 2002 р. : тези доповідей. – Т. 2. – К. : НАУ, 2002. – С.21.21–21.24.

199. Шмелева Т.Ф., Иерархическая декомпозиция системы аэронавигационного планирования при моделировании выполнения полета воздушного судна / Т.Ф. Шмельова, П.П. Кудь, С.А. Власов // Інтегровані інформаційні технології та системи – 2005 : наук.-практ. конф. молодих учених та аспірантів, Київ, 21-23 листоп. 2005 р. : тези доповідей. – К. : НАУ, 2005. – С.156–157.

200. Шмельова Т.Ф. Розрішення конфліктної ситуації в процесі навчання методами теорії ігор / Т.Ф. Шмельова, Е.С. Іванов // Проблеми аеронавігації : зб. наук. пр. – Вип. III. – Ч. II. – Кіровоград : ДЛАУ, 1997. – С. 103–106.

201. Шмельова Т.Ф. Статистичний аналіз зіткнень повітряних суден з птахами / Т.Ф. Шмельова, І.Л. Якуніна // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем :

междунар. науч.-практ. конф., Кировоград, 28-29 окт. 2009 г. : тезисы докладов. – Кировоград : ГЛАУ, 2009. – С. 259–262.

202. Шмельова Т.Ф. Методи оцінки ризику прийняття рішення в екстремальних умовах з урахуванням інформації про емоційний стан пілота / Т.Ф. Шмельова // АВІА-2007 : VIII міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 25-27 квіт. 2007 р. : тези доповідей. – Т. 2. Аерокосмічні системи моніторингу та керування. – К. : НАУ, 2007. – С. 22.9–22.12.

203. Шмельова Т.Ф. Система підтримки прийняття рішення льотного диспетчера / Т.Ф. Шмельова // Автоматизація : проблеми, ідеї, рішення : міжнар. наук.-техн. конф., Севастополь, 8-12 верес. 2008 р. : тези доповідей. – Севастополь : СНТУ, 2008. – С. 262–266.

204. Шмелева Т.Ф. Применение нейронных сетей в задаче выбора запасного аэродрома / Т.Ф. Шмелева, О.В. Артеменко., А.С. Тимошенко // Матеріали I міжнар. наук.-практ. конф., Черкаси, 10-13 трав. 2011 р. – Черкаси : ЧДТУ, 2011. – С. 147.

205. Шмельова Т.Ф. Підходи до ідентифікації емоційного стану пілота при прийнятті рішення в позаштатних ситуаціях / Т.Ф. Шмельова, О.В. Коваленко // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем : междунар. науч.-практ. конф., Кировоград, 10 дек. 2008 г. : тезисы докладов. – Кировоград : ГЛАУ, 2008. – С. 95–98.

206. Шмельова Т.Ф. Аналіз впливу соціально-психологічних чинників на професійну діяльність авіаційного спеціаліста / Т.Ф. Шмельова, О.С. Правда // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем : междунар. науч.-практ. конф., Кировоград, 10 дек. 2008 г. : тезисы докладов. – Кировоград : ГЛАУ, 2008. – С. 98–101.

207. Шмелева Т.Ф. Заход на посадку в сложных метеоусловиях. Сетевая модель / Т.Ф. Шмельова, А.В. Бабич // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем: междунар. науч.-практ. конф., Кировоград, 10 дек. 2008 г. : тезисы докладов. – Кировоград : ГЛАУ, 2008. – С. 211–213.

208. Шмелева Т.Ф. Оценка сложности упражнений УВД / Т.Ф. Шмельова, В.Ю. Якунин, А.В. Извалов // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем : междунар. науч.-практ. конф., Кировоград, 27-28 окт. 2010 г. : тезисы докладов. – Кировоград : ГЛАУ, 2010. – С. 106–110.

209. Шмелева Т.Ф. О некоторых подходах к улучшению памяти авиационных специалистов / Т.Ф. Шмелева, В.Ю. Отряжий // Політ-2009. Сучасні проблеми науки : IX міжнар. наук. конф. студ. та молодих учених, Київ, 8-10 квіт. 2009 р. : тези доповідей. – К. : НАУ, 2009. – С. 38.

210. Шмельова Т.Ф. Модель розвитку аварійної ситуації у випадку зіткнення повітряного судна з птахом на етапі зльоту / Т.Ф. Шмельова, І.Л. Якуніна // АВІА-2009 : IX міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 21-23 верес. 2009 р. : тези доповідей. – К. : НАУ, 2009. – С. 115–118.

211. Шмелева Т.Ф. Оценка эргатической устойчивости системы «Человек – Воздушное судно – Внешняя среда» / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда, А.В. Землянский // Автоматика-2010 : 17-та міжнар. конф. з автоматичного управління, Харків, 27-29 верес. 2010 р. : тези доповідей. – Т. 1. – Харків : ХНУРЕ, 2010. – С. 309–310.

212. Шмельова Т.Ф. Застосування контролюючих тестів в системі передтренажерної підготовки фахівців з обслуговування повітряного руху / Т.Ф. Шмельова, І.Л. Якуніна // Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем : VI міжнар. наук.-практ. конф., Кировоград, 27-28 жовт. 2011 р. : тези доповідей. – Кировоград : ДЛАУ, 2011. – С. 44–47.

213. Шмельова Т.Ф. Мережеве планування при плануванні курсів підготовки та підтримання/відновлення кваліфікації фахівців передпольотного інформаційного обслуговування / Т.Ф. Шмельова, О.О. Кеслер // Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем : VI міжнар. наук.-практ. конф., Кировоград, 27-28 жовт. 2011 р. – Кировоград : ДЛАУ, 2011. – С. 47–48.

214. Шмельова Т.Ф. Автоматизація оцінювання передтренажерного етапу початкової підготовки спеціалістів з обслуговування повітряного руху / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, А.П. Смутко // Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем: VI міжнар. наук.-практ. конф., Кіровоград, 27-28 жовт. 2011 р. : тези доповідей. – Кіровоград : ДЛАУ, 2011. – С. 69–71.

215. Шмельова Т.Ф. Автоматизація оцінювання в системі передтренажерної підготовки / Т.Ф. Шмельова, І.Л. Якуніна, А.В. Землянський // Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM : наук.-метод. конф., Київ, 21-22 листоп. 2011 р.: тези доповідей. – К. : НАУ, 2011. – С. 18.

216. Шмельова Т.Ф. Технологія розробки дерева прийняття рішень у випадку відмови двигуна на зльоті / Т.Ф. Шмельова, І.Л. Якуніна // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем: междунар. науч.-практ. конф., Кіровоград, 27-28 окт. 2010 г. : тезисы докладов. – С. 110–114.

217. Шмельова Т.Ф. Технологія розробки дерева прийняття рішень у випадку невипуску шасі / Т.Ф. Шмельова, М.С. Пархоменко // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем: междунар. науч.-практ. конф., Кіровоград, 27-28 окт. 2010 г. : тезисы докладов. – С. 114–117.

218. Шмелева Т.Ф. Моделирование принятия решений человеком-оператором при возникновении пожара на борту воздушного судна / Т.Ф. Шмелева, Ю.Я. Бузько // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем: междунар. науч.-практ. конф., Кіровоград, 27-28 окт. 2010 г. : тезисы докладов. – С. 122–125.

219. Шмелева Т.Ф. Моделирование процесса принятия решений человеком-оператором при возникновении ОСП (разгерметизации) на борту воздушного судна / Т.Ф. Шмелева, А.В. Алексеенко // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных



систем: междунар. науч.-практ. конф., Кіровоград, 27-28 окт. 2010 г. : тези доповідей. – С. 125–129.

220. Шмельова Т.Ф. Прийняття рішень в екстремальних умовах з урахуванням інформації про емоційний стан пілота / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту – 2008 : міжнар. наук. конф., Євпаторія, 19-23 трав. 2008 р. : тези доповідей. – Херсон : Херсонський національний технічний університет, 2008. – С. 76–79.

221. Шмельова Т.Ф. Моделювання процесів прийняття рішень людиною-оператором при виникненні особливого випадку в польоті – проблеми з електропостачанням / Т.Ф. Шмельова, В.В. Шишаков, А.В. Землянський // Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем: VI міжнар. наук.-практ. конф., Кіровоград, 27-28 жовт. 2011 р. : тези доповідей. – Кіровоград : ДЛАУ, 2011. – С. 69–71.

222. 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 жовт. 2010 р. : тези доповідей. – Кіровоград : ДЛАУ, 2010. – С. 117–121.

223. Шмельова Т.Ф. Моделювання конфліктної ситуації в авіаційній ергатичній системі / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // Наукові праці академії: зб. наук. пр. – Кіровоград : ДЛАУ, 2000. – Вип. V. – Ч. I. – С. 86–92.

224. Шмельова Т.Ф. Оптимізація інформаційної підготовки прийняття рішень в авіаційній ергатичній системі / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // Искусственный интеллект. – 2002. – №3. – С. 458–465.

225. Шмельова Т.Ф. Динамічна оцінка якості тренувань оператора авіаційної ергатичної системи за допомогою формалізації ризику / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // Наукові праці академії: зб. наук. пр. – Кіровоград : ДЛАУ, 2002. – Вип. VI. – Ч. I. – С. 209–215.

226. Шмельова Т.Ф. Оптимізація процесу прийняття рішень в авіаційній ергатичній системі за допомогою нейронних сіток / Т.Ф. Шмельова, В.В. Бутинець, Ю.В. Сікірда // Наукові

праці академії: зб. наук. пр. – Кіровоград : ДЛАУ, 2002. – Вип. VI. – Ч. I. – С. 231–237.

227. 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: Зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету. – Вип. 25. – Ч. II. – Кіровоград : КНТУ, 2012.– С. 385-392.

228. Шмельова Т.Ф. Моделювання процесу прийняття рішень авіаспеціалістом з урахуванням індивідуальних якостей / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // Автоматика-2008: 15-та міжнар. конф. з автоматичного управління, Одеса, 23-26 верес. 2008 р. : тези доповідей. – Одеса : ОНМА, 2008. – С. 954–956.

229. Шмельова Т.Ф. Аналіз соціонічних моделей авіаційних спеціалістів / Т.Ф. Шмельова, Ю.В.Сікірда // Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем: VI міжнар. наук.-практ. конф., Кіровоград, 27-28 жовт. 2011 р. : тези доповідей. – Кіровоград : ДЛАУ, 2011. – С. 76–79.

230. Шмельова Т.Ф. Моделювання процесу прийняття рішень людиною-оператором авіаційної ергатичної системи з урахуванням впливу психофізіологічних та суспільно-психологічних факторів / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // Наукові праці академії: зб. наук. пр. – Вип. XII. – Кіровоград : ДЛАУ, 2007.– С. 342–355.

231. Шмелева Т.Ф. Формализация деятельности человека-оператора авиационной эргатической системы во внештатных ситуациях / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №5 (46). – С. 296–300.

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

233. Шмельова Т.Ф. Декомпозиція системи управління повітряним рухом при дослідженні процесів діяльності людини-

оператора в неочікуваних умовах експлуатації повітряного судна / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сікірда, І.Л. Яқуніна // АВІА-2009 : ІХ міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 21-23 верес. 2009 р. : тези доповідей. – Т. 1. – К. : НАУ, 2009. – С. 6.7–6.10.

234. Шмелева Т.Ф. Модель управління розвитком польотної ситуації з урахуванням діяльності людини-оператора / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сікірда // Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем: міжнар. наук.-практ. конф., Кіровоград, 28-29 жовт. 2009 р. : тези доповідей. – Кіровоград : ДЛАУ, 2009. – С. 170–174.

235. Шмелева Т.Ф. Прогнозна модель розвитку польотної ситуації з врахуванням прийняття рішення людиною-оператором авіаційної ергатичної системи / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сікірда // Управление, автоматизация и окружающая среда: междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, Севастополь, 24-28 мая 2010 г. : тезисы докладов. – Севастополь : СевНТУ, 2010. – С. 265–268.

236. Шмелева Т.Ф. Моделирование поведенческой деятельности человека-оператора авиационной эргатической системы / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сікірда // Автоматизация: проблемы, идеи, решения – 2010: міжнар. наук.-техн. конф., Севастополь, 6-10 верес. 2010 р. : тези доповідей. – Севастополь : СевНТУ, 2010. – С. 76–80.

237. Шмелева Т.Ф. Моделирование принятия решения людиною-оператором авіаційної ергатичної системи в неочікуваних умовах експлуатації повітряного судна / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сікірда // Автоматика-2009 : 16-та міжнар. конф. з автоматичного управління, Чернівці, 22-25 верес. 2009 р. – Чернівці : ЧНУ, 2009. – С. 22–23.

238. Шмелева Т.Ф. Мережеве планування дій авіадипетчера / Т.Ф. Шмелева, О.П. Бондар, І.Л. Яқуніна // Наука і техніка Повітряних сил Збройних сил України. – 2012. – Вип. 1 (7). – С. 63–66.

239. Шмелева Т.Ф. Рефлексивні моделі біполярного вибору в соціотехнічних аеронавігаційних системах / Т.Ф. Шмелева // АВІА-2015 : ХІІ міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 27-28 травня 2015 р. : тези доповідей. – Т. 2. – К. : Національний авіаційний університет, 2015. – Р.9.32 – 9.36

240. Шмельова Т.Ф. Shmelyova T.F. Expert estimation of human factor using reason model's components / T.F. Shmelyova, E.N.Danilenko, T.K.Boldysheva // АВІА-2015 : XII міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 27-28 травня 2015 р. : тези доповідей. – Т. 2. – К. : Національний авіаційний університет, 2015. – Р.9.48 – 9.52

241. Шмельова Т.Ф. Аналіз впливу факторів середовища менеджменту авіапідприємства на безпеку авіаційної діяльності / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, О.Ю. Ассаул // АВІА-2015 : XII міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 27-28 травня 2015 р. : тези доповідей. – Т. 2. – К. : Національний авіаційний університет, 2015. – Р.8.1 – 8.5

242. Шмельова Т.Ф. Графоаналітичні моделі аналізу авіаційних подій / Т.Ф. Шмельова, І.Л.Якуніна, Т.Р.Джафарзаде // АВІА-2015 : XII міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 27-28 травня 2015 р. : тези доповідей. – Т. 2. – К. : Національний авіаційний університет, 2015– Р.9.36 – 9.40

243. Шмельова Т.Ф. Метод ідентифікації емоційного стану пілота за допомогою параметрів пілотування / Т.Ф. Шмельова, О. В. Шостак, М.В. Васильєв // АВІА-2015 : XII міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 27-28 травня 2015 р. : тези доповідей. – Т. 2. – К. : Національний авіаційний університет, 2015. – Р.7.46 – 7.50

244. Шмельова Т.Ф. Підходи до консолідації інформаційних потоків в системах аеронавігаційного обслуговування польотів / Шмельова, А.В. Стратій // АВІА-2015 : XII міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 27-28 травня 2015 р. : тези доповідей. – Т. 2. – К. : Національний авіаційний університет, 2015. – Р.8.91 – 8.97

245. Шмельова Т.Ф. Нечітка оцінка рівня складності польотної ситуації в процесі тренажерної підготовки спеціалістів з обслуговування повітряного руху / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, А.В. Землянський, О.М. Даниленко // Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві: міжнар. наук.-техн. конф., 21-22 жовтня 2015 р. : тези доповідей – Кіровоград : Кіровоградський Національний технічний університет, 2015. – Р.118 – 120.

246. Шмельова Т. Ф. Вплив факторів середовища менеджменту авіапідприємства на безпеку авіаційної діяльності

/ Т. Ф. Шмельова., Ю. В. Сікірда, О. Ю.Ассаул // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 3(22). – Т. 2 – С.17–24.

247. Шмельова Т.Ф. Детерміновані моделі дій екіпажу повітряного судна у разі виникнення особливого випадку у польоті / Т.Ф.Шмельова, В.В. Шишаков, О.В. Шостак // Наука і техніка Повітряних сил Збройних сил України. – 2015. – Вип. 2(19). – С. 33–37.

248. Шмельова Т.Ф. Стохастичний аналіз розвитку польотних ситуацій на етапах заходу на посадку та посадки повітряного судна / Т.Ф. Шмельова, В.В.Шишаков, І.Л.Якуніна // Наука і техніка Повітряних сил Збройних сил України. – 2014. – Вип. 1(14). – С. 59–68.

249. Шмелева Т.Ф. Апостериорний аналіз авіаціонного происшествия методами сетевого планирования / Т.Ф.Шмелева, Т.Р Джафарзаде, І.Л.Якуніна // Вестник азербайджанской инженерной академии. – Т. 6. – №3. – Баку, 2014. – С.97-106

250. Шмельова Т.Ф. Метод діагностики поточного емоційного стану пілота в польоті / Т.Ф. Шмельова, О.В. Шостак, В.В. Шишаков, М.В. Васильєв // Вісник Інженерної академії України. – 2014. – №3-4. – С.147-153.

251. Шмельова Т.Ф. Системний аналіз факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства / Т. Ф. Шмельова, Ю. В. Сікірда, О. Ю. Ассаул // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. – № 3. – С. 49-56.

252. Шмельова Т.Ф. Соціотехнічний аналіз аеронавігаційної системи / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, К.С. Сундучков // Наука і техніка Повітряних сил Збройних сил України. – 2013. – Вип. 4(13). – С. 34–40.

253. Шмельова Т.Ф. Моделі розвитку польотної ситуації при прийнятті рішення людиною-оператором аеронавігаційної системи / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, Т.Р. Джафарзаде // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. Міністерства оборони України. – 2013. – Вип. 8 (115). – С. 136 - 142.

254. Шмельова Т.Ф. Аналіз моделей прийняття рішень в аеронавігаційній системі за допомогою семантичних мереж / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, І.Л.Якуніна // Системи обробки

інформації : зб. наук. пр. Міністерства оборони України. – 2013. – Вип. 9 (116). – С. 92–98.

255. Шмельова Т.Ф. Базові моделі людини-оператора аеронавігаційної системи / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, В.О. Григорецький // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2013. – Вип. 4 (37). – С. 46 – 54.

256. Шмельова Т.Ф. Соціотехнічний аналіз аеронавігаційної системи / Т.Ф. Шмельова, М.В.Васильєв // Современные направления развития информационно-коммуникационных технологий и средств управления : III междунар. науч.-технич. конф., Полтава-Белгород-Харьков-Киев-Кировоград, 11-12 апреля 2013 г. : тезисы докладов. – Х. : Харьковский научно-исследовательский институт технологии машиностроения, 2013. – С. 22.

257. Шмельова Т.Ф. Соціонічна та соціометрична діагностика оператора аеронавігаційної системи / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // АВІА-2013 : XI міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 21-23 травня 2013 р. : тези доповідей. – Т. 2. – К. : Національний авіаційний університет, 2013. – С. 8.9 – 8.13.

258. Шмельова Т.Ф. Методика діагностики поточного емоційного стану пілота в позаштатних ситуаціях / Т.Ф. Шмельова, В.О. Волкогон // АВІА-2013 : XI міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 21-23 травня 2013 р. : тези доповідей. – Т. 2. – К. : Національний авіаційний університет, 2013. – С. 8.53 – 8.57

259. Шмелева Т.Ф. Применение нейронных сетей в задаче выбора запасного аэродрома / Т.Ф. Шмелева, Ю.М. Діхтіренко, В.Ю. Мойсеєнко. // Матеріали III міжнар. наук.-практ. конф., Черкаси, 14-18 трав. 2013 р. – Черкаси : ЧДТУ, 2013. – С. 446-447.

260. Шмельова Т. Ф. Моніторинг емоційного стану оператора аеронавігаційної системи в позаштатних ситуаціях / Т.Ф.Шмельова, Д.Ю Коваленко, О.А.Науменко // Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми навігації і управління рухом». – Київ : НАУ, 2013. – С. 15.

261. Шмельова Т.Ф. Концепція системи підтримки прийняття рішень авіаційним спеціалістом / Т.Ф. Шмельова, І.Л. Якуніна // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. “Управління високошвидкісними рухомими об’єктами професійна підготовка

операторів складних систем”. – Кіровоград, 27-28 листопада 2013 р. – Кіровоград : КЛІА НАУ, 2013. – С. 63-65.

262. Шмельова Т.Ф. Науково-методологічні основи моделювання підтримки прийняття рішень в аеронавігаційній системі: автореф. дис. ... доктора техн. наук : 05.22.13 / Т.Ф.Шмельова. – К., 2013. – 41 с.

263. Юнг К.Г. Психологические типы / К.Г. Юнг ; пер. с англ. – М. : Университетская книга, АСТ, 1996. – 714 с.

264. Normal operations safety survey (NOSS) / Doc. ICAO 9910-AN 473. – 1st ed. – Canada, Montreal : ICAO, 2008. – 80 p.

265. State of Global Aviation Safety. – Canada, Montreal : ICAO, 2013. – 54 p.

266. Safety Management Manual (SMM) / Doc. ICAO 9859-AN 474. – 3ed ed. – Canada, Montreal : ICAO, 2013. – 251 p.

267. Cross-Cultural Factors in Aviation Safety : Human Factors Digest No. 16 / Circ. ICAO 302-AN/175. – Canada, Montreal : ICAO, 2004. – 39 p.

268. Manual on Global Performance of the Air Navigation System / Doc. 9883. – 1st ed. – Canada, Montreal : International Civil Aviation Organization, 2009. – 176 p.

269. ICAO Safety Report. – Canada, Montreal : ICAO, 2014. – 35 p.

270. Human Factors Guidelines for Safety Audits Manual / Doc. 9806-AN/763. – 1-st Edition. – Canada, Montreal : International Civil Aviation Organization, 2002. – 138 p.

271. ATM Services' Personnel : ESARR 5. – 2-nd ed. – European Organisation For The Safety Of Air Navigation, 2002. – 24 p.

272. ATM Training Progression and Concepts. – European Organisation For The Safety Of Air Navigation, 2004. – 56 p.

273. Aviation Safety Network [Electronic resource] / Flight Safety Foundation. – Mode of access : <http://news.aviation-safety.net/2015/01/01/despite-high-profile-accidents-2014-was-the-safest-year-ever-according-to-asn-data/>. – Last access : 2015. – Title from the screen..

274. 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.

275. Boyd J.R. Organic Design for Command and Control / J.R. Boyd. – USA, Atlanta : Georgia, 2005. – 40 p.

276. Campbell R.D. Human Performance and Limitations in Aviation / R.D. Campbell, M. Bagshaw. – 3-rd ed. – UK : Blackwell Science Ltd, 2002. – 48 p.

277. Cross S.E. Model-Based Reasoning in Expert Systems: an Application to Enroute Air Traffic Control / S.E. Cross // Papers American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1984. – P. 95–101.

278. Dolhov D. Mathematical models of operators activities in aeronavigation sociotechnical system / D. Dolhov, P.Muliar, T. Shmelova // Техника и технология. Наука вчера, сегодня, завтра: международная конференция. Варшава, 30-31 мая 2015 г. : сборник научных докладов. – P. 45-48.

279. Endsley M.R. Designing for Situation Awareness: an Approach to User-Centered Design / M.R. Endsley, B. Bolte, D.G. Jones. – UK, London: Taylor & Francis, 2003. – 112 p.

280. Flueller T. Decision Making for Complex Socio-Technical Systems: Robustness from Lessons Learned in Long-Term Radioactive Waste Governance (Environment & Policy) / T. Flueller. – USA: Springer, 2006. – 386 p.

281. Fundamental Human Factors Concepts / CAP 719. – UK: CAA, 2002. – Retrieved from CAA on 12 September 2009. – 38 p.

282. Global Aviation Safety Study : A review of 60 years of improvement in aviation safety [Text]. – USA : Allianz Global Corporate & Specialty ; EMBRY-RIDDLE Aeronautical University, 2014. – 63 p.

283. Hertz J. Introduction to the Theory of Neural Computation / J. Hertz, A. Krogh, R.G. Palmer. – USA : Addison-Wesley Publishing Company, 1991. – 327 p.

284. Haykin S. Neural Networks: a Comprehensive Foundation / S. Haykin. – USA, New York : MacMillan College Publishing Co., 1994. – 345 p.

285. Kharchenko V.P. Calculation the scenarios of the flight situation development using GERT's and Markov's networks / V.P. Kharchenko, T.F. Shmelova, Y.V. Sikirda // Матеріали V Всесвіт.



конгресу «Авіація у XXI столітті. Безпека в авіації та космічні технології». – Київ, 25-27 вересня 2012 р. – К. : НАУ, 2012. – С. 12–16.

286. 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.

287. Kharchenko V.P. Modeling of Behavioral Activity of Air Navigation System's Human-Operator in Flight Emergencies / V.P. Kharchenko, T.F. Shmelova, Y.V. Sikirda // Proceedings of the National Aviation University. – 2012. – №2. – P. 5–17.

288. Kharchenko V.P. Estimation and Rrepresentation of Air Traffic Flows Iniceces in Terminal Control Areas / V.P. Kharchenko, Yu.V. Chinchenko, Wang Bo // Proceedings of the National Aviation University. – 2015. – №3. – P. 15–21.

289. 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.

290. Kovalyov Yu.N. Modeling of personality and activities of Air Navigation System Operator / Yu.N. Kovalyov, T.F. Shmelova // Матеріали V Всесвіт. конгресу «Авіація у XXI столітті. Безпека в авіації та космічні технології». – Київ, 25-27 вересня 2012 р. – К. : НАУ, 2012. – №3. – P. 36–41.

291. Magee J.F. Decision Trees for Decision Making / J.F. Magee // Harvard Business Review. – 1964. – July-Augest. – P. 126–138.

292. Minsky M.L. Perseptrons / M.L. Minsky, S.A. Papert. – USA, Massachusetts, Cambridge : MIT press, 1969. – 321 p.

293. Mescon, M. Management / M. Mescon, M. Albert, F. Khedouri. – First Edition. – USA, New York : HarperCollins Publishers, 1984. – 777 p.

294. Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge /FAA-H-8083-25 // Chapter 17: Aeronautical Decision Making. – USA : FAA, Department of Transportation, 2008. – P. 17.1–17.32.

295. Saaty T. Analytic Hierarchy Process : Planning, Priority Setting, Resource Allocation / T. Saaty. – USA, New York : McGraw-Hill, 1980. – 278 p.

296. Sikirda Yu.V. Method of Inhomogeneous Factors Generalization of Internal and External Management Environment of Aviation Enterprise / Yu.V. Sikirda, T.F Shmelova, A. Assaul, O. Stasiuk // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. “Управління високошвидкісними рухомими об’єктами професійна підготовка операторів складних систем”. – Кіровоград, 27-28 листопада 2014 р. – Кіровоград : КЛІА НАУ, 2014. – С. 67-70.

297. Sikirda Yu.V. Behaviour and Activity of Air Navigation system’s Human-Operator / Yu.V. Sikirda, Yu.N. Kovalyov, T.F Shmelova // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. “Управління високошвидкісними рухомими об’єктами професійна підготовка операторів складних систем”. – Кіровоград, 27-28 листопада 2013 р. – Кіровоград : КЛІА НАУ, 2013. – С. 67-70.

298. 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.

299. Shmelova T. Graph Theory Applying for Quantitative Estimation of UAV’s Group Flight / T. Shmelova, D. Bondarev // Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APPUAVD). 2015 IEEE 3d International Conference. – Kyev, 13-15 October 2015 : Proceeding. – P.328-331.

300. Shmelova T. F. Determination of Quantitative Values of Level of Complex Situation during Air Traffic Control Using Fuzzy Logic / Yu. V. Sikirda, A. V. Zemlyansky, E. N. Danilenko ; scientific supervisor T. F. Shmelova // Проблеми навігації і управління рухом : Всеукр. наук.-практ. конф., Київ, 23-25 листопада 2015 р. : тези доповідей. – К. : Національний авіаційний університет, 2015. – С. 37.

301. Shmelova T.F. Estimation of pre-simulating training tasks complexity / T.F. Shmelova, A.P. Bilko, V.A. Lazorenko // Proceedings of the National Aviation University. – 2015. – №1. – P. 17-22.

302. Shmelova T. Structural analysis of management environment of aviation enterprise from the point of systematic

approach / T.F. Shmelova, Y.V. Sikirda, A.Assaul, O.Stasiuk // Proceedings of the National Aviation University. – 2015. – №2. – P. 3-12.

303. Shmelova T.F., Neural network for automated estimation of pre-simulating training. / A.P. Bilko, V.A. Lazorenko, O.V. Poluhovich, T.F. Shmelova, // 6th World Congress „Aviation in the XXIst century. Safety in Aviation And Space Technologies”, NAU, Sept.24, 2014– C. 3.1.6–3.1.10.

304. Shmelova T.F. Determining the influence of factors of internal and external environment of management on the safety of aviation enterprise / A.Yu. Assaul, Yu.V. Sikirda, O.S. Stasyuk, T.F. Shmelova, // 6th World Congress „Aviation in the XXIst century. Safety in Aviation And Space Technologies”, NAU, Sept.24, 2014– C. 3.1.11–3.1.15.

305. Shmelova T. F. Informational Support of Air Navigation System's Human-Operator / Yu. B. Belyaev, T. F. Shmelova, Yu. V. Sikirda // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2014. – Том 20. – № 4. – P. 7–18.

306. Shmelova T., Expert estimation of factors of internal and external management environment of aviation enterprise / T. Shmelova, Yu. Sikirda, A. Assaul, O. Stasiuk // Матеріали науково-методичної конференції «Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/АТМ». – Київ : НАУ, 2014. – С. 79.

307. Shmelova T. Determination of conditional workload of air traffic controller taking into account complication of technological procedures / T. Shmelova., O. Stasiuk, O. Poluchovich // Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми навігації і управління рухом». – К. : НАУ, 2013. – С. 66.

308. Westphal P. Flight Safety Improvement via Fuzzy Logic Based Flight Control Systems / P. Westphal, O. Wagner // AIAA : 7 International Conference on Integrated Navigation Systems. – Saint Petersburg, 29-31 May, 2000. – P. 11–20.

309. Wildlife Strikes to Civil Aircraft in the United States 1990-2007 : Wildlife Strike Database Serial. – Report number 14. – USA, Washington FAA: DC, 2008. – P. 57.

310. Aviation Accident Statistics [Electronic resource] / National Transportation Safety Board. – Mode of access: [www.nts.gov/aviation/aviation.htm](http://www.nts.gov/aviation/aviation.htm). – Last access: 2015. – Title from the screen.

311. ASN Aviation Safety Database [Electronic resource] / Flight Safety Foundation. – Mode of access: <http://aviation-safety.net>. – Last access: 2015. – Title from the screen.

312. EASA [Electronic resource] / European Aviation Safety Agency. – Mode of access: [easa.europa.eu](http://easa.europa.eu). – Last access: 2015. – Title from the screen.

313. Марченко Р. «Bird strike» и компенсация убытков – практические аспекты [Электронный ресурс] / Р. Марченко // Крылья: все об украинской авиации. – Режим доступа: <http://www.wing.com.ua/content/view/4059/52/>. – Последний доступ: 2015. – Название с экрана.

314. МАК [Электронный ресурс] / Межгосударственный авиационный комитет. – Режим доступа: [www.mak.ru](http://www.mak.ru). – Последний доступ: 2015. – Название с экрана.

315. Акт по результатам расследования катастрофы самолета Ту-134Б 65703 Государственного концерна «Азербайджан Хава Йоллары», происшедшей 05.12.1995 г. в аэропорту Нахичевань Азербайджанской Республики [Электронный ресурс] / Последний полет. – Режим доступа: <http://www.lastflight.info/content/view/35/40>. – Последний доступ: 2015. – Название с экрана.

316. А.с. Комп'ютерна програма оптимізації вибору альтернативного варіанта завершення польоту повітряного корабля в позаштатних ситуаціях «Підказка»: свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №37872 від 11.04.2011 р. / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, О.В. Герасименко.

317. А.с. Комп'ютерна програма «Вибір передпольотної інформації і прийняття рішення на виліт для автоматизованої системи підготовки передпольотної інформації (АСПП)»: свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №40062 від 09.09.2011 р. / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, О.В. Артеменко, В.Ю. Отряжий.

318. А.с. Комп'ютерна програма «Діагностика соціонічної моделі людини-оператора»: свідоцтво про реєстрацію

авторського права на твір №42340 від 20.02.2012 р. / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, А.В. Землянський.

319. А.с. Комп'ютерна програма «Діагностика емоційного стану людини-оператора» : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №43526 від 28.04.2012 р. / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, С.О. Астаф'єв.

320. А.с. Комп'ютерна програма «TestExtraordinaryIncident» : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №50826 від 21.08.2013 р. / Т.Ф. Шмельова, І.Л. Якуніна, Р.П. Якунін.

321. А.с. Комп'ютерна програма «Мережевий аналіз особливого випадку в польоті» : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №55587 від 11.07.2014 р. / Т.Ф. Шмельова, І.Л. Якуніна, В.Ю. Мойсеєнко, М.В. Гринчук.

322. А.с. Комп'ютерна програма «Прийняття рішень в умовах невизначеності» : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №56819 від 12.08.2014 р. / Т.Ф. Шмельова, Є.А. Знаковська, Г.М. Івлева.

323. А.с. Комп'ютерна програма «Агрегація різномірних інформаційних потоків» : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №59466 від 29.04.2015 / Т.Ф. Шмельова, Стратій А.В.

324. А.с. Комп'ютерна програма «Класичні критерії прийняття рішень: Вальда, Лапласа, Гурвиця, Севіджа» : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №60624 від 14.07.2015 / Т.Ф. Шмельова, О.С. Шулімов, М.О. Чорна, О.В. Ковтунець.

325. А.с. Комп'ютерна програма «Decision Tree» : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №62163 від 21.07.2015 / Т.Ф. Шмельова, Є.А. Знаковська.

# ДОДАТКИ

**Експертний метод оцінювання впливу факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства на авіаційну діяльність**

За допомогою експертного оцінювання отримані показники ступеню впливу факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства на безпеку авіаційної діяльності [251, 302, 304, 306].

Респонденти з числа авіафахівців (27 чоловік) різних вікових категорій, з різним професійним досвідом заповнили запропоновані анкети та визначили індивідуальні переваги щодо впливу факторів внутрішнього та зовнішнього середовища менеджменту авіапідприємства на безпеку авіаційної діяльності. Оброблення отриманих даних проводилось за наступною методикою:

1. Складено матрицю групових переваг та визначено думку групи експертів за кожним фактором:

$$R_{gri} = \frac{\sum_{j=1}^m R_{ij}}{m},$$

де  $R_{ij}$  – ранг  $j$ -го експерта за  $i$ -м фактором ( $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ );  $m$  – кількість експертів.

2. Для визначення узгодженості думки групи експертів:

– обчислено дисперсію для кожного фактору  $D_i$ :

$$D_i = \frac{\sum_{j=1}^m (R_{gri} - R_{ij})^2}{m-1};$$

– обчислено середньоквадратичне відхилення  $\sigma_i$  (4):

$$\sigma_i = \sqrt{D_i};$$

– обчислено коефіцієнт варіації  $v_i$ :

$$v_i = \frac{\sigma_i}{R_{gri}} \cdot 100\%.$$

Значення варіації  $v_i \leq 33\%$  підтвердило узгодженість думки експертів за всіма факторами.

3. Порівняно середню думку групи експертів  $R_{gri}$  та кожного експерта в групі  $R_i$  за допомогою коефіцієнта рангової кореляції Спірмена  $r_s$ :

*Продовження додатка А*

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n(n^2 - 1)},$$

де  $x_i$  – ранги групи експертів;  $y_i$  – ранги  $i$ -го експерта.

Перевірено статистичну значущість коефіцієнту Спірмена за допомогою  $t$ -статистики за довірчої ймовірності  $P = 0,95$ , рівнем значущості  $\alpha = 5\%$  і числом ступенів свободи  $\nu = n - 2$  за таблицями Ст'юдента.

Значення критичної точки обчислено за формулою:

$$T_{cr} = t_{cr} \sqrt{\frac{1 - r_s^2}{n - 2}}.$$

Визначено, що  $r_s > T_{cr}$ , тому ранговий зв'язок є значущим, що підтверджує узгодженість думок експертів.

4. Визначено узгодженість думок експертів за допомогою коефіцієнту конкордації Кендала  $W$ :

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n) - m T_j},$$

де  $S = \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{j=1}^m x_{ij} - a_{ij} \right\}^2$  – сума квадратів різниць (відхилень);  $x_{ij}$  –

сума рангів в  $i$ -му стовбці;  $a_{ij} = \frac{1}{2} m(n + 1)$  – середнє значення для

сумарних рангів  $j$ -го ряду;  $T_j = \frac{1}{12} \sum_{T_j} (t_j^3 - t_j)$  – кількість повторень

кожного рангу  $j$ -м експертом;  $t_j$  – число однакових рангів в  $j$ -му ряду.

Так як розрахований коефіцієнт конкордації  $W_c$  більше за табличний  $W_t$ , то підтверджується гіпотеза про узгодженість думок експертів.

5. Визначено вагові коефіцієнти впливу факторів  $w_i$  за допомогою методу ранжування:

$$w_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_i},$$



де  $C_i = 1 - \frac{R'_{gri} - 1}{n}$  – проміжна оцінка;  $R'_{gri}$  – ранг групи за і-м

джерелом.

Розрахунки виконано за допомогою табличного процесора MS Excel. Вагові коефіцієнти впливу параметрів фактору внутрішнього середовища «Технології» представлено на рис. А.1 (табл. А.1) Отримані результати можна представити у вигляді системи переваг:

$$Te_1 \succ (Te_2, Te_5) \succ (Te_3, Te_6, Te_7, Te_8, Te_{10}) \succ (Te_4, Te_9)$$

Визначено, що найбільший вплив з параметрів одного з факторів внутрішнього середовища менеджменту авіапідприємства «Технології» на безпеку авіаційної діяльності мають льотно-технічні характеристики (ЛТХ) ПК, найменший – рівень фізичного зношування (РФЗ) спецтехніки, будівель та споруджень, а також технологічні операції (ТО) з аеропортового обслуговування. Виконано порівняння складових згортки критеріїв: експертного оцінювання (максимальні / мінімальні межі критеріїв) і оцінювання експертизою з урахуванням пріоритетів критеріїв (вагові коефіцієнти впливу параметрів фактору «Технології») (табл. А.1, рис. А.1).

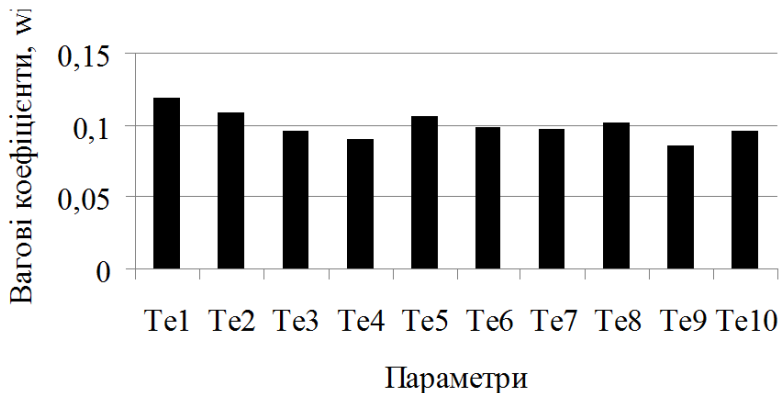


Рис. А.1. Оцінки значущості параметрів фактору внутрішнього середовища менеджменту авіапідприємства «Технології»

**Результати оцінювання ступеня впливу параметрів фактору  
внутрішнього середовища менеджменту авіапідприємства  
«Технології»**

Параметр	ЛТХ ПК	РФЗ ПК	РФЗ спеціалістики	РФЗ будівель та споруджень	ТО з розробки авіапослуг	ТО з реалізації авіапослуг	ТО з наземного обслуговування	ТО з технічного обслуговування	ТО з аеропортового обслуговування	ТО з аеронавігаційного обслуговування
Код	Te <sub>1</sub>	Te <sub>2</sub>	Te <sub>3</sub>	Te <sub>4</sub>	Te <sub>5</sub>	Te <sub>6</sub>	Te <sub>7</sub>	Te <sub>8</sub>	Te <sub>9</sub>	Te <sub>10</sub>
Ваговий коефіцієнт, w <sub>i</sub>	0,12	0,11	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10
Максимальна межа	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Мінімальна межа	70	70	60	60	70	50	50	50	50	50
Максимальна межа'	1,74	1,66	1,51	1,51	1,58	1,58	1,58	1,58	1,51	1,58
Мінімальна межа'	1,66	1,60	1,45	1,45	1,53	1,48	1,48	1,48	1,42	1,48
Експертиза	70	50	80	20	50	30	20	40	10	10
Експертиза'	1,66	1,54	1,48	1,31	1,48	1,41	1,35	1,45	1,23	1,26
Різниця, Δ	0,08	0,12	0,03	0,20	0,10	0,17	0,23	0,13	0,28	0,32

Згортку багатоцільового показника значущості параметрів факторів середовища менеджменту авіапідприємства в скалярний показник виконано мультиплікативним способом:

$$W = \prod_{i=1}^n f_i^{w_i} = g(f_i(w_i)),$$

де  $f_i$  – сукупність параметрів факторів середовища менеджменту авіапідприємства;

$w_i$  – вагові коефіцієнти параметрів факторів середовища менеджменту авіапідприємства.

### Закінчення додатка А

За даними табл. А.1 отримано значення мультиплікативної функції параметрів оцінювання фактору внутрішнього середовища менеджменту авіапідприємства «Технології» при проведенні експертизи авіапідприємства:

$$W_{Te} = 70^{1,66} \cdot 50^{1,53} \cdot 80^{1,52} \cdot 20^{1,3} \cdot 50^{1,51} \cdot 30^{1,40} \cdot 20^{1,34} \cdot 40^{1,46} \cdot 10^{1,22} \cdot 10^{1,25} = 3177,671.$$

Графічна інтерпретація результатів проведення експертизи наводиться на рис. Б.2.

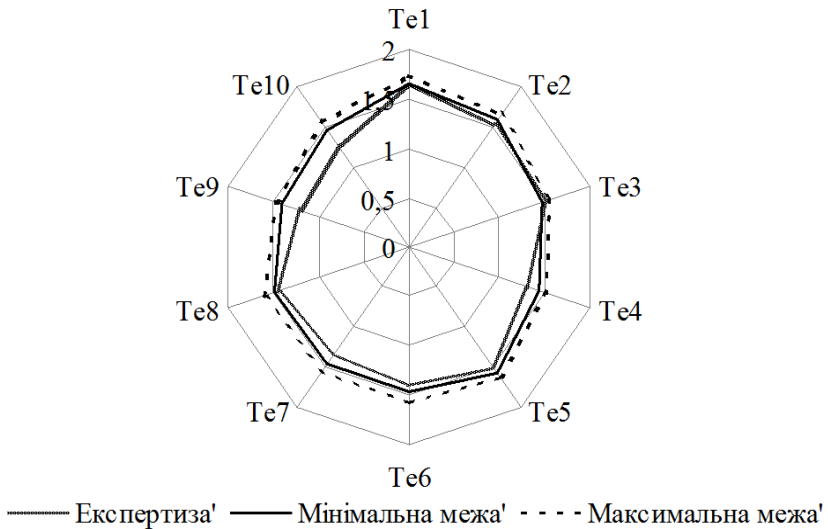


Рис. А.2. Графічна інтерпретація результатів проведення експертизи авіапідприємства за параметрами фактору внутрішнього середовища менеджменту авіапідприємства «Технології»

Приклад результатів проведення експертизи, представлений на рис. А.2, показує невідповідність більшості параметрів фактору внутрішнього середовища менеджменту авіапідприємства «Технології» встановленому мінімальному рівню, що негативно впливає на безпеку його діяльності.

***Приклад прийняття рішень екіпажем повітряного корабля у разі відмови електрогенераторів методом мережевого планування***

Опишемо процедури, які повинен виконати екіпаж ПК при виникненні ОВП у разі відмови генераторів [4]. Як правило, сучасні ПК пілотуються двома пілотами (командиром і другим пілотом). При виникненні ОВП, коли навантаження на пілотів збільшується, один виконує дії по пілотуванню ПК – Pilot Flying (PF), другий виконує комунікаційні функції – Pilot Monitoring (PM).

Такий підхід полягає в зменшенні наслідків будь-яких помилок через «crossmonitoring» (перехресний моніторинг) між членами екіпажу ПК [267].

Представимо дії PF і PM Boeing-737 у вигляді табл. Б.1.

Умовні позначення: ВСУ – вбудована силова установка; БАНВ – бортові аеронавігаційні вогні.

Цілоком заряджена батарея забезпечує мінімум 30 хвилин резервного живлення – максимальний час на аварійну посадку ПК.

За допомогою методів мережевого планування побудовано детерміновані моделі ПР Л-О, отримано критичний час виконання робіт Л-О (пілотом) у разі виникнення проблем з електропостачанням (табл. Б.1, рис. Б.1) [299].

За допомогою методу експертних оцінок визначено час на виконання окремих процедур, побудовані мережеві моделі, отримані результати, зокрема:

- критичний шлях – критичний час виконання операційних процедур (дій) Л-О в разі виникнення ОВП,  $L_{кр}$ ;
- критичний час – мінімальний час, за який виконується весь алгоритм операційних процедур (дій) Л-О в разі виникнення ОВП,  $T_{кр} = 113$  с;
- підкритичні шляхи – шляхи, в яких повний резерв часу відрізняється від загального часу не більш ніж на задану величину,  $L_{кр}$ .

За допомогою мережевого планування синхронізовані дії Pilot Flying і Pilot Monitoring, в результаті якого визначений час на керування ПС PF у разі дій PM на етапах парирования ОВП, а саме:

- 1 етап – перевірка аварійних таблиць, що висвітилися щодо відмови генераторів;
- 2 етап – перевірка електроживлення;
- 3 етап – перевірка навігаційного обладнання;
- 4 етап – аварійна посадка.

**Продовження додатка Б**

*Таблиця Б.1*

**Процедури (дії) екіпажу ПК у разі виникнення ОВП – відмова обох генераторів [247] (фрагмент таблиці)**

Етап	Код дії	Дії Pilot Flying	Спиряється на дію	Час, с	Код дії	Дії Pilot Monitoring	Спиряється на дію	Час, с
1	A <sub>1</sub>	Виявляє відмову обох генераторів	-	5	B <sub>1</sub>	Виявляє відмову обох генераторів	-	5
	A <sub>2</sub>	Зачитує назви аварійних табло, що висвітилися: TRANSFER BUS OFF, BUS OFF та GEN OFF BUS	A <sub>1</sub>	5	B <sub>2</sub>	Продовжує контроль роботи бортових систем, заслуховує PF	B <sub>1</sub>	5
	A <sub>3</sub>	Видає команду “Зачитати відповідний checklist”	A <sub>2</sub>	2	B <sub>3</sub>	Відшукує та починає зачитувати відповідний checklist	B <sub>2</sub> (A <sub>3п</sub> )	25
	A <sub>4</sub>	Керує ПК (пілотування)	A <sub>3</sub>	35	B <sub>4</sub>	Зачитує процедуру: вимикач BUS TRANSFER встановити в положення OFF (вимкнено) та береться рукою за вимикач	B <sub>3</sub>	10
	A <sub>5</sub>	Перевіряє дії РМ і командує “Check”	A <sub>4</sub> (B <sub>5п</sub> )	2	B <sub>5</sub>	Тримає вимикач	B <sub>4</sub>	2
	A <sub>6</sub>	Керування ПК (пілотування)	A <sub>5</sub>		B <sub>6</sub>	встановлює вимикач BUS TRANSFER в положення OFF	B <sub>5</sub> (A <sub>5</sub> )	1

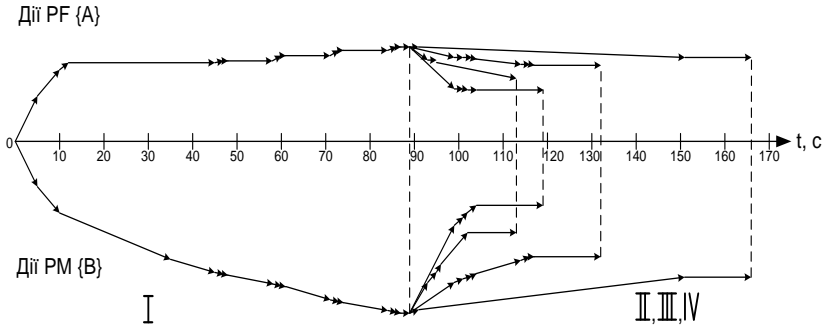


Рис. Б.1. Фрагмент мережевого графіку виконання процедур PF і PM у разі виникнення ОВП – проблем з електропостачанням

При виникненні проблем в системі електропостачання (відмові генераторів) в польоті призводить до великої витрати енергії бортових акумуляторних батарей, що в свою чергу може визвати: відмову навігаційного обладнання, відмову радіоз'вязку, обмеження підтвержень дозволів та вказівок від органів ОНР, можливу розгерметизацію ПК та можливу відмову двигуна. Обмеження у роботі приладів та систем спричиняють високе робоче та психологічне навантаження на екіпаж ПК. В даних умовах ситуація вимагає діяти наступним чином: посадка повинна відбутися протягом 20...30 хв., так як акумуляторні батареї не будуть більше заряджатися та приблизно через 30 хв. усе радіоелектронне обладнання (РЕО) перестане працювати; необхідно економити електроенергію, але відмова генератора не впливає на роботу двигуна; важлива інформація (кількість пасажирів, залишок палива та інше.) повинна бути отримана фахівцями ОНР своєчасно; диспетчер забезпечує радіолокаційне наведення, враховуючи відмову курсової системи для виведення ПК на аеродром (а/д) посадки та/або перехід на візуальні метеумови; можлива посадкова конфігурація ПК з відхиленням від норми; необхідно здійснювати моніторинг курсів та висот, оскільки вони можуть відрізнятись від показників приладів ПС, які використовуються екіпажем; у випадку вимушеної посадки поза а/д використовується доповідь від інших ПК, які спостерігають аварійне ПС, для отримання додаткової інформації. Таким чином, формалізація дій Л-О (пілотів PF і PM) в ОВП за допомогою апарату мережевого планування і управління дозволяє визначитися з оптимальною послідовністю та часом виконання процедур на парюванні ОВП..

## Додаток В

### **Приклад прийняття рішень екіпажем повітряного корабля в позаштатних польотних ситуаціях за допомогою дерева рішень**

За допомогою дерева рішень проведено аналіз розвитку позаштатної польотної ситуації, яка сталася 3 липня 2001 р. під час виконання третього розвороту для посадки в аеропорту Іркутська з літаком Ту-154М RA-85845 ВАТ «Владивосток-Авіа» і завершилася катастрофою [145]. 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  $H$  ПК. Значення ймовірностей сприятливого або несприятливого результату польоту в залежності від порушення певного параметра, обчислені експериментальним шляхом, наводяться в табл. В.1.

Таблиця В.1

#### **Значення ймовірностей сприятливого та несприятливого результатів польоту**

Параметри польоту, що порушені	Значення ймовірностей сприятливого результату польоту, $P_б$	Значення ймовірностей несприятливого результату польоту, $P_н$
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

Структурну схему розвитку позаштатної польотної ситуації подано на рис. В.1.

Жирними лініями позначено дії екіпажу, що призвели до катастрофи ПК. Виконаний аналіз дозволив зробити такі висновки.

1. Виникнення і розвиток аварійної ситуації під час заходу на посадку стало наслідком порушення взаємодії в екіпажі, що призвело до неодноразового втручання в керування літаком командира ПК і до відсутності належного контролю за витримуванням основних параметрів польоту (швидкості, кута крену, висоти, кута атаки).

### Продовження додатка В

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

3. Дії пілотів ПК 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.

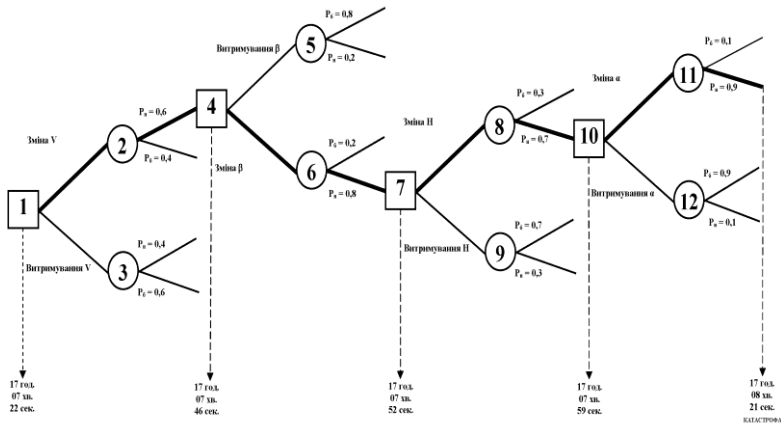


Рис. В.1. Структурна схема розвитку позаштатної польотної ситуації:  
 – вершини-рішення;  – випадкові вершини

Таким чином, дерево рішень дає можливість провести структурний аналіз проблеми, знайти оптимальну альтернативу дій і попередити розвиток ситуації за неправильною схемою.

Приклад розрахунку дерева рішень в задачі вибору оптимального варіанта завершення польоту наводиться на рис. В.2 [142]: вимушена посадка на найближчому технічно придатному АД з придатними МУ (АД – аеродром; МП – місце посадки; ТП – технічна придатність; ТНП – технічно непридатний; НП – непридатний).



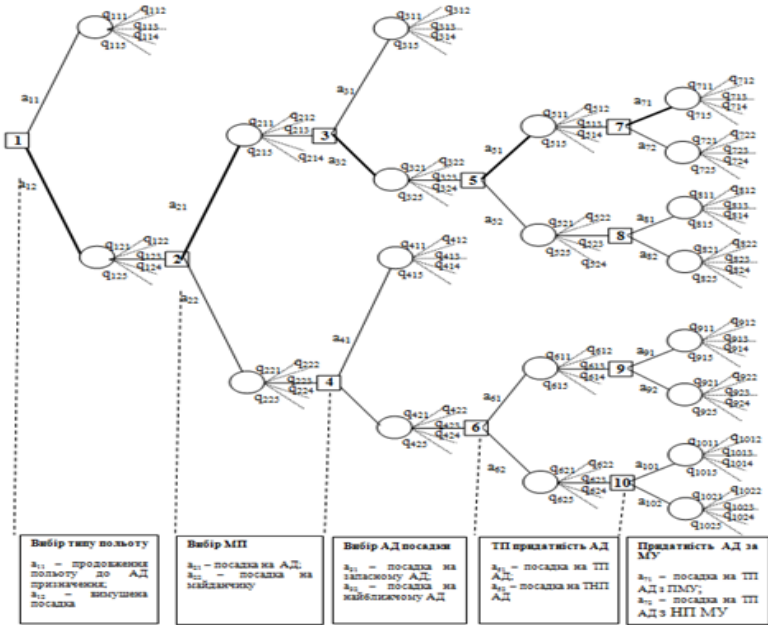


Рис. В.2. Структурне зображення процесу ПР в задачі вибору оптимального варіанта завершення польоту

**Приклад проектування будівництва аеропортового комплексу**

Авіаційне підприємство повинне прийняти рішення щодо будівництва аеропорту: великого або невеликого. Невеликий аеропорт можна згодом розширити. Таке рішення визначається майбутнім обсягом перевезень. Будівництво великого аеропорту виправдовується великим обсягом перевезень. З іншого боку, можна збудувати невеликий аеропорт та через 2 роки прийняти рішення щодо його розширення. Задача розглядається на 10-річний період. Аналіз обсягів перевезень пасажирів і вантажів показав, що ймовірність високого обсягу перевезень складає 0,75, низького – 0,25. Прибуток та витрати для кожної з можливих альтернатив наводяться в табл. В2.

Необхідно вивчити альтернативні варіанти будівництва за допомогою дерева рішень та ПР щодо типу аеропорту.

*Алгоритм розв'язання задачі*

1. Побудуємо дерево рішень (рис. В.3). Починаючи з вершини 1 (вишальна вершина) необхідно прийняти рішення відносно розміру аеропорту. Вершини 2 і 3 є випадковими, тому що з них виходять по дві гілки, які відповідають низькому та високому рівню попиту в залежності від ситуації, що склалася на ринку авіаційних перевезень. Кожна з цих ситуацій відзначена відповідним значенням ймовірності її реалізації. Авіаційне підприємство розгляне можливість розширення невеликого аеропорту тільки в тому випадку, якщо попит наприкінці перших двох років експлуатації аеропорту встановиться на високому рівні. Таким чином, в вершині 4 приймається рішення щодо доцільності розширення невеликого аеропорту. Вершини 5 і 6 також є випадковими з двома гілками, які відповідають певним рівням попиту.

*Таблиця В.2*

**Прибуток та витрати  
для альтернативних варіантів будівництва аеропорту**

Тип аеропорту	Щорічний прибуток, млн. у.о.		Витрати на будівництво аеропорту, млн. у.о.
	Низький обсяг перевезень (p=0,25)	Високий обсяг перевезень (p=0,75)	
Великий аеропорт	0,3	1,0	5,0
Невеликий аеропорт	0,2	0,25	2,0
Розширення аеропорту	0,2	0,9	4,2

2. Задача розв'язується в два етапи. На першому етапі приймається рішення щодо будівництва великого або невеликого аеропорту з урахуванням ймовірних обсягів перевезень. Через два роки за умови збільшення обсягу перевезень приймається рішення щодо розширення невеликого аеропорту. Для знаходження оптимального рішення застосовується критерій очікуваного значення.

*Математична модель задачі:*

Оптимальним рішенням буде те, що відповідає умові:

$$A_{opt} = \max \{M_{ij}\},$$

де  $M_{ij}$  - очікуваний прибуток для рішення  $A_{ij}$ , який визначається за формулою:

$$M_{ij} = \sum_{j=1}^m p_{ij} \cdot l_{ij}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m},$$

### Закінчення додатка В

де  $p_{ij}$  - імовірність впливу  $j$ -го чиннику при виборі  $i$ -тої альтернативи,  $\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1$ ;  $l_{ij}$  - прибуток, пов'язаний з вибором  $i$ -тої альтернативи при впливі  $j$ -го чиннику.

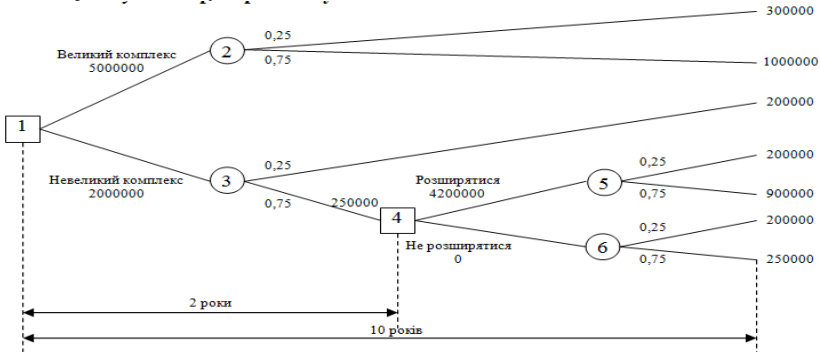


Рис. В.3 Дерево рішень для задачі проектування будівництва аеропортового комплексу

Рішення задачі починається з другого етапу. Порівнюються дві альтернативи:  $A_{45}$  та  $A_{46}$ . Необхідно для кожної альтернативи знайти значення очікуваного прибутку в разі реалізації відповідного рішення.

$$A_{45}: M_{45} (\text{прибуток} / \text{розширювати аеропорт}) = (0,75 * 900000 + 0,25 * 200000) * 8 - 4200000 = 1600000 \text{ у.о.}$$

$$A_{46}: M_{46} (\text{прибуток} / \text{не розширювати аеропорт}) = (0,75 * 250000 + 0,25 * 200000) * 8 = 1900000 \text{ у.о.}$$

Порівнюючи отримані значення ( $M_{46} > M_{45}$ ) робимо висновок, що альтернатива  $A_{46}$  більш приваблива, ніж  $A_{45}$ . Тобто, на другому етапі прийняття рішення необхідно залишити аеропорт без розширення.

Переходимо до першого етапу, до вершини 1. Тут порівнюються альтернативи  $A_{12}$  і  $A_{13}$  щодо будівництва великого чи невеликого аеропорту з урахуванням даних, отриманих на другому етапі.

$$A_{12}: M_{12} (\text{прибуток} / \text{великий аеропорт}) = (0,75 * 1000000 + 0,25 * 300000) * 10 - 5000000 = 3250000 \text{ у.о.}$$

$$A_{13}: M_{13} (\text{прибуток} / \text{невеликий аеропорт}) = (0,75 * 250000 * 2 + 1900000) + (0,25 * 200000 * 10) - 2000000 = 775000 \text{ у.о.}$$

Як видно,  $M_{12} > M_{13}$ , тобто оптимальним рішенням буде будівництво великого аеропорту. В цьому разі очікуваний прибуток дорівнює 3250000 у.о.

**Приклад розрахунку стохастичної мережі типу GERT для аналізу розвитку польотної ситуації**

Перехід від аварійної до нормальної, складної ситуації заданий стохастичною мережею у вигляді, показаному на рис. Г.1 [195; 196].

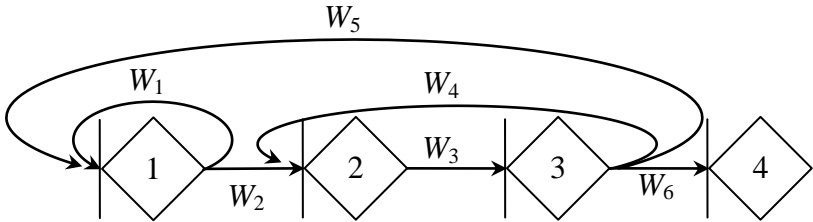


Рис. Г.1. Приклад розрахунку стохастичної мережі типу GERT: 1 – нормальна ситуація; 2 – ускладнення умов виконання польоту; 3 – складна ситуація; 4 – аварійна ситуація

Крок 1. Введемо фіктивну дугу  $W_A$  (рис. Г.2).

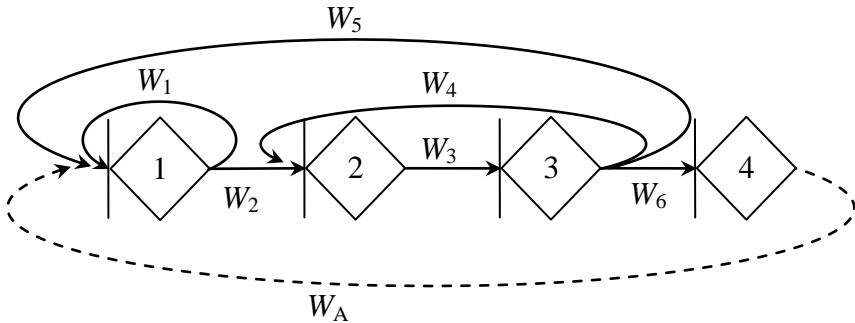


Рис. Г.2. Введення фіктивної дуги  $W_A$

Таблиця Г.1

**Розрахунок коефіцієнтів пропускання петлі порядку  $n$**

Петлі	Коефіцієнт пропускання петлі	Розрахунок
1-го порядку	$W_1$	$(-1)^1 W_1 = -W_1$
	$W_3 W_4$	$(-1)^1 W_3 W_4 = -W_3 W_4$
	$W_2 W_3 W_5$	$(-1)^1 W_2 W_3 W_5 = -W_2 W_3 W_5$
	$W_2 W_3 W_6 W_A$	$(-1)^1 W_2 W_3 W_6 (1/W_E) = -W_2 W_3 W_6 (1/W_E)$
2-го порядку	$W_1 W_3 W_4$	$(-1)^2 W_1 W_3 W_4 = W_1 W_3 W_4$

*Продовження додатка Г*

Крок 2. Знайдемо всі петлі порядку  $n$ ,  $n = 1, 2$  (табл. Г.1).

Крок 3. Топологічне рівняння для стохастичної мережі:

$$H = 1 - W_1 - W_3 - W_4 - W_2 - W_3 - W_5 - W_2 - W_3 - W_6 + (1/W_E) + W_1 - W_3 - W_4 = 0.$$

$$W_E(s) = \frac{\text{Імовірність переходу}}{\text{Еквівалентна функція мережі}};$$

$$W_E(s) = \frac{W_2 W_3 W_6}{1 - W_1 - W_3 - W_4 - W_2 - W_3 - W_5 + W_1 W_3 W_4}.$$

Крок 4. Виникла складна ситуація. Визначимо  $A, B, C, D$  – перехід до аварійної, катастрофічної, нормальної ситуацій. Розглянемо приклад переходу до катастрофічної ситуації.

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

$$H = 1 - \dots (-1)^m \sum T_k(L_m);$$

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

$$T(L_n) = \prod_{k=1}^n T_k,$$

де  $M_E(s)$  визначається з топологічного рівняння Мейсона:  $T_k(L_m)$  – еквівалент пропускання вузла  $m$ -го порядку;  $t_{ij}$  – час на перехід від  $i$ -ї до  $j$ -ї польотної ситуації;  $\sum T(L_k)$  – сума еквівалентних коефіцієнтів пропускання для всіх можливих петель  $k$ -го порядку.

Визначаємо математичне очікування часу  $t_{ij}$  на перехід від  $i$ -ї польотної ситуації до  $j$ -ї польотної ситуації і навпаки:

$$\mu_{1E} = \left. \frac{\partial M_E(s)}{\partial s} \right|_{s=0},$$

де  $\mu_{1E}$  – математичне очікування часу виконання мережі  $G$ .

Дисперсії часу  $t_{ij}$  розвитку польотної ситуації  $\delta^2 [t_{ij}]$ :

$$\delta^2 = \mu_{2E} - (\mu_{1E})^2,$$

де  $\mu_{2E} = \delta^2 [t_{ij}]$  – дисперсія часу виконання стохастичної мережі.

Імовірності розвитку ситуації  $p_{ij}, p_{ji}, p_{ii}$ :

$p_{ij}$  – імовірність розвитку ситуації в бік ускладнення;

$p_{ji}$  – імовірність розвитку ситуації в бік парирування,

$p_{ii}$  – ймовірність розвитку ситуації, коли ситуація не ускладнюється, стабілізується.

З топологічного рівняння стохастичної замкненої мережі визначаємо коефіцієнти пропускання відкритої мережі  $W_E(s)$  і розвитку польотних ситуацій від аварійної до складної, нормальної, катастрофічної (рис. Г.3).

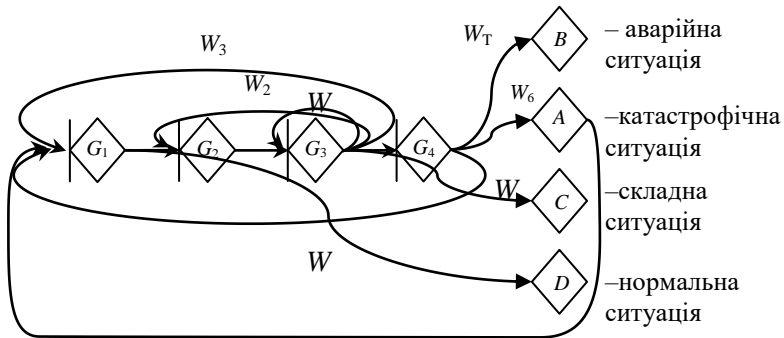


Рис. Г.3. Приклад розрахунку переходів між польотними ситуаціями

### Аналіз авіаційних подій за допомогою мереж типу GERT

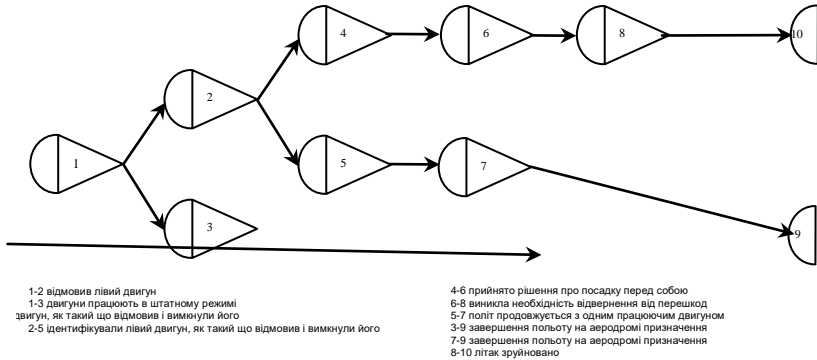
Авіаційні події відносяться до подій які розвиваються в часі, характеризуються невизначеністю і мають кілька наслідків розгортання в бік ускладнення і навпаки, тому доцільно їх аналізувати за допомогою стохастичної мережі типу GERT. Вузли даної стохастичної мережі можна інтерпретувати як стани розвитку польотної ситуації у разі виникнення ОВП, а дуги – як переходи з одного стану в інший.

**Закінчення додатка Г**

**Алгоритм побудови стохастичної мережі типу GERT для аналізу ОВП:**

- 1) визначити елементарні події, з яких складається ОВП;
- 2) визначити причинно-наслідкові зв'язки цих подій;
- 3) представити ОВП у вигляді стохастичної мережі з GERT-вузлами;
- 4) для кожної дуги  $i,j$  визначити умовну ймовірність  $p_{ij}$  та «виробляючу» функцію моментів  $M_{ij}(S)$ ;
- 5) для кожної дуги мережі обчислити вагу дуги  $W_{ij}(S) = p_{ij} \cdot M_{ij}(S)$
- 6) перетворити отриману мережу в еквівалентну їй мережу, скориставшись властивостями мереж, в яких параметри дуги представляються незалежними випадковими величинами;
- 7) обчислити ймовірність настання конкретної події мережі, математичного очікування та дисперсії часу до її появи.

Побудуємо мережу GERT катастрофи, яка сталась 05.12.1995 р. в районі аеропорту Нахичевань (рис. Г.4) [316].



**Рис. Г.4. Мережа GERT катастрофи Ту-134Б (05.12.1995 р., аеропорт Нахичевань)**

Застосування мереж типу GERT в базі моделей систем підтримки прийняття рішень дозволить моделювати прогнозувати розвиток аварійних ситуацій.

**Прийняття рішень екіпажем повітряного корабля в умовах  
невизначеності**

Однією з задач, які вирішує екіпаж ПК у процесі передпольотної підготовки, є вибір запасних аеродромів та уточнення метеоумов на них. Згідно з нормативними документами [5], запасні аеродроми вибирають з урахуванням таких факторів: забезпечення мінімуму командири ПК, метеорологічних умов на запасному аеродромі, кількості палива на борту ПК, віддаленості від запасного аеродрому. Для економічної ефективності виконання польоту, знаходження оптимальної альтернативи для пасажирів, вантажу та екіпажу ПК пропонується багатофакторна модель вибору запасного аеродрому, яка застосовується в СППР співробітника із забезпечення польотів. За допомогою СППР співробітник із забезпечення польотів має змогу допомогати командирі ПК шляхом [190–192]: надання необхідних вказівок щодо перегляду планів використання ПК і екіпажу ПК до відповідних відділів організації експлуатанту, якщо виконується ухід на запасний аеродром, затримка або відміна польоту; надання рекомендацій переглянутих маршрутів, абсолютних висот і запасних аеродромів; надання рекомендацій командирі ПК комерційних і технічних питань, які мають вплинути на експлуатаційні рішення щодо уходу на запасний аеродром; ведення контролю за відповідним залишком палива; забезпечення додатковою інформацією командири ПК (про істотні явища погоди, порушення регулярності експлуатації навігаційних засобів, засобів зв'язку тощо). Система підтримки прийняття рішень є складовою частиною програмних та апаратних засобів автоматизованої системи керування реальним часом – АС планування та забезпечення польотів [203; 204]. Розглянемо рішення задач вибору запасного аеродрому і оптимального аеродрому посадки в випадку аварійної посадки методами ПР в умовах невизначеності.

*Вихідні дані:* розрахунковий маршрут спрямування; аеродром відправлення (АВ) та його характеристики; аеродром призначення (АПр) та його характеристики; перелік запасних аеродромів (ЗА) відповідно до розрахункового маршруту; тип ПК та його тактико-технічні характеристики (ТТХ); польотна ситуація, що склалася (ускладнення умов виконання польоту, складна ситуація, аварійна ситуація, СМУ тощо); тип рейсу (регулярний, первинний, перерва понад 2 тижнів); фактори, що впливають на ПР: наявність палива на борту, віддаленість, ТТХ ЗПС ЗА, АВ, АПр, метеоумови, світлотехнічна система заходу на посадку, система заходу на посадку, навігаційні засоби підходу, характеристики перону, доріжок для рулювання, суб'єктивний фактор (наявність готелю, зручність доставки пасажирів), аеронавігаційні збори тощо.



**Алгоритм знаходження оптимального аеродрому посадки в умовах вимушеної посадки ПК (аварійної посадки, СМУ тощо):**

1. Формування множини альтернативних рішень  $\{A\}$  з АВ, АПр, ЗА:

$$\{A\} = \{A_{\text{АПр}} \cup A_{\text{АВ}} \cup \{A_{\text{ЗА}}\}\} = \{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n\},$$

де  $A_{\text{АПр}}$  – альтернативне рішення щодо посадки на АПр;  $A_{\text{АВ}}$  – альтернативне рішення щодо повернення на АВ;  $A_{\text{ЗА}}$  – множина альтернативних ЗА.

2. Формування множини факторів  $\{\lambda\}$ , що впливають на вибір аеродрому посадки у разі ПР Л-О в умовах вимушеної посадки ПК (аварійної посадки, СМУ тощо):

$$\{\lambda\} = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_j, \dots, \lambda_m\},$$

де  $\lambda_1$  – наявність палива на борту;

$\lambda_2$  – віддаленість;

$\lambda_3$  – ТТХ ЗПС на ЗА, АВ, АПр;

$\lambda_4$  – метеоумови на АВ, АПр, ЗА;

$\lambda_5$  – світлотехнічна система заходу на посадку АВ, АПр, ЗА;

$\lambda_6$  – система заходу на посадку АВ, АПр, ЗА;

$\lambda_7$  – навігаційні засоби підходу АВ, АПр, ЗА;

$\lambda_8$  – характеристики перону, доріжок для рулювання на АВ, АПр, ЗА;

$\lambda_9$  – суб'єктивний фактор (наявність готелю, зручність доставки пасажирів, логістичні вимоги, аеронавігаційні збори тощо).

3. Формування множини можливих наслідків  $\{U\}$  при впливі факторів, що впливають на ПР Л-О умовах вимушеної посадки ПК (аварійної посадки, СМУ тощо):  $\{U\} = \{U_{11}, U_{12}, \dots, U_{ij}, \dots, U_{nm}\}$ , де  $U_{ij}$  – визначається за допомогою методу експертних оцінок за оцінною шкалою відповідно до даних за довідкою та нормативною літературою.

4. Формування матриці рішень  $M = \|M_i\|$  (табл. Д.1).

5. Обрання критерію ПР в умовах невизначеності (Вальда; Лапласа; Гурвіца; Севіджа).

6. Наприклад, при підльоті ПК типу Ан-24 по маршруту Харків – Київ (Бориспіль) відбувається погіршення метеорологічних умов на аеродромі призначення. Необхідно знайти оптимальний аеродром посадки, якщо рейс регулярний і нерегулярний (здійснюється вперше) [97; 259].

**Матриця можливих результатів прийняття рішень щодо  
вибору оптимального аеродрому посадки**

Альтернативні рішення		Фактори, що впливають на ПР					
		$\lambda_1$	$\lambda_2$	...	$\lambda_j$	...	$\lambda_m$
$A_1$	$A_{\text{АПр}}$	$u_{11}$	$u_{12}$	...	$u_{1j}$	...	$u_{1n}$
$A_2$	$A_{\text{АВ}}$	$u_{21}$	$u_{22}$	...	$u_{2j}$	...	$u_{2n}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$A_i$	$A_{\text{ЗА}}$	$u_{i1}$	$u_{i2}$	...	$u_{ij}$	...	$u_{in}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$A_n$	$A_{\text{ЗА}}$	$u_{n1}$	$u_{n2}$	...	$u_{nj}$	...	$u_{nn}$

7. Формування множини альтернативних рішень  $\{A\}$  з АПр, АВ, ЗА: Київ (Бориспіль), Харків, Київ (Жуляни), Черкаси, Гостомель.

8. Формування множини факторів  $\{\lambda\}$ , що впливають на вибір АД посадки при ПР Л-О в СМУ  $\{\lambda\} = \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_j, \dots, \lambda_m$ :

- 1)  $\lambda_1$  – наявність палива на борту;
- 2)  $\lambda_2$  – віддаленість;
- 3)  $\lambda_3$  – тактико-технічні характеристики ЗПС (ТТХ ЗПС) на ЗА, АВ, АПр;
- 4)  $\lambda_4$  – метеоумови на АВ, АПр, ЗА;
- 5)  $\lambda_5$  – світлотехнічна система заходу на посадку (СТСЗП) АВ, АПр, ЗА;
- 6)  $\lambda_6$  – система заходу на посадку АВ, АПр, ЗА;
- 7)  $\lambda_7$  – навігаційні засоби підходу (НЗП) АВ, АПр, ЗА;
- 8)  $\lambda_8$  – характеристики перону, доріжок для рулювання на АВ, АПр, ЗА;

9)  $\lambda_9$  – суб'єктивний фактор (наявність готелю, зручність доставки пасажирів, логістичні вимоги, аеронавігаційні збори (АНЗ), тощо).

9. Формування множини можливих наслідків  $\{U\}$  при впливі факторів, що впливають на ПР Л-О в СМУ  $\{U\} = U_{11}, \dots, U_{12}, \dots, U_{ij}, \dots, U_{nm}$ , що визначається за допомогою методу експертних оцінок за оціночною шкалою відповідно до даних за довідкою та нормативною літературою (таблиця Д.2).

10. Обрання критерія ПР в умовах невизначеності:

- 1) Критерій мінімакса (Вальда) – нерегулярний рейс;
- 2) Критерій Лапласа – регулярний рейс.

Розрахунок наданий в табл. Д.2.

Формування матриці рішень  $\|M_i\|$

№ з/п	Альтернативні рішення (ЗА)	Фактори									Розрахунок	
		Наявність палива	Віддаленість	ТТХ ЗПС	Метеоумови	СТСЗП	СЗП	НЗП	Характеристики перону, РД	АНЗ	Критерій Лапласа	Критерій Вальда
1	Київ (Бориспіль)	9	1	10	1	10	10	10	10	10	<b>7,9</b>	1
2	Харків	3	10	7	8	8	7	8	7	9	7,4	3
3	Київ (Жуляни)	8	9	8	2	6	7	6	7	8	6,8	2
4	Черкаси	5	7	6	6	7	6	7	7	5	6,2	<b>5</b>
5	Гостомель	6	8	9	4	9	6	9	7	5	7	4

### Закінчення додатка Д

При використанні критерію Вальда кожна дія оцінюється за найгіршим станом для цієї дії, і «оптимальною» є дія, яка призводить до найкращого з найгірших станів. Даний критерій використовує оціночну функцію, що відповідає позиції крайньої обережності. Оптимальне рішення за критерієм Вальда визначається за максимінним правилом, забезпечує гарантійний результат і повністю виключає ризик, АД4 – Черкаси:

$$A_i^* = \max_i \min_j \{u_{ij}\} = \max \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\} = \max \{1, 3, 2, 5, 4\} = A_4^* = 5, \text{ де } A_1 = \min \{9, 1, 10, 1, 10, 10, 10, 10, 10\} = 1;$$

$A_2, A_3, A_4, A_5$  знаходяться відповідно.

Оптимальне рішення – АД4 – Черкаси: (табл. Д.2) задовольняє з мінімальним ризиком ЕПК, якщо рейс нерегулярний і мінімум КПК не дозволяє зробити посадку на аеродромі призначення Київ (Бориспіль). Аеродром АД4 – Черкаси характеризується достатньою якістю ЗПС, простою системою заходу на посадку, якісною світлосистемою

Застосування методу Лапласа, що є критерієм недостатнього обґрунтування, доцільне в випадках регулярного рейсу, тобто коли ризик мінімальний, мінімум КПК дозволяє навіть за складних метеоумов здійснювати посадку на аеродромі призначення. Оптимальне рішення в цьому разі визначається за умови:

$$A_i^* = \max \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N u(A_i, \lambda_j) \right\},$$

де  $n = 9$  – кількість факторів, що впливають на вибір АД – АПр. Оптимальним рішенням є АПр – Київ (Бориспіль), тобто мінімум КПК дозволяє здійснювати посадку при очікуваному погіршенні метеоумов:  $A_1^* = \max \{7,9; 7,4; 6,8; 6,2; 7\} = 7,9$ .

При нечіткій постановці задачі вибору ЗА кількісна оцінка факторів, які впливають на ПР, виконується за допомогою функцій належності.

*Наукове видання*

**Харченко Володимир Петрович  
Шмельова Тетяна Федорівна  
Сікірда Юлія Володимирівна**

***Прийняття рішень  
в соціотехнічних системах***

Монографія

В авторській редакції  
Технічний редактор А.І. Лавринович  
Підписано до друку