

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

**ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ОПЕРАТОРОМ  
АЕРОНАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ**

**М о н о г р а ф і я**

Кіровоград – 2012

УДК 656.7.052  
ББК 39.57

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

Прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи: монографія / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда. – Кіровоград: КЛА НАУ, 2012. – 292 с.

**Автори:**

В.П. Харченко, доктор технічних наук, професор – розділи 1, 2, 3;

Т.Ф. Шмельова, кандидат технічних наук, доцент – вступ, розділи 1–6, висновки, додатки;

Ю.В. Сікірда, кандидат технічних наук, доцент – розділи 3, 4, 6, додатки.

*Рекомендовано до друку вченою радою Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету (протокол №1 від 29 лютого 2012 р.).*

**Рецензенти:**

**В.Ф. Гамалій**, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри маркетингу і економічної кібернетики Кіровоградського національного технічного університету;

**Ю.І. Волков**, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри математики Кіровоградського державного педагогічного університету ім. В. Винниченка;

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

В монографії представлено моделі прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи в позаштатних польотних ситуаціях, що характеризуються високим рівнем неповноти і невизначеності інформації, жорстким лімітом часу на прийняття рішень та напруженим психофізіологічним станом людини-оператора. Систематизовано і формалізовано фактори, що впливають на прийняття рішень людиною-оператором аеронавігаційної системи як соціотехнічної системи. Розроблено детерміновані, стохастичні, рефлексивні, графоаналітичні моделі прийняття рішень людиною-оператором соціотехнічної аеронавігаційної системи та моделі розвитку польотної ситуації в умовах рефлексивного вибору людиною-оператором соціотехнічної аеронавігаційної системи. Для дослідження закономірностей поведінки операторів аеронавігаційної системи побудовано інформаційно-аналітичний діагностичний комплекс.

Для науковців, викладачів, аспірантів і студентів авіаційних спеціальностей вищих навчальних закладів.

© Харченко В.П.,  
Шмельова Т.Ф.,  
Сікірда Ю.В., 2012

## ЗМІСТ

<b>Список умовних скорочень.....</b>	<b>6</b>
<b>Вступ.....</b>	<b>8</b>
<b>1. Дослідження процесів прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи.....</b>	<b>12</b>
1.1. Проблеми прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи.....	12
1.1.1. Критерії прийняття рішень в аеронавігаційній системі.....	12
1.1.2. Порівняльний аналіз та інтерпретації людино-машинних систем.....	14
1.2. Характеристика аеронавігаційної системи як соціотехнічної системи.....	19
1.2.1. Системний аналіз факторів, що впливають на прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи, як складної соціотехнічної системи.....	19
1.2.2. Система факторів непрофесійного характеру.....	23
1.2.3. Система факторів професійного характеру.....	36
1.3. Декомпозиція процесу прийняття рішень в аеронавігаційній соціотехнічній системі.....	45
1.3.1. Декомпозиція умов виконання польоту і етапів розвитку польотної ситуації....	45
1.3.2. Декомпозиція процесу прийняття рішень оператором аеронавігаційної соціотехнічної системи.....	48
<b>2. Моделі прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи.....</b>	<b>51</b>
2.1. Детерміновані моделі прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи...	51
2.1.1. Мережеві графіки виконання дій оператором аеронавігаційної системи в разі виникнення особливого випадку в польоті з детермінованим часом виконання операційних процедур.....	51
2.1.2. Мережеві графіки виконання дій оператором аеронавігаційної системи у разі виникнення особливого випадку в польоті з імовірнісним часом виконання операційних процедур.....	61
2.2. Моделі прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи в умовах ризику.....	63
2.2.1. Якісний аналіз стохастичних моделей прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи.....	63
2.2.2. Прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи в умовах стохастичної невизначеності.....	67
2.2.3. Альтернативний мережевий аналіз розвитку польотних ситуацій за допомогою стохастичних мереж типу GERT.....	83
2.3. Прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи в умовах невизначеності.....	91
2.3.1. Ігровий підхід дослідження невизначеності у конфліктних задачах системи управління повітряним рухом.....	91
2.3.2. Моделювання прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи в умовах нестохастичної невизначеності.....	95
2.3.3. Прийняття рішень в умовах невизначеності при виборі оптимального аеродрому посадки.....	101
2.4. Нейромережевий аналіз прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи.....	103
2.4.1. Нейромережева модель оцінювання ефективності потенційних альтернатив завершення польоту.....	103
2.4.2. Нейромережева модель аналізу можливості виконання польоту.....	109
2.4.3. Нейромережева допуску слухача / студента в системі передтренажерної підготовки на етапі початкової підготовки спеціалістів з обслуговування повітряного руху.....	113

2.4.4. Нейронно-експертна система діагностики помилкових дій оператора аеронавігаційної системи.....	116
<b>3. Аналіз розвитку польотних ситуацій у разі виникненні особливого випадку в польоті.....</b>	<b>120</b>
3.1. Моделі переваг оператора аеронавігаційної системи в разі впливу факторів непрофесійного характеру.....	120
3.1.1. Моделі переваг людини-оператора для визначення впливу соціально-психологічних факторів.....	120
3.1.2. Моделі переваг людини-оператора для визначення впливу індивідуально-психологічних факторів.....	126
3.2. Рефлексивні моделі біполярного вибору оператором аеронавігаційної системи...	131
3.2.1. Рефлексивна модель біполярного вибору оператором аеронавігаційної системи в разі виникнення особливого випадку в польоті.....	131
3.2.2. Концепція раціональної поведінки оператора аеронавігаційної системи.....	135
3.3. Графоаналітичні моделі прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи в умовах розвитку польотних ситуацій.....	142
3.3.1. Дослідження діяльності оператора аеронавігаційної системи в умовах розвитку польотних ситуацій.....	142
3.3.2. Порівнева формалізація графоаналітичних моделей прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи.....	143
3.3.3. Методологія аналізу прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи у разі виникнення особливого випадку в польоті.....	150
<b>4. Розроблення структури системи підтримки прийняття рішення оператора аеронавігаційної системи.....</b>	<b>153</b>
4.1. Принципи побудови системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях.....	153
4.1.1. Основні задачі системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера у разі виникнення позаштатної польотної ситуації.....	153
4.1.2. Основні вимоги до систем підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях.....	155
4.2. Структурна декомпозиція задачі вибору оптимального варіанта завершення польоту в позаштатних ситуаціях.....	158
4.2.1. Підзадача оцінювання можливості продовження польоту.....	158
4.2.2. Підзадача оцінювання типу потенційного місця посадки.....	160
4.2.3. Підзадача оцінювання метеорологічних умов потенційного місця посадки.....	164
4.2.4. Підзадача оцінювання ефективності потенційних альтернатив і формування оптимального варіанта завершення польоту.....	165
4.3. Формування структури інформаційного забезпечення системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях.....	165
4.3.1. Розроблення структури системи збору інформації, необхідної для вибору оптимальної альтернативи завершення польоту.....	165
4.3.2. Розроблення структури даних, необхідних для вибору оптимальної альтернативи завершення польоту.....	167
4.4. Моделі та алгоритми формування рішень у системі підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях.....	170
4.4.1. Визначення можливості продовження польоту.....	170
4.4.2. Визначення придатності стану поверхні посадки.....	178
4.4.3. Визначення відповідності метеорологічних умов установленим мінімумам для посадки.....	184
4.4.4. Інформаційна модель системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях.....	186

<b>5. Дослідження закономірностей діяльності операторів та їх колективів в аеронавігаційній системі</b> .....	189
5.1. Соціодіагностика оператора аеронавігаційної системи.....	189
5.1.1. Методика визначення соціонічної характеристики оператора аеронавігаційної системи.....	189
5.1.2. Визначення коефіцієнту професійної діяльності людини-оператора.....	191
5.1.3. Діагностика соціонічної моделі оператора аеронавігаційної системи.....	193
5.1.4. Соціометричний аналіз в групі операторів аеронавігаційної системи.....	195
5.2. Діагностика емоційного стану оператора аеронавігаційної системи.....	197
5.2.1. Методи дисперсійного аналізу ідентифікації поточного емоційного стану пілота.....	197
5.2.2. Визначення стійкості аеронавігаційної системи при деформації емоційного стану пілота.....	201
<b>6. Програмна реалізація моделей прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи</b> .....	206
6.1. Інформаційно-аналітичний діагностичний комплекс для дослідження поведінки оператора аеронавігаційної системи при керуванні повітряним кораблем в екстремальних умовах.....	206
6.1.1. Комп'ютерна програма оптимізації вибору альтернативного варіанта завершення польоту повітряного корабля в позаштатних ситуаціях «Підказка».....	206
6.1.2. Комп'ютерна програма «Діагностика емоційного стану людини-оператора»....	209
6.1.3. Комп'ютерна програма «Діагностика соціонічної моделі людини-оператора»...	214
6.2. Програмний комплекс «Вибір передпольотної інформації і прийняття рішення на виліт».....	218
6.2.1. Основні завдання автоматизованої системи підготовки передпольотної інформації.....	218
6.2.2. Опис функціональних можливостей програмного комплексу «Вибір передпольотної інформації і прийняття рішення на виліт».....	221
6.2.3. Реалізація підсистеми прийняття рішення на виліт.....	224
<b>Висновки</b> .....	226
<b>Список використаних джерел</b> .....	227
<b>Додатки</b> .....	251
Додаток А. Класифікація причин, видів та наслідків позаштатних польотних ситуацій. Імовірності виникнення позаштатних польотних ситуацій.....	252
Додаток Б. Приклади детермінованих моделей прийняття рішень людиною-оператором аеронавігаційної системи в особливих випадках в польоті.....	267
Додаток В. Визначення величини потенційного збитку за допомогою апарату теорії нечітких множин.....	276
Додаток Г. Приклади аналізу прийняття рішень в позаштатних польотних ситуаціях за допомогою дерева рішень.....	279
Додаток Д. Приклад розрахунку стохастичної мережі типу GERT для аналізу розвитку польотної ситуації.....	281
Додаток Е. Приклади прийняття рішень людиною-оператором аеронавігаційної системи в умовах невизначеності.....	283
Додаток Ж. Визначення соціонічної моделі людини-оператора аеронавігаційної системи.....	286

## 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  
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  
СМЛ – соціонічна модель людини

СМУ – складні метеорологічні умови  
СППР – система підтримки прийняття рішень  
СТ АНС – соціотехнічна аеронавігаційна система  
СТО – світлосигнальне обладнання  
СТС – соціотехнічна система  
СУБД – система управління базами даних  
ТІМ – тип інформаційного метаболізму  
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 складі транспортної системи України важливе місце належить авіації. Необхідною складовою авіаційного транспорту є аеронавігаційна система (АНС), призначена для ефективного та безпечного виконання польотів.

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% [146; 147; 253; 283]. Тому оцінювання, аналіз, прогнозування та підвищення ефективності людського фактора залишаються актуальним.

Значна частка АП (49%) припадає на свідомі порушення членами екіпажів повітряних кораблів (ПК) льотних законів, правил та інструкцій [146] та порушення в процесі передпольотної підготовки (42%) [283]. Це свідчить, по-перше, що АНС за принципами функціонування слід вважати соціотехнічними системами (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 цієї роботи.

Розглянемо 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 [381] є відсутність «операційного розуміння ситуації». «Операційне розуміння ситуації» є життєво важливим елементом діяльності у тих випадках, коли велика інтенсивність інформаційного потоку і неправильне рішення 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» [9; 381] вводять це поняття та визначають можливості Л-О ефективно діяти в критичних ситуаціях для відносно простих ергатичних систем, які ще не стали соціотехнічними.

---

<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 небезпеки, результати дії яких можуть бути небезпечними, часто катастрофічними з точки зору втрати життя і майна [373]. 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 [9].



Кібернетична модель американського військового полковника Дж. Бойда OODA (Observe – спостерігай, Orient – орієнтуйся, Decide – вирішуй, Act – дій) [376; 378] 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 SHEL (1972 р.), інтерфейсами, пов'язаними з культурою людини-оператора – «SCHELL model and CRM» – «Software (procedures), Culture (культура), Hardware (machines), Environment, Liveware, Liveware (humans)» [9; 373].

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) ре-комендовані ряд моделей управління небезпекою та ризиками, а саме 5P, 3P, CARE, TEAM, OODA, DECIDE та ін. [376]. 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 парирования позаштатних ситуацій на борту ПК [146]. Основна частина авіаційних подій виникає в так званих неочікуваних умовах експлуатації ПК [146; 147; 185]. Крім досвіду, що входить до професійної підготовки Л-О [155], ергономічних особливостей АНС [3; 164] та інформаційного забезпечення Л-О [80; 263; 248; 249], на професійну діяльність Л-О значний вплив мають так звані непрофесійні чинники [355], особливо у разі ПР Л-О в неочікуваних умовах експлуатації ПК.

4. *Недосконалість методик відбору, підготовки та контролю стану операторів.* Існуючі підходи орієнтовані на перевірку і контроль окремих чинників (психофізіологічного [9; 141; 382], поведінкового [155; 103], ергономічного [101; 104; 105; 126–128], професійного [157] тощо) і не враховують функціонального стану Л-О в умовах динамічної зміни зовнішніх та внутрішніх факторів [161; 373; 382; 388]. 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» [373]. Російськими 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 [146]. 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) [272; 355; 356; 357], дозволяє прогнозувати дії Л-О на основі моделювання передбачення «великомасштабних» наслідків індивідуальних дій [373] за допомогою теорії рефлексивного вибору В.Лефевра [148; 149].

Розглянемо, якою мірою ці обставини враховані в опублікованих працях. 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 [68], В.Г. Денисов, В.Ф. Оніщенко [92]; моделювання динамічних характеристик Л-О – І.Є. Цибулевський [279], В.М. Казак [110; 111]; характеристики Л-О – М.А. Котик [126; 127], Б.Ф. Ломов [152] та ін.);

– соціальної психології (групове ПР – Г.М. Андреева [31], Д. Майерс [154], Дж. Морено [189], Н.В. Бахарева [182]; сприйняття інформації, ПР, як способу організації взаємодії із зовнішнім середовищем – К. Бріггс, І. Майерс [46; 147]; інформаційний обмін особистості з середовищем – А. Аугустінавічюте [46; 146; 147], соціоніка із застосуванням в системі професійного відбору авіаційних фахівців – М.Ф. Михайлік, С.Д. Малишевський [146; 147, 214]).

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.

Процеси подання, розпізнання і сприйняття інформації, прийняття оптимальних рішень досліджені у працях В.Г. Денисова [92], Р.Л. Кіні, Х Райфа. [215]; ергономічні засади ПР – у роботах О.М. Реви [216]. ПР Л-О в інформаційних системах та декомпозиційно-агрегативні підходи розв'язання багатокритеріальних задач – у роботах А.М. Вороніна [75]. Імовірнісні моделі ПР Л-О та методика прогнозування ймовірностей виконання завдань Л-О в умовах ліміту часу представлені у роботах С.Т. Поліщука [206]. Розвиток теорії ПР та їх практичне застосування у вигляді інформаційного забезпечення систем підтримки прийняття рішень (СППР) відображено у працях Б.М. Герасимова., В.М. Локазюка [79–81], І.Б. Сіроджи [248; 249].

Теоретичні засади моделювання систем штучного інтелекту досліджували В.М. Глушков, О.Г. Івахненко, Г.С. Поспелов, П.К. Анохін [30; 208; 209]; інтелектуальні СППР при управлінні повітряним рухом (УПР) – В.М. Неділько [194], І.М. Глухих [82], К.К. Петров [203], науково-методологічні основи забезпечення функціональної стійкості автоматизованих систем (АС) УПР розглянуто в працях С.М. Недільки [193].

Розвиток інтелектуальних засобів для систем керування транспортом та автоматичним ПР у конфліктних ситуаціях, удосконаленням системи аеронавігаційного обслуговування та дослідження АНС як СТС – В.П. Харченко.

Математичні моделі людини в умовах морального вибору представлені теорією рефлексії В.О Лефевра, працями Т.А Таран., В.М. Шемаєва [148; 149; 256]. Математичні моделі пам'яті Л-О розроблені В.Ф. Прісняковим і Л.М. Прісняковою [211; 212].

Проектуванню адаптивних систем керування складними технологічними об'єктами присвячено праці [108; 109; 218].

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 [373; 219; 234]. Системний підхід реалізував Ю.М Ковальов. Зокрема, було побудовано теорію самоорганізації складних систем, окремі сценарії якої можуть бути інтерпретовані як ЕС [118].

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

1. Проведення декомпозиції процесу ПР Л-О АНС як СТС, дослідження та систематизація груп чинників, які впливають на ПР оператором в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК.

2. Моделювання системи переваг Л-О АНС при впливі на ПР індивідуально-психологічних та соціально-психологічних факторів.

3. Розроблення моделей ПР Л-О в соціотехнічній аеронавігаційній системі (СТ АНС).

4. Розроблення графоаналітичних моделей розвитку польотної ситуації і ПР Л-О СТ АНС.

5. Розроблення методології побудови моделей ПР Л-О і розвитку польотної ситуації в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК.

6. Розробка моделей біполярного вибору Л-О в умовах розвитку польотної ситуації у разі впливу зовнішнього середовища, попереднього досвіду і вольового вибору Л-О.

7. Моделювання поведінкової діяльності групи операторів в СТ АНС.

8. Розроблення структури СППР Л-О АНС, визначення моделей та алгоритмів, що забезпечують ефективне та надійне функціонування кожної із підсистем СППР.

9. Інформаційне забезпечення СППР Л-О в АНС в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК.

Об'єктом дослідження є діяльність Л-О в АНС як соціотехнічній системі в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК. Предметом дослідження є процес ПР Л-О і технологія роз-витку польотної ситуації в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК.

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 ICAO з проблем людського фактора, які можуть виникнути при впровадженні систем CNS/ATM [8; 10]: «орієнтована на людину автоматизація», «ситуативна обізнаність», «контроль за помилками». Професійна діяльність як особливий вид діяльності з освоєння досвіду людства безперервно пов'язаний з удосконаленням особистісних властивостей Л-О, які в свою чергу, забезпечують успішне формування професійних навиків та їх надійність особливо в екстремальних умовах діяльності. Систематизація і формалізація факторів, що впливають на ПР Л-О АНС як СТС, розв'язання задач аналізу ПР Л-О АНС і прогнозування розвитку польотної ситуації дозволить підвищити ефективність функціонування СТ АНС. Розроблення детермінованих, стохастичних, рефлексивних і графоаналітичних моделей ПР Л-О СТ АНС та моделей розвитку польотної ситуації в умовах рефлексивного вибору Л-О СТ АНС дасть змогу покращити якість отриманих рішень в позаштатних польотних ситуаціях, що характеризуються високим рівнем неповноти і невизначеності інформації, жорстким лімітом часу на ПР та напруженим психофізіологічним станом Л-О. 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.

# 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ОПЕРАТОРОМ АЕРОНАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

## 1.1. Проблеми прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи

### 1.1.1. Критерії прийняття рішень в аеронавігаційній системі

Необхідною складовою авіаційного транспорту є аеронавігаційна система<sup>2</sup>, призначена для високоефективного забезпечення польотів.

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. Предметом дослідження є ПР користувачами повітряного простору<sup>3</sup> при аеронавігаційному обслуговуванні<sup>4</sup>.

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

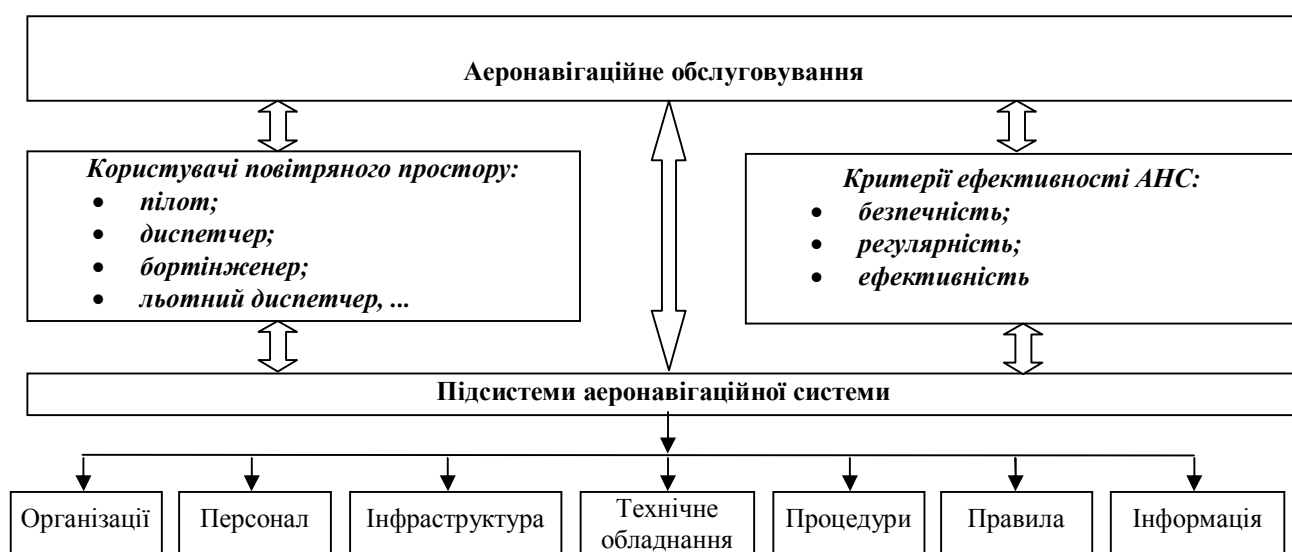


Рис. 1.1. Структурна схема аеронавігаційної системи

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 (ІКАО) [13; 14; 17–20].

<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 [17].

<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) [17].

<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.

<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 ПР, 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) [18].

Дослідженню питань підвищення ефективності функціонування транспортних систем присвячені розробки відомих учених: Т.Г. Анодіної [29], О.О. Бакаєва, М.П. Бусленка, В.С. Дем'янчука, В.О. Ігнатова, Б.М. Герасимова [79–81], В.В. Калашнікова, І.М. Коваленка, Г.О. Крижанівського [33; 89; 90; 133], О.І. Кухтенка, Ю.С. Лігума, В.І. Мокшанова [186], Ю.М. Федорова, Ю.М. Цветкова, В.С. Ширшова, В.М. Казака [110; 111; 137; 289] та ін. Проблемам розвитку та удосконалення систем аеронавігаційного обслуговування польотів в Україні на основі супутникових систем CNS/ATM присвячені роботи В.П. Харченка [48; 137; 275–277]. Системи навігаційного забезпечення координації руху транспортних засобів за допомогою сучасних супутникових технологій представлені в роботах Г.Л. Баранова [52]. Теорію та кількісне оцінювання функціональної стійкості розподілених інформаційно-керувальних систем досліджують О.А. Машков, О.В. Барабаш [51; 161], забезпечення функціональної стійкості АС УПР – С.М. Неділько [193, 195]. Концептуальні основи інтелектуальної підтримки ПР в АС ОПР з елементами штучного інтелекту розглянуто у працях В.М. Недільки [194], методи досліджень складних ергатичних систем, зокрема в багатокритеріальних задачах ПР – у працях А.М. Вороніна, Ю.К. Зятдінова [75]. 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 (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 [362] 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 вкладається 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 [218].

*Стійкість* – властивість системи у разі незначних змін умов функціонування зберігати свої експлуатаційні показники [108; 109].

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 багатфакторних (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 [51; 106; 109; 222]. 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 мало ймовірно [42; 51; 161]. 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.

### 1.1.2. Порівняльний аналіз та інтерпретації людино-машинних систем

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.

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 [101; 102], 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.

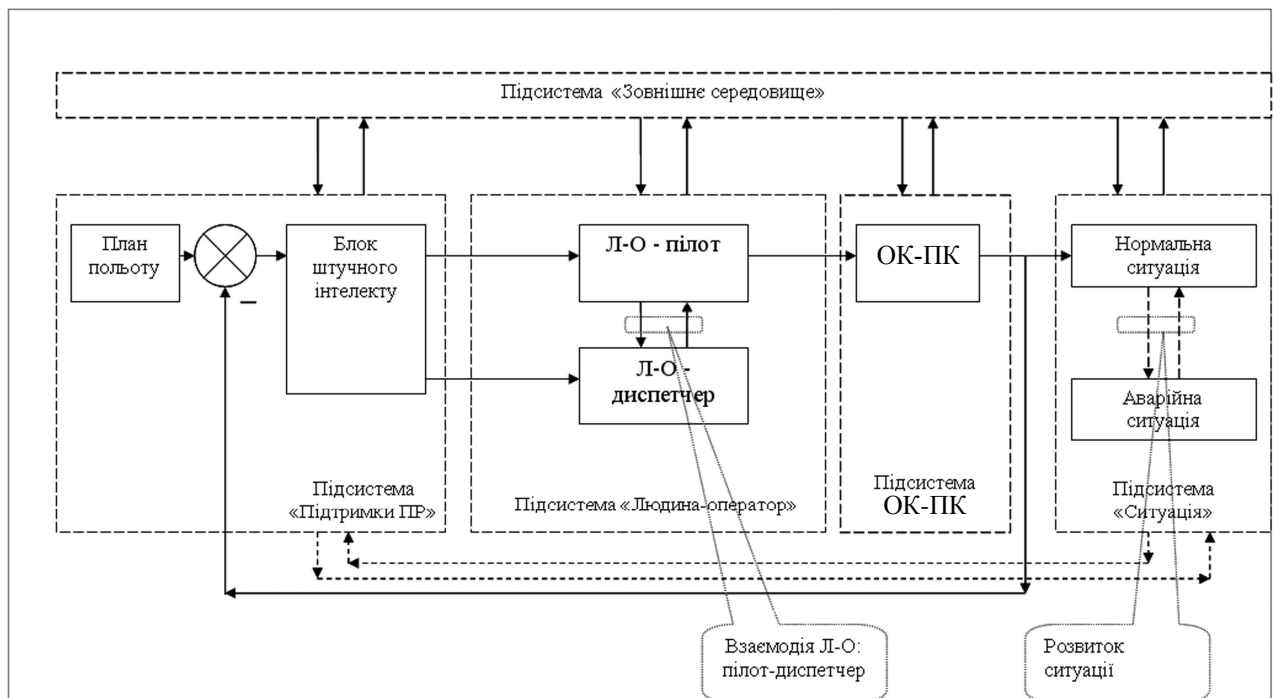


Рис. 1.2. Підсистеми в АЕС

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 [92; 95; 285–288].

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 [272; 273; 355]. 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 [79–81]. 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 [71; 55–57; 79–81; 226; 227].

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) [61; 133] і Національний авіаційний університет, м. Київ (А.С. Литвиненко) [150], В.М. Васильєв, В.П. Харченко [150]. Дослідженням механізмів розвитку позаштатних польотних ситуацій присвячені праці С.Р. Маханова, В.Є. Чепіги [160], В.Г. Ширшова [289], С.С. Граськіна і П.Є. Дубовика [85], 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 [92; 279]:

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 клерувальних дій.

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

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 [80; 268; 286; 287]:

- об'єкт керування (ОК);
- зовнішнє середовище;
- людина-оператор (пілот, диспетчер).

Структуру процесу ПР у вигляді системи, що відображає структурні та причинно-наслідкові зв'язки його компонентів, показано на рис. 1.3.

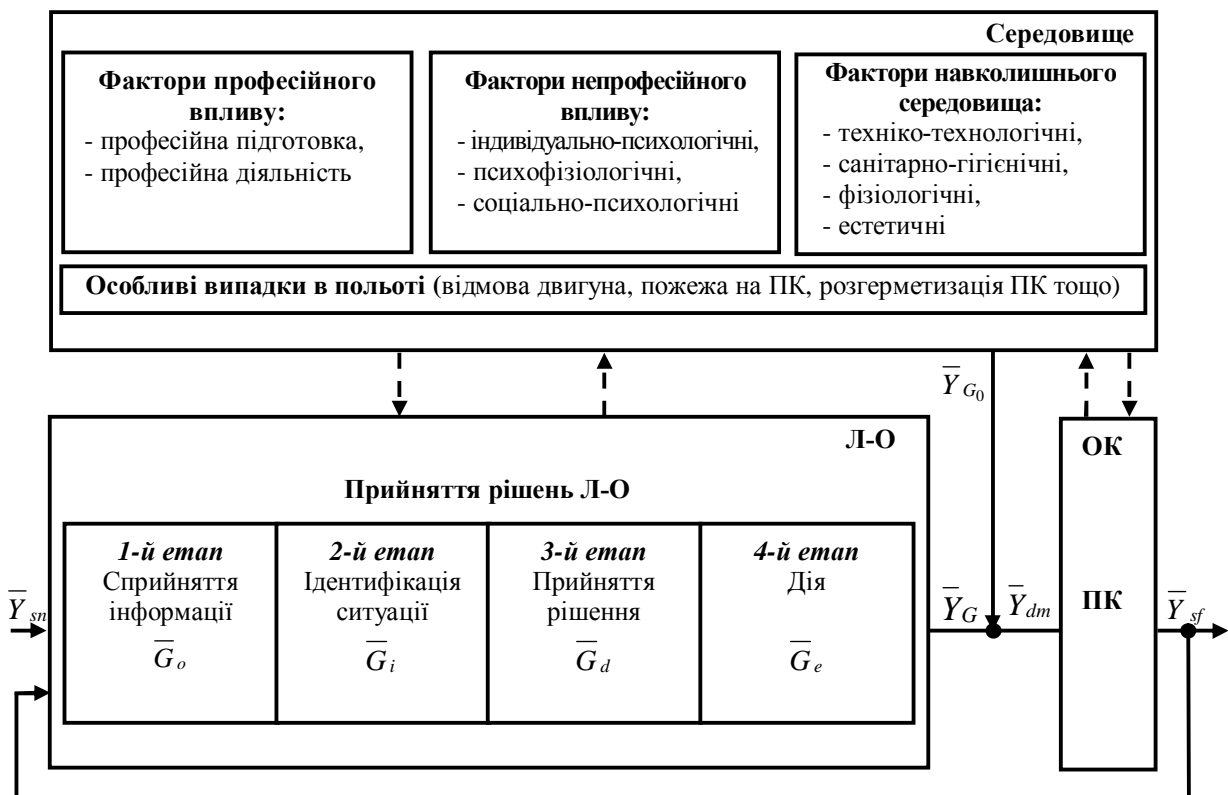


Рис. 1.3. – Система Л-О – ОК – зовнішнє середовище:  $\bar{Y}_{sn}$  – вектор заданих вхідних значень розвитку польотної ситуації;  $\bar{Y}_G$ ,  $\bar{Y}_{G_0}$  – вектори керувальних дій Л-О без урахування та з урахуванням впливу середовища відповідно;  $\bar{Y}_{dm}$  – вектор ПР Л-О;  $\bar{Y}_{sf}$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

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 [216; 217; 250] – це складна цілеспрямована полієргатична 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, що є неодмінною властивістю АЕС нового покоління. З урахуванням названих відмінних особливостей АНС як ЕС, АЕС має структура АЕС (рис. 1.2):

- 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».

**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 [100; 217].

Залежно від цілей, які реалізує людина в гуманістичній системі, може бути виділена деяка множина класів гуманістичних систем [217]:

- *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 вмінь, у тому числі вмінь 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;

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

**Людина в біосоціальной системі.** У працях О.О. Ухтомського проводяться дослідження людини, як підсистеми в біосоціальной системі. Концепція О.О. Ухтомського щодо біосоціальной природи людини ґрунтується на єдності природничих і гуманітарних знань про людину [265]. 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 біосоціальну 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, соціальні 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 соціальних 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) [30].

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 [127; 128; 250; 251; 286–288]. 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 час практичного застосування.

Порівняльний аналіз ЛМС як ергатичних, гуманістичних, біосоціальних систем наведено в табл. 1.1.

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
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

Аеронавігаційна система «*екіпаж – ПК – середовище – органи ОПП*», як АЕС – це така, в якій ергатичний елемент (Л-О) виробляє і обслуговує продукт виробництва, а саме – повітряні перевезення [17], 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.

Проведено декомпозицію АНС, розглянуто системний підхід до властивостей Л-О та процесу ПР Л-О в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК (дод. А) з комплексним урахуванням впливу факторів на кожному етапі ПР [362; 272; 389; 390].

## 1.2. Характеристика аеронавігаційної системи як соціотехнічної системи

### 1.2.1. Системний аналіз факторів, що впливають на прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи як складної соціотехнічної системи

Авіаційні системи, в яких відбувається тісна взаємодія між людиною та технологічними компонентами, еволюціонували в бік комплексних соціотехнічних систем [9]. 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 [373]. Надзвичайні ситуації, катастрофи, аварії на гідротехнічних, хімічних і військових виробництвах, газо- і нафтопроводи, атомних електростанціях, а також на транспорті стають частим і звичайним явищем.

Таблиця 1.2

Ознаки АНС як СТС

Соціально-технічна система			
Ознаки СТС	Підсистеми	Умови функціонування	Фактори, що впливають на ПР Л-О
Полієргатична	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 АЕС і АНС	Непрозорість	Ергономічні

Статистичні дані вказують, що людські помилки складають до 80% усіх авіаційних подій [146]. Причини більшості авіаційних подій пов'язані з індивідуальними властивостями та психологією людини-оператора, впливом соціального середовища, до якого належить Л-О [9; 373].

Окремий контроль психофізіологічних, поведінкових, ергономічних, професійних, інформаційних характеристик ЛПР не враховує динаміку стану Л-О в умовах зміни факторів навколишнього природного і соціального середовища [265]. 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 цих проблем є комплексне дослідження закономірностей діяльності операторів і їх колективів в АНС як соціотехнічної системи [342; 357; 360; 361; 362; 389; 390].

Дослідження еволюції авіаційної системи в напрямі комплексних соціотехнічних систем зі змінами та доповненнями відомої моделі людського фактора SHEL (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 [2–11; 15; 373; 376], наведено в табл. 1.3.

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
2010	HFACS	Human Factors Accident Classification System	Людина Фактори Аварія Класифікація Система

У Керівництві FAA «Aeronautical decision-making» (Прийняття рішень в авіації) [376] подаються моделі, рекомендовані для зниження аварійності та допомоги в прийнятті важливих рішень пілота ПК у разі виникнення позаштатних ситуацій (табл. 1.4).

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	Спостерігай 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. Модель 3P (сприйняти 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.

Згідно з концепцією в центрі моделі SHEL – людина, як найбільш важливий компонент системи. Відзначені основні фактори, що впливають на Л-О в процесі виконання професійних обов'язків [9] (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 [355; 357; 360; 361; 362; 389; 390]. Урахування впливу на ПР Л-О АНС, окрім професійних факторів (знання, навички, вміння, досвід) впливу, факторів непрофесійного характеру (індивідуально-психологічних, психофізіологічних та соціально-психологічних) [9; 355], дозволяє прогнозувати дії Л-О в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК.

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)

Системний підхід вимагає розгляду всіх взаємозв'язків різних компонентів авіаційної системи, визнаючи, що зміни в одній області можуть вплинути на іншу [323; 355; 356; 360]. На рис. 1.4 з позицій системного підходу визначені 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).

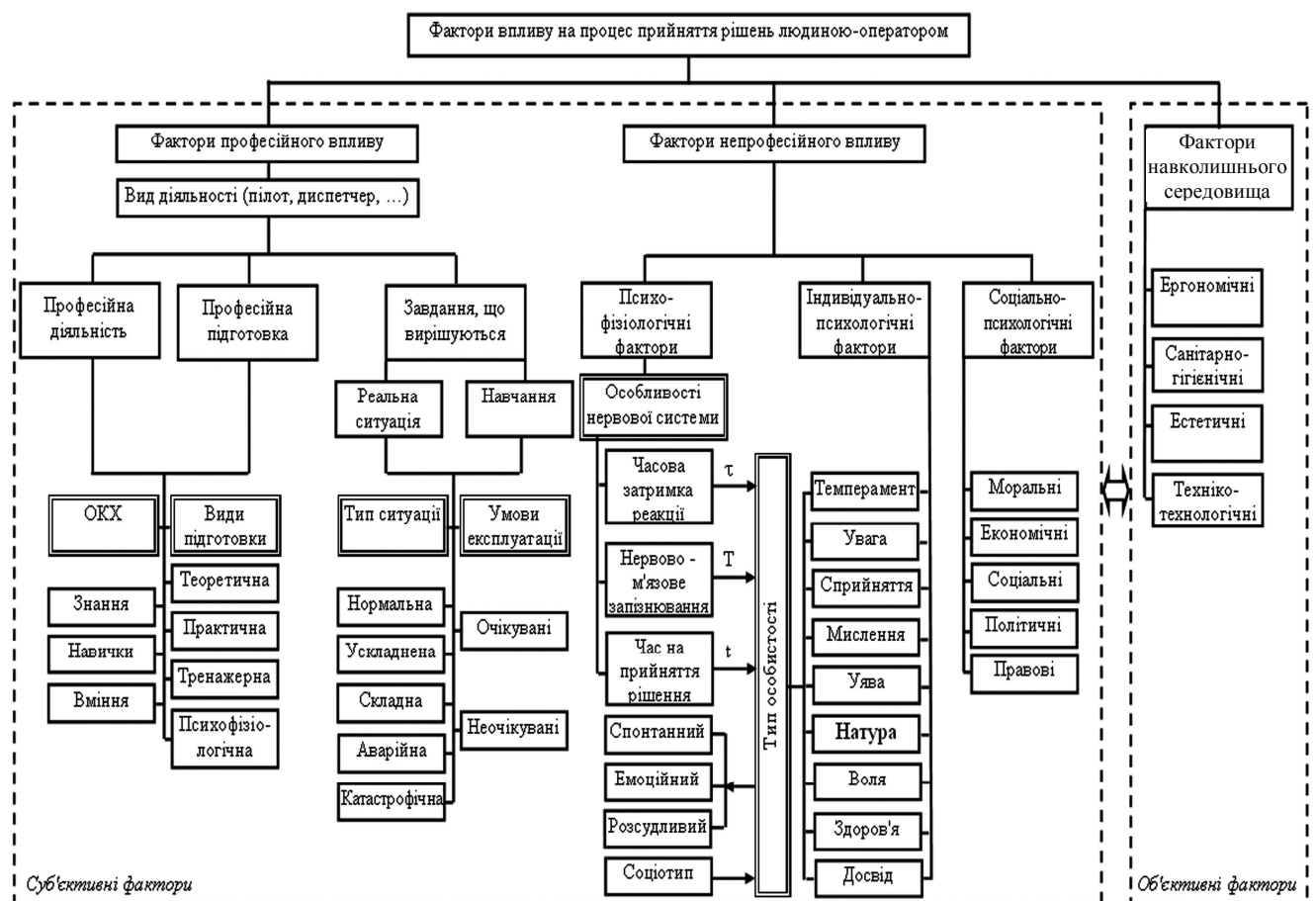


Рис. 1.4. Класифікація факторів, що впливають на ПР Л-О АНС

## 1.2.2. Система факторів непрофесійного характеру

Людина в авіації залишається елементом, що пов'язує технічні й організаційні складові функціонування авіаційної системи, забезпечує можливість активного впливу на решту її елементів. 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. Леонт'єв 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 [141].

*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 [141; 152; 153; 221]. В 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).

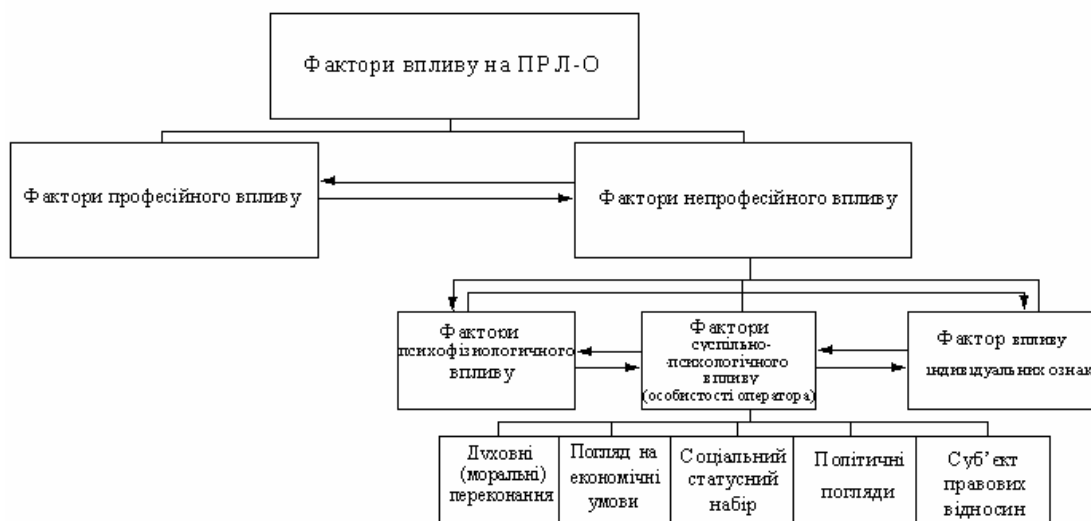


Рис. 1.5. Прийняття рішень Л-О в системі впливів

**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. 1.3 [141; 142; 157; 221].

Таблиця 1.3

**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 [27]
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 [97]. 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 [27; 187]. 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
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 [27]
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 [27]

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. 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. 1.6).

Базові спрямованості особистості в системі поглядів на суспільство подано цільовою моделлю пілота [156–158], 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.

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 [355–357; 360; 389; 390]. 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 [326; 355–357; 360; 389; 390]. В табл. 1.4 надається кодування соціально-психологічних факторів при визначенні системи пріоритетів.

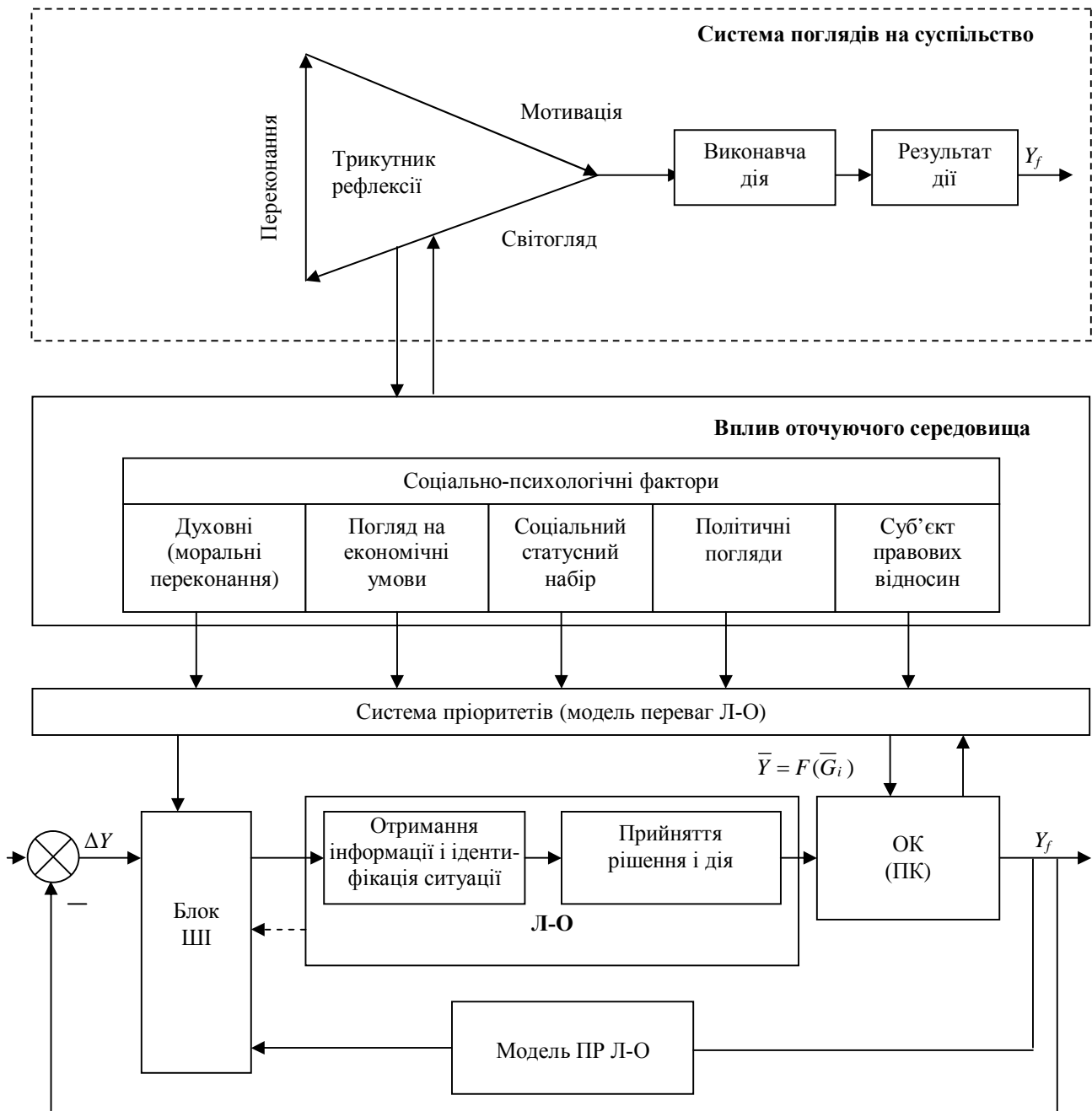


Рис. 1.6. Моделювання ПР з урахуванням соціально-психологічних факторів

Таблиця 1.4

**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	$f_{spt}$

**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 [92; 95; 285–288]. До основних індивідуальних властивостей особистості належать: темперамент, характер, спрямованість, здібності [27; 141; 197; 221]. *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. 1.5.

Актуальними є дослідження, що пов'язані з є описом *пам'яті людини*, її можливостей щодо оброблення і засвоєння інформації, яка надходить [59; 104; 127; 128; 211; 212]. Сприйняття та оброблення інформації Л-О як специфічна його властивість, що виявляється в його професійній діяльності, багато в чому визначає якісні та кількісні характеристики використовуваних при цьому різних пристроїв. Але до теперішнього часу немає достатньо повної системи, яка описує формально як процеси оброблення інформації в пам'яті людини, так і оптимальні способи взаємодії Л-О і різних пристроїв у системах автоматичного керування [59; 285].

Опис пам'яті людини, її можливості обробити і засвоїти інформацію, що надходить, є важливим аспектом для проектування ЛМС. Математична модель, що описує вказані процеси повинна містити опис процесів приймання інформації, її зберігання протягом певного часу, розпізнавання, відтворення та використання інформації у своїй діяльності [104; 128; 211]. Кількісна оцінка цих характеристик пам'яті ґрунтується на отриманні математичних залежностей між характеристиками інформації (обсягом, видом, швидкістю надходження), швидкістю її запам'ятовування, тривалістю зберігання тощо. Таким чином, *пам'ять людини* – деяка інформаційна система, що безперервно зайнята отриманням, видозміною, зберіганням і передачею інформації [211]. Основні показники та характеристики пам'яті – швидкість приймання інформації, оброблення та зберігання інформації в пам'яті людини через різні органи чуття та в різних ергономічних умовах наведено в працях [54; 59; 76; 104; 105; 211].

## 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, нерівноваженість поведінки. Запальний, агресивний, енергійний. Характерна циклічність у роботі
Флегматик – спокійний, урівноважений, рівний, наполегливий трудівник	Меланхолік – підвищена чутливість і ранимість, замкнений
<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; Зациклювання – 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, упушення важливих для справи подробиць
Глибина – вміння проникати в сутність складних питань	Поверховість – звернення уваги на дріб'язковість і небачення головного
Гнучкість – свобода від сковуючого впливу закріплених у минулому прийомів і способів вирішення задач, вміння 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 – вміння 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
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 – дівий, 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 намщеною метою	Пасивність – нездатність направляти і контролювати поведінку у відповідності з намщеною 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

Позитивні якості	Негативні (небезпечні) якості
Дисциплінованість – підпорядкування встановленому порядку, правилам	Недисциплінованість – нездатність підпорядкування встановленому порядку, правилам
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>	
Здоровий – правильна, нормальна діяльність організму, його повне фізичне і психичне 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

Дослідження В.Ф. Пріснякова і Л.М. Пріснякової [211; 212] характеристик, особливостей, обмежень пам'яті людини дали можливість розробити теоретичну модель пам'яті Л-О АНС. На підставі теоретико-інформаційних моделей пам'яті оцінено інформацію, що надходить і оброблюється в процесі передпольотної підготовки [145; 305]. Удосконалення моделей цього класу дозволило з'ясувати як обсяг інформації, що обробляється в пам'яті людини, залежить від обсягу і швидкості інформації, що надходить; як пов'язаний темп засвоєння інформації з темпом надходження нової інформації та кількістю раніше засвоєної інформації [211; 212; 305; 330].

Якщо в момент часу  $t$  в пам'яті Л-О міститься  $I(t)$  одиниць інформації, тоді швидкість зміни кількості інформації в пам'яті:

$$\frac{d}{dt} I(t) = \Delta I = R(t) - R_0(t) = R(t) - \frac{\mu}{T} (I(t) - I_\infty),$$

де  $R=R(t)$  – швидкість отримання інформації, яка залежить від характеристик джерел інформації (мапи, формуляри, текст, таблиці, тощо);  $R_0(t)$  – швидкість зменшення кількості інформації через процес забування інформації;  $\Delta I = R(t) - R_0(t)$  – приріст кількості інформації за одиницю часу;  $I_\infty$  – кількість інформації через великий проміжок часу;  $\mu \leq 1$  – коефіцієнт забуття, залежить від обсягу, засобів подання інформації, індивідуальних характеристик Л-О;  $T = \text{const}$  – коефіцієнт, що характеризує співвідношення між обсягом пам'яті та швидкістю її отримання.

Рівняння, що характеризує моделі пам'яті Л-О АНС при прийнятті та обробленні передпольотної інформації [305]:

$$I(t) = I_\infty + e^{-\frac{\mu t}{T}} \left( \int e^{\frac{\mu t}{T}} R(t) dt + C \right). \quad (1.1)$$

Якщо  $\tau = \frac{t}{T}$ , тоді з рівняння (1.1) маємо:

$$I(\tau) = I_\infty + e^{-\mu\tau} \left( \int e^{\mu\tau} TR(\tau) d\tau + C \right),$$

де  $C$  – довільна стала інтегрування, що визначається з початкових умов (при  $\tau = 0$ ,  $I(t = 0) = I_0$ ).

Розглянувши окремі випадки для оцінки величин параметрів  $\mu$ ,  $T$  і  $I_\infty$ ,  $I_0$  при  $R(\tau) = R = const$  отримуємо рішення рівняння:

$$I(\tau) = I_\infty + \frac{RT}{\mu} + e^{-\mu\tau} \left( I_0 - I_\infty - \frac{RT}{\mu} \right).$$

Якщо  $i(\tau) = \frac{I(\tau)}{I_\infty}$ ,  $p = \frac{RT}{\mu I_\infty}$ ,  $i_0 = \frac{I_0}{I_\infty}$ , ( $\tau = \frac{t}{T}$ ), отримуємо рівняння, за яким розраховуються значення функцій  $i(\tau) = f(\mu, p, i_0)$ , що надані в табл. 1.6 і представлені графіками залежності обробки інформації від швидкості її отримання (рис. 1.7):

$$i(\tau) = 1 + p + e^{-\mu\tau} (i_0 - 1 - p),$$

$$i_{11}(\tau) = 1,1 - 0,35e^{-\tau};$$

$$i_{21}(\tau) = 1,7 - 0,95e^{-\tau};$$

$$i_{22}(\tau) = 1,7 - 0,7e^{-\tau};$$

$$i_{31}(\tau) = 1,5 + 1,9e^{-\tau} \text{ і т.д.}$$

Таблиця 1.6

Таблиця значень функцій  $i(\tau) = f(\mu, p, i_0)$

$i_0$	$p$			
	0,1	0,7	1	2,5
0,75	$i_{11}$	$i_{12}$	$i_{13}$	$i_{14}$
1	$i_{21}$	$i_{22}$	$i_{23}$	$i_{24}$
3	$i_{31}$	$i_{32}$	$i_{33}$	$i_{34}$

Модель пам'яті (1.2) – (1.4) дозволяє прогнозувати процес накопичення (втрати) інформації в пам'яті Л-О в залежності від:

- індивідуальних особливостей –  $p$ ;
- рівня початкової кількості –  $i_0$ ;
- швидкості отримання інформації  $p$  та інтенсивності її забування  $\mu$ .

Як видно з графіків кількість інформації в пам'яті людини за постійної швидкості її надходження з часом стабілізується (модель враховує як надходження нової, так і забування вже отриманої інформації).

Авторами проведений аналіз індивідуально-психологічних факторів, їх цінності в системі професійного відбору авіаційного спеціаліста [270–272]. Окремі дослідження проводились авторами відносно змін в індивідуально-психологічних якостях з набуттям досвідом роботи Л-О [389; 357]. Для визначення впливу індивідуально-психологічних факторів на ПР Л-О при розвитку польотної ситуації від нормальної до аварійної введено кодування факторів (табл. 1.7).

*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 [92; 130–132; 183; 256; 279; 286; 287; 295]. 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).

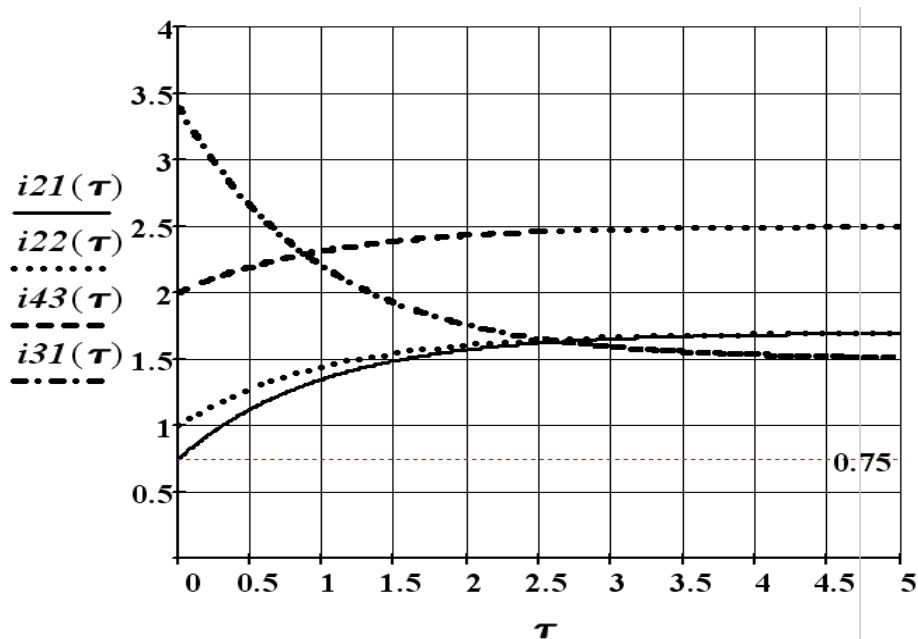


Рис. 1.7. Графіки залежності оброблення інформації від швидкості її отримання

Таблиця 1.7

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

№ з/п	Індивідуально-психологічні якості Л-О, $F_{ip}$	Кодування
1	Темперамент	$f_{ipt}$
2	Увага	$f_{ipa}$
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 [286; 183]. 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  $Q_c$  – передатна функція Л-О, що описує перетворену з точністю  $\varepsilon$  інформацію (описується оператором  $R_c$ ) 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:

$$M(t) = f_M(R_c, Q_c, \varepsilon, L_o);$$

$$D(t) = f_D(R_c, Q_c, \varepsilon, L_o).$$

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 [84; 92; 108; 168; 227; 294; 325; 328; 357; 389].

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 [227; 321; 325]. 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 [50; 83; 92; 123; 279]. 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 [50; 83; 92; 138].

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 [146; 147]. 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]. 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 (рис. 1.7).

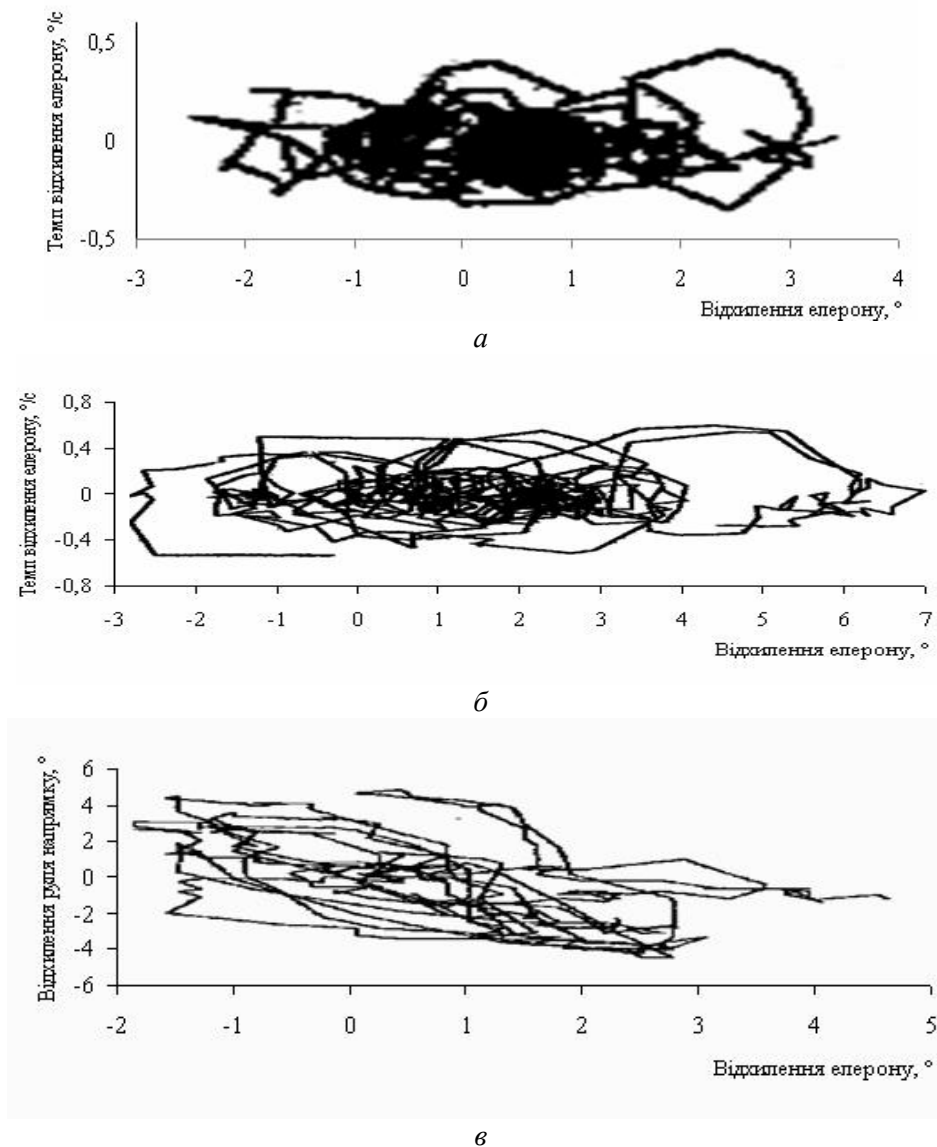


Рис. 1.7. Графіки емоційного стану пілота: *а* – спонтанного; *б* – розсудливого; *в* – емоційного

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. Оптимальне пілотування також забезпечується підсвідомими психічними процесами, при цьому дії пілота будуть безпомилковими майже в будь-якій ситуації. Зі зміною факторної ситуації під час керування ПК зростає емоційне напруження що супроводжується зниженням лабільності психіки і з'являється реальна можливість переходу до потенційно небезпечних несинхронізованих видів психічної діяльності – емоційної та розсудливої. Графіки відтворюють типи деформацій емоційного досвіду пілота, що керує ПК, залежно від відхилень елеронів при появі емоційного напруження. Можливість застосування в реальному часі цих графічних моделей дозволить своєчасно розпізнати емоційний стан пілота.

Авторами запропоновано систему моніторингу емоційного стану Л-О викликаного впливом навколишнього середовища (виникнення особливого випадку в польоті, аварійної ситуації, психоемоційної напруги) з визначенням відповідної стійкості ЕС «Л-О – ПК». Кодування психофізіологічних якостей Л-О наводиться в табл. 1.8.



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	$D_1$	$f_{pid1}$
5	Емоційний тип діяльності Л-О	$D_2$	$f_{pid2}$
6	Розсудливий тип діяльності Л-О	$D_3$	$f_{pid3}$

Таким чином, 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.

За статистикою 7% причин АП, що виникають з вини людського фактора, є порушенням взаємодії між членами екіпажу ПК (ЕПК) [1; 99; 146]. Значна кількість інцидентів і випадків пошкодження ПК на землі (до 34%) також спричинена порушеннями взаємодії в різних колективах авіаційних фахівців, які забезпечують виконання польотів [146; 147]. Причини більшості АП пов'язані з психологією авіаційних фахівців та їх взаємодією в колективі.

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. Таким чином, в процесі ПР особистість професіонала постає, як сукупність соціальних ролей та образів, що є ознакою різноманітності соціального буття людини [107; 141; 155].

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 [147; 189].

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 [4–6; 8; 9]. На разі поширення набувають соціонічні моделі людини, які дають змогу отримати кількісні оцінки впливу людського фактора.

*Діагностика соціонічних моделей людини-оператора в АНС.* 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 [214; 371]:

- 1) мислення,
- 2) емоції,
- 3) відчуття,
- 4) інтуїція.

Тест Катаріни Бріггс і 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» [146; 184].

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 [45; 46].

Таким чином, Л-О з точки зору соціоніки являє собою складне системне утворення, яке реалізує себе на чотирьох рівнях функціонування – біологічному (людина-природа), психологічному (людина-людина), соціальному (людина-суспільство); інформаційному (людина-ноосфера) – і відрізняється типами, що визначаються за допомогою психологічних дихотомій, описаних К.Г. Юнгом, К. Бріггс, І. Майєрс і А. Аугустінавічюте (рис. 1.9).

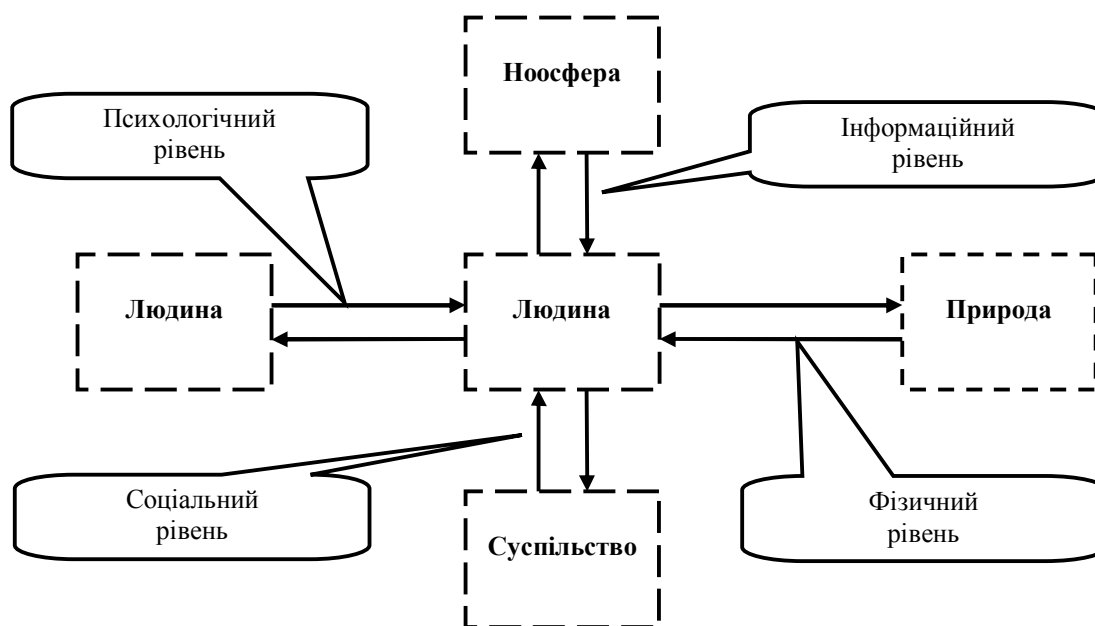


Рис. 1.9. Рівні функціонування людської особистості

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.

Існує 16 соціонічних типів людей (типів інформаційного метаболізму (ТІМ)), які обмінюються з навколишнім світом і між собою інформацією за певними законами:

1. Логіко-інтуїтивний екстраверт ЛІЕ.
2. Логіко-інтуїтивний інтроверт ЛІІ.
3. Інтуїтивно-логічний інтроверт ІЛІ.
4. Інтуїтивно-логічний екстраверт ІЛЕ.
5. Інтуїтивно-етичний екстраверт ІЕЕ.
6. Інтуїтивно-етичний інтроверт ІЕІ.

7. Етико-інтуїтивний інтроверт ЕІ.
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 [87] 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. 1.10.

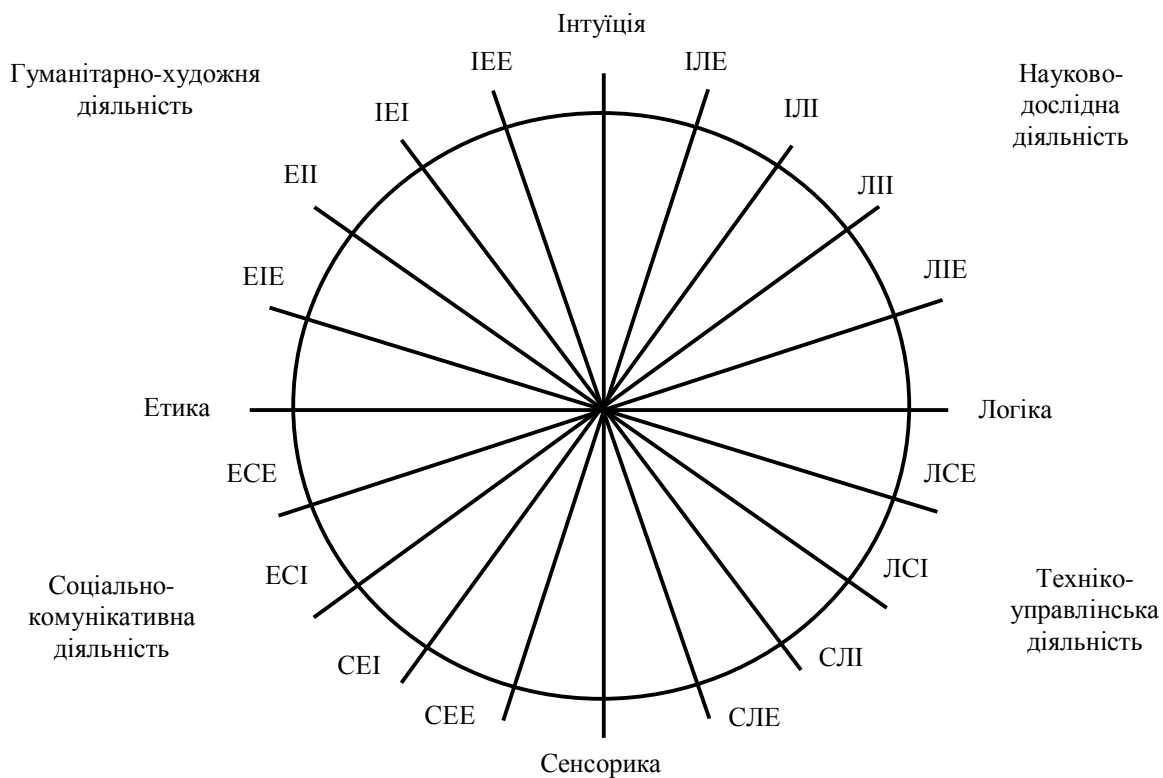


Рис. 1.10. Визначення соціонічної моделі особистості

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

Створено автоматизований модуль «Діагностика соціонічної моделі Л-О», який використовується в тренажерно-навчальній системі для реалізації індивідуального підходу в навчанні з урахуванням типу особистості студента. Для визначення соціонічних характеристик авіаційних операторів застосовується опитувальник ММ-1 (дод. Ж).

Для формалізації соціонічних показників особистості введено наступне кодування ТІМ (табл. 1.9).

Таблиця 1.9

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

№ з/п	ПД «раціональність-іраціональність»	Вид професійної діяльності	Тип інформаційного метаболізму	Позначення ТІМ	Кодування
1	Раціональність	Науково-дослідна діяльність	Логіко-інтуїтивний екстраверт	ЛІЕ	$f_{ЛІЕ}$
2	Раціональність		Логіко-інтуїтивний інтроверт	ЛІІ	$f_{ЛІІ}$
3	Іраціональність		Інтуїтивно-логічний інтроверт	ІЛІ	$f_{ІЛІ}$
4	Іраціональність		Інтуїтивно-логічний екстраверт	ІЛЕ	$f_{ІЛЕ}$
5	Іраціональність	Гуманітарно-мистецька діяльність	Інтуїтивно-етичний екстраверт	ІЕЕ	$f_{ІЕЕ}$
6	Іраціональність		Інтуїтивно-етичний інтроверт	ІЕІ	$f_{ІЕІ}$
7	Раціональність		Етико-інтуїтивний інтроверт	ЕІІ	$f_{ЕІІ}$
8	Раціональність		Етико-інтуїтивний екстраверт	ЕІЕ	$f_{ЕІЕ}$
9	Раціональність	Соціально-комунікативна діяльність	Етико-сенсорний екстраверт	ЕСЕ	$f_{ЕСЕ}$
10	Раціональність		Етико-сенсорний інтроверт	ЕСІ	$f_{ЕСІ}$
11	Іраціональність		Сенсорно-етичний інтроверт	СЕІ	$f_{СЕІ}$
12	Іраціональність		Сенсорно-етичний екстраверт	СЕЕ	$f_{СЕЕ}$
13	Іраціональність	Техніко-управлінська діяльність	Сенсорно-логічний екстраверт	СЛЕ	$f_{СЛЕ}$
14	Іраціональність		Сенсорно-логічний інтроверт	СЛІ	$f_{СЛІ}$
15	Раціональність		Логіко-сенсорний інтроверт	ЛСІ	$f_{ЛСІ}$
16	Раціональність		Логіко-сенсорний екстраверт	ЛСЕ	$f_{ЛСЕ}$

Таким чином, проведено декомпозицію факторів непрофесійного характеру, що впливають ПР Л-О в АНС. Зміст і формальний опис параметрів моделей наведено в табл. 1.10.

### 1.2.3. Система факторів професійного характеру

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) [157; 260; 374; 375]. 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.

Таблиця 1.10

Декомпозиція факторів непрофесійного характеру  $\bar{F}_{np}$ , що впливають ПР Л-О в АНС. Зміст і формальний опис параметрів моделей

№ з/п	Фактори	Параметри	Кодування
1	Соціально-психологічні якості Л-О $\bar{F}_{sp} = \{f_{spm}, f_{spe}, f_{sps}, f_{spp}, f_{spl}\}$	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	$f_{spl}$
6	Індивідуально-психологічні якості Л-О $\bar{F}_{ip} = \{f_{ipr}, f_{ipa}, f_{ipp}, f_{ipt}, f_{ipr}, f_{ipr}, f_{ipw}, f_{ipl}, f_{exp}, f_{me}\}$	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	$f_{me}$
16	Психофізіологічні якості Л-О $\bar{F}_{pf} = \{f_{pft}, f_{pfn}, f_{pft}, f_{pfd1}, f_{pfd2}, f_{pfd3}\}$	Часова затримка сенсорної реакції Л-О	$f_{pft}$
17		Нервово-м'язове запізнювання	$f_{pfn}$
18		Коефіцієнт підсилення оператора	$f_{pfn}$
18		Спонтанний тип діяльності Л-О	$f_{pfd1}$
20		Емоційний тип діяльності Л-О	$f_{pfd2}$
21		Розсудливий тип діяльності Л-О	$f_{pfd3}$
22	Соціотипи Л-О $\bar{F}_{st} = \{f_{лпе}, f_{лп}, f_{лп}, \dots, f_{лсе}\}$	Логіко-інтуїтивний екстраверт	$f_{лпе}$
23		Логіко-інтуїтивний інтроверт	$f_{лп}$
24		Інтуїтивно-логічний інтроверт	$f_{лп}$
25		Інтуїтивно-логічний екстраверт	$f_{лпе}$
26		Інтуїтивно-етичний екстраверт	$f_{лее}$
27		Інтуїтивно-етичний інтроверт	$f_{леі}$
28		Етико-інтуїтивний інтроверт	$f_{епі}$
29		Етико-інтуїтивний екстраверт	$f_{епе}$
30		Етико-сенсорний екстраверт	$f_{есе}$
31		Етико-сенсорний інтроверт	$f_{есі}$
32		Сенсорно-етичний інтроверт	$f_{сеі}$
33		Сенсорно-етичний екстраверт	$f_{сее}$
34		Сенсорно-логічний екстраверт	$f_{сле}$
35		Сенсорно-логічний інтроверт	$f_{слп}$
36		Логіко-сенсорний інтроверт	$f_{лсі}$
37	Логіко-сенсорний екстраверт	$f_{лсе}$	

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 [141].

Сучасна школа професійної підготовки Л-О в АНС, що базується на фундаментальних положеннях робіт С.Л. Рубінштейна, Л.С. Вигодського, О.М. Леонтьєва [107; 221; 141] 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 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 ОНР, 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;

- 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);

- при допуску до самостійної професійної діяльності – система оцінювання авіаційного спеціаліста до стажування і після проходження стажування при допуску до самостійної роботи.

Фактори професійної підготовленості в тому числі розвиток професійно-важливих знань, вмінь, навичок, оптимальний рівень яких визначається кваліфікаційними характеристиками спеціаліста і нормативними вимогами до них (освітньо-кваліфікаційні характеристики (ОКХ), освітньо-професійні програми (ОПП), тести діагностики). Невідповідність існуючого обсягу, змісту та якості знань, вмінь, навичок вимогам ОКХ збільшує вірогідність помилки Л-О в процесі професійної діяльності. Діагностика якості професійної підготовки залежить від рівня факторів професійної підготовленості:

- теоретичного навчання (знання);
- мислення (вміння);
- евристичного мислення (вміння другого порядку);
- практичної підготовленості (навички).

Метою професійної підготовки є освоєння навчаючим системи нормативно схвалених способів діяльності. Підвищення якості професійної підготовки авіаційних фахівців за допомогою визначення критеріїв формування змісту професійної підготовки операторів АНС

базується на працях В.О. Кузнецова [306]. Критерії формування змісту професійної підготовки операторів авіаційних систем розглянуто на прикладі підготовки авіадиспетчера [306].

*Критерії формування змісту професійної підготовки операторів авіаційних систем.* Відповідно до нормативних положень вищої школи послідовність розробки і оформлення вимог до змісту навчання має такі узагальнені етапи:

- комплекс умінь виконувати певні завдання професійного спрямування, що визначаються під час розроблення ОКХ;
- комплекс модулів знань, які необхідно засвоїти для подальшого опанування умінь;
- перелік нормативних дисциплін, які містять групи тих чи інших модулів знань.

Комплекс модулів знань та перелік нормативних дисциплін вказуються у відповідних додатках до ОПП. Певний досвід методичного супроводження подібних робіт у сфері вищої технічної освіти дає підстави стверджувати, що основною науково-методичною проблемою є відсутність критеріїв формування модулів знань – основних змістових складових наскрізної програми підготовки фахівців. Саме тому в нечисленних працях стосовно проектування змісту підготовки значення навіть рамкових характеристик множини модулів знань коливаються мінімум на порядок. Розроблено комплекс критеріїв для визначення множини модулів знань, які складають ОПП оператора авіаційних систем [107, 306].

Розробленню критеріїв передував вибір певних базових положень на підставі принципу проектування діяльності, системного підходу, управління якістю і теорії поетапного формування розумової діяльності, а саме:

- змістовна структура будь-якої дії як одиниці діяльності складається із шести складових (рис. 1.10): суб'єкт, предмет, продукт, процедура, умови, засоби;
- з позицій навчання у кожній дії виділяють орієнтовну, виконавську та контрольну частини;
- виконавська частина дії визначається конкретними умовами предметної (технологічної) ситуації;
- якість дії переважно визначається змістом розумової частини дії, орієнтовної основи діяльності (ООД); вичерпна ООД забезпечує систематичне безпомилкове виконання дії в певному заданому діапазоні професійних ситуацій;
- тип побудови ООД (неповна, повна, орієнтована на принципи побудови продуктів) визначає тип навчання;
- визначений тип навчання забезпечується змістом відповідних модулів знань, що включаються в навчальні дисципліни та інші форми навчальної роботи.

На підставі базових положень нами запропоновано систему змістових модулів, що, зокрема, має наступні взаємопов'язані рівні (рис. 1.11):

- конкретних технологічних рішень;
- типових технологічних рішень;
- принципів технологічних рішень;
- фундаментальних положень.

Критеріальними ознаками кожного рівня пропонуються такі [306]:

Для *першого рівня*: модулі знань являють собою повний опис ООД, як систему уявлень про мету, план та засоби виконання дії в конкретній технологічній ситуації. Модулі цього рівня формують фахову позицію: знаю, як діяти.

Для *другого рівня*: модулі знань являють собою опис різновидів ООД стосовно загальноприйнятих у галузі типових конструкцій, технологічних прийомів, нормативних вимог тощо для типового переліку виробничих ситуацій. Узагальнено модулі цього рівня формують позицію: знаю, як діють інші.

Для *третього рівня*: модулі знань містять опис принципів конструкцій, технологічних рішень, розробки нормативів тощо для прийнятих умов функціонування галузі. Навчальну мету модулів цього рівня можна визначити таким чином: знаю, чому так діють інші.

Для модулів четвертого рівня характерним є опис фундаментальних та досвідних положень, що закладають підвалини фахової спрямованості технічної освіти: закони, категорії, загальні моделі, явища, властивості тощо. Узагальнено модулі знань цього рівня формують позицію: здатний (підготовлений) розуміти, чому і як відбуваються процеси фахової спрямованості.

Складові уміння	Предмет	Процедура	Засоби		Умови	Продукт	ОКХ
			Знаряддя	Методики			
<i>Рівні модулів</i>	<i>Модулі знань</i>						
1. Технологічний	Система умов для вирішення конкретної ситуації						ОПП
2. Типові технології, нормативи	Типові рішення, засоби тощо						
3. Принципи технологій, нормативів тощо	Базові принципи, моделі, критерії						
4. Фундаментальний	Закони, наукові та досвідні підвалини сфери діяльності						

Рис. 1.11. Повна система модулів знань (рекомендована практика)

Окрім зазначених критеріальних ознак за рівнями, мають місце ознаки за предметною спрямованістю (в широкому розумінні) модулів: за структурними складовими певних умінь, наведених в ОКХ. У результаті отримано повну таблицю модулів знань розміром 4x6 для будь-якого уміння.

Комплект критеріїв апробовано під час розроблення варіативної частини 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 ПР Л-О в АНС, відображено в табл. 1.11.

Таблиця 1.11

**Декомпозиція факторів професійного характеру, що впливають 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	$F_{exp}$

Застосування теорії катастроф до формалізації системи професійного навчання [291]. 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 [33].

Структура та динамічна складність системи ПН УПР розглядаються під час функціонування підсистеми ПН УПР на етапах професійного відбору, початкової підготовки та перепідготовки [32] авіаспеціалістів. Якщо структурна складність системи ПН УПР достатньо добре вивчена, то стійкість (або динамічна поведінка системи) важко піддається формальному аналізу, враховуючи складність системи [32; 68; 210]. Класична теорія стійкості в основному вивчає рівноважний стан систем та динаміку їх поведінки в малих оточеннях їх стану. Для дослідження таких завдань розроблено багато методів [210; 259]. До складної поліергатичної системи, якою є система УПР, класичний аналіз неможливий до застосування. Тут мова йде про структурну стійкість системи.

Основною метою є виявлення якісних змін у траєкторії руху у разі зміни структури самої системи. Дуже важливо знати як змінюються рівноважний стан та відповідні області тяжіння за невеликої зміни самої системи. Чи приведе така зміна до переміщення даного стану системи в іншу область тяжіння, представляє практичну цікавість, оскільки це привело б до різких якісних змін в подальшій поведінці системи. Одним з інструментів, що досліджують такі питання, є *теорія катастроф*. Згідно з цією теорією, поведінкою процесу, що досліджується, керує деяка потенційна функція, локальні мінімуми якої відповідають врівноваженим станам. При цьому необов'язково знати, яка це функція, головне – визнати факт її існування. При дослідженні системи професійного навчання авіаспеціалістів, припускаємо, що потенційною функцією в процесі навчання є якість навчання  $Q$ . Розглянутий вплив зміни частоти тренувань  $f$  і тривалості тренувань на тренажері  $t$  на якість навчання  $Q$ . В «*елементарній*» теорії катастроф припускається, що всі врівноважені виходи фіксовані, тобто фіксують значення вхідних параметрів, досягають врівноваженого стану, потім змінюють значення вхідних параметрів та знову чекають, доки не настане рівновага стану. Таким чином, визначається деяка поверхня врівноважених станів в просторі виходів. «*Катастрофа*» виникає тільки тоді, коли виникають стрибкоподібні зміни вихідних параметрів при безперервній зміні входів. Згідно з трансформаційною теорією *В.Ф. Венди* за незмінного характеру вправ у того, хто навчається, виникає стрибкоподібне зниження цікавості до вправ, що веде до зміни рівня якості навчання.

Для формального опису процесу стабілізації якості навчання за допомогою методів теорії катастроф розглянемо систему професійного навчання, динаміка якої належить до градієнтного типу, та максимізуємо деяку функцію якості навчання [32; 115]:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n; a_1, a_2, \dots, a_k),$$

де  $a_k$  – вхідні зміни системи (частота та тривалість тренувань);  $x_i$  – вихідні змінні системи (рівень якості навчання).

Значення  $x_i$  залежить від вибору параметрів керування  $a$ :

$$x_i^* = x_i(\bar{a}).$$

Розглядаючи стрибкоподібні зміни значень, що відбуваються в результаті плавної зміни параметрів  $a$ , приходимо до поняття «катастрофа». За плавної зміни частоти і тривалого часу тренувань може відбутися стрибок якості навчання в область високого чи низького рівня навчання (рис. 1.12). Різноманітність поверхні  $M$  відображає різні рівноважні рівні якості навчання, як функцію двох змінних (входів  $f$  та  $t$ ). Розглядаючи поверхню катастрофи  $M$ , яка містить дві складки, тобто так звану зборку, можна легко встановити, яким чином невеликі неперервні зміни вхідних параметрів можуть привести до різких змін якості навчання. Один з таких циклів  $ABCD$  зображений на рис. 1.12. Зменшення частоти тренувань  $f$  (при фіксованому часі тренувань) з точки  $A$  приводить до точки  $B$ , та при подальшому її зменшенні виникає стрибок, що веде до різкого зменшення рівня якості навчання (точка  $C$ ). Якщо тепер збільшувати частоту тренувань, система безперервно перейде в стан  $D$ , і далі виникне стрибок

рівня навченості до стану  $A$ , що характеризується як високий рівень якості навчання. Оскільки лінії складок точно відповідають тим комбінаціям вхідних параметрів ( $f$  і  $t$ ), які приводять до стрибкоподібних змін рівноважних станів, то теорія катастроф дозволяє геометрично описати зміни складових тяжіння, не використовуючи в як проміжний етап простір станів і дозволяє визначити, які області в просторі вхідних параметрів можуть привести до зміщення областей тяжіння.

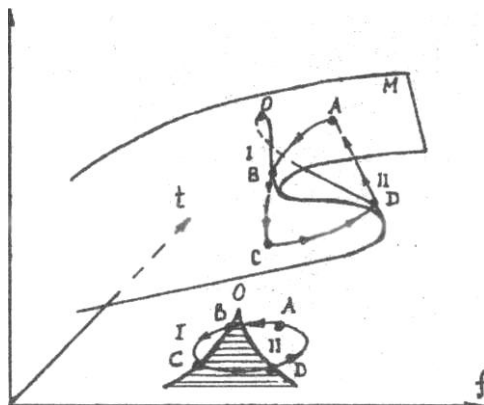


Рис. 1.12. Поверхня катастрофи в теорії процесу професійного навчання

Уявимо процес навчання як динамічну модель з використанням катастрофи типу зборки. Канонічне рівняння зборки для вихідної змінної  $x$  (рівня якості навчання) має такий вигляд [115; 210]:

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} = 4x_1^3 + a_1x_1 + a_2;$$

$$\frac{\partial f}{\partial a_1} = \frac{x_1^2}{2};$$

$$\frac{\partial f}{\partial a_2} = x_1;$$

$$f(x_1, a_1, a_2) = x_1^4 + a_1 \frac{x_1^2}{2} + a_2 x_1,$$

де  $a_1, a_2$  – вхідні параметри системи, тобто, частота та час тренувань відповідно;  $x_1$  – вихідний параметр системи – відповідає рівню якості навчання.

Звідси знаходимо систему рівнянь, яка моделює процес, що розглядається.

Критичні точки функції  $f$  відповідають  $x_i^*(a)$  і визначаються рівнянням:

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} = 4x_1^3 + a_1x_1 + a_2.$$

Різноманітність критичних точок  $M_f$  розміщується на площині  $x_1 = 0$  (проекція катастрофи  $M_f$  на площину входів).

Подальший аналіз функції  $f(x, a)$  при різних значеннях  $a$  дозволяє визначити критичні точки функції  $f$ . Моделювання процесу навчання таким чином дає змогу одержати детермінований діапазон, у межах якого гарантується якість навчання.

*Професійна підготовка пілотів на прикладі пілотів легкомоторної авіації, що застосовується в сільському господарстві [294].* Зростаючий інтерес до застосування в сільському господарстві легкомоторної авіації потребує додаткового розроблення методичних рекомендацій, які забезпечували б безпечну експлуатацію літальних апаратів на малих висотах [168; 294]. Необхідно визначити мінімальну безпечну висоту польоту ПК при опиленні

сільськогосподарських культур, ураховуючи ступінь підготовленості пілота. При проведенні опилення пілот витримує висоту  $H$ . Точка  $A$  – положення ПК в довільний момент часу. Потрапляючи у вертикальний низхідний потік повітря ПК втрачає висоту  $H_n$  [199], що дорівнює:

$$H_n = H_1 + H_2,$$

де  $H_1$  – втрата висоти, що пов'язана з бездіяльністю пілота;  $H_2$  – втрата висоти, що пов'язана з рухом ПК по інерції в напрямку дії вертикального потоку повітря.

Визначимо складові висоти  $H_n$ :  $H_1$  та  $H_2$ . Втрата висоти  $H_1$  залежить від часу бездіяльності пілота і швидкості вертикального потоку повітря:

$$H_1 = v_b t,$$

де  $v_b$  – вертикальна швидкість ПК;  $t$  – момент часу, коли пілот втрутився в управління.

Якщо на ПК, що горизонтально летить, діє вертикальний низхідний потік повітря, то вертикальна швидкість ПК буде змінюватися у відповідності з формулою:

$$V_b = \int_{t_0}^t g \Delta n dt,$$

де  $t_0$  – момент часу початку дії вертикального потоку,  $t_0 = 0$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\Delta n$  – прирощення перевантажень в частках прискорення сили за тяжіння  $g$ .

Визначивши інтеграл при  $t_0 = 0$  бачимо, що величина втрати висоти пов'язана з бездіяльністю пілота, залежить від квадрата часу, відколи пілот втрутився в керування. Це необхідно враховувати при оперативному прийнятті рішення:

$$H_1 = \Delta n g t^2.$$

Крім того, якщо пілот вжив заходи, направлені на усунення втрати висоти  $H_1$ , у ПК відбувається втрата висоти  $H_2$ :

$$H_2 = \frac{V_T^2 (1 - \cos q)}{g(n - \cos q)} = \frac{V_{г.п.}^2 + v^2 (1 - \cos \frac{V_{г.п.}}{\sqrt{V_{г.п.}^2 + v^2}})}{g(n - \cos \frac{V_{г.п.}}{\sqrt{V_{г.п.}^2 + v^2}})},$$

де  $V_T$  – наслідкова швидкість руху ПК при дії вертикального потоку повітря;  $q$  – кут нахилу наслідкового вектора швидкості;  $V_{г.п.}$  – швидкість горизонтального польоту;  $v$  – швидкість вертикального потоку.

Потрапляючи під вплив повітряного потоку, ПК зазнає знакозмінних перевантажень [72]:

$$\Delta n = \frac{1}{2} \rho \frac{S V_{г.п.}}{G} (v c_y^a + 2 c_y \Delta V),$$

де  $S$  – площа крил;  $V_{г.п.}$  – швидкість горизонтального польоту ПК;  $\rho$  – щільність повітря;  $G$  – польотна вага ПК;  $v$  – швидкість вертикального пориву;  $c_y^a$  – похідна коефіцієнту підйомної сили по куту атаки;  $\Delta V$  – величина зміни повітряної швидкості горизонтального польоту;  $c_y$  – коефіцієнт підйомної сили.

Алгоритм усунення пілотом відхилення ПК від заданої висоти показано на рис. 1.13.



Рис. 1.13. Алгоритм усунення пілотом відхилення ПК від заданої висоти

З формул (1.17–1.18) видно, що висота  $H_2$  та прирощення перевантаження не є функціями часу  $t$ . Тоді припускаємо, що  $H_2 = \text{const}$ ;  $\Delta n = \text{const}$ . Отже, мінімальна висота польоту залежить від квадрата величини часу, що складається з часу визначення пілотом збурювальної дії, вироблення і реалізації рішення. Розглянемо ергатичну систему керування «пілот – ПК» як лінійну динамічну систему з керуванням за відхиленням величини, що керується, тобто висотою  $\Delta H$ . Результати аналізу системи «пілот – ПК» на стійкість за критерієм Найквіста наведено в табл. 1.12.

Таблиця 1.12

Визначення амплітудно-фазових характеристик за різними коефіцієнтами підсилення пілота  $K$

W	0		0,1		1		10		100	
	$K=2$	$K=20$	$K=2$	$K=20$	$K=2$	$K=20$	$K=2$	$K=20$	$K=2$	$K=20$
$P(W)$	-0,2	-2	-20	-200	-20	-200	-0,1	-1	-0,002	-0,02
$Q(W)$	$-\infty$	$-\infty$	-2000	-2000	-20	-200	-0,1	-1	-0,0002	-0,002
wt, рад	0	0	-0,015	-0,015	-0,15	-0,15	-1,5	-1,5	-15	-15
wt, град	0	0	-0,859	-0,859	-8,594	-8,594	-85,94	-85,94	-859,44	-859,4

За коефіцієнта  $K=2$  маємо стійку систему із запасами за амплітудою та фазою  $\Delta L=0,75$  і  $\Delta \varphi=33^\circ$  відповідно. Зі збільшенням коефіцієнта  $K$  зменшуються запаси стійкості по фазі та амплітуді. Якщо  $K=18$  система перебуває на межі стійкості. Тобто за рівня підготовленості  $K > 18$  пілот уже не в змозі прийняти заходи щодо повернення ПК до заданої висоти у разі попадання в низхідний потік. Розроблені рекомендації щодо визначення максимальної величини розходження  $\Delta H$  заданої висоти від фактичної та мінімальної висот польоту літального апарату під час проведення обпилювання сільськогосподарських культур для різних рівнів підготовленості пілотів [168; 294].

Система оцінювання претендента на робоче місце при допуску до самостійної роботи [86; 170; 247; 311]. Для об'єктивного оцінювання претендента на робоче місце в автоматизованій системі відбору кадрів пропонується комплексний показник  $W_{ij}$  професійної придатності авіафахівців [299]. Відповідно до вимог «Правил видачі свідоцтв авіаційному персоналу» [16] комплексний показник  $W_{ij}$  складається з наступних складових оцінок:

1) середнього бала диплома про отримання початкової авіаційної освіти відповідно до стандартів освіти України –  $F_1$ ;

- 2) оцінки, відповідно до рівня володіння англійською мовою –  $F_2$ ;
- 3) комплексної зваженої оцінки, отриманою в результаті допуску до стажування та відповідно до «Правил видачі свідоцтв авіаційному персоналу» (вхідне тестування) –  $F_{31}$ ;
- 4) оцінки, отриманою в результаті проходження стажування претендента на конкретному робочому місці (вихідне тестування) [86; 322; 374] –  $F_{32}$ ;
- 5) оцінки, що відповідає психологічному відбору під час прийомі на роботу із застосуванням індивідуальних психологічних тестів, наприклад, за допомогою методів соціодіагностики [146; 273] –  $F_{41}$ ;
- 6) оцінки, отриманої під визначення сумісності особистості і групи із застосуванням, наприклад, методів соціометрії [182; 273] –  $F_{42}$ .

Комплексний показник професійної придатності авіаційних фахівців розраховується за формулою:

$$W_{ij} = f(F_1, F_2, F_{31}, F_{32}, F_{41}, F_{42}).$$

Адитивний і мультиплікативний варіанти агрегування комплексної оцінки  $W_{ij}$ :

$$W_j = \prod_{i=1}^n F_{ij}^{\omega_i}, i = 1, n, j = \overline{1, m};$$

$$W_j = \sum_{i=1}^n \omega_i F_{ij}, i = 1, n, j = \overline{1, m},$$

де  $\omega_i$  – вагові коефіцієнти, що визначаються за пріоритетами складових комплексного показника під час прийому на роботу;  $F_{ij}$  –  $i$ -та оцінка  $j$ -го кандидата.

Найбільш адекватним рішенням є мультиплікативне агрегування, оскільки виключається вибір претендента з нульовим показником. Результати автоматизованого оцінювання та відбору кадрів в авіапідприємстві можуть бути рекомендовані для проведення конкурсного відбору під час прийняття на роботу, атестації кадрів різних категорій, в тому числі диспетчерів, співробітників із забезпечення польотів.

### 1.3. Декомпозиція процесу прийняття рішень в аеронавігаційній соціотехнічній системі

#### 1.3.1. Декомпозиція умов виконання польоту і етапів розвитку польотних ситуацій

Згідно зі статистичними даними [283; 146; 156] 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, СППР тощо [359].

Метою керування є вироблення Л-О (керувальні елементи) таких оптимальних дій  $Y_u$ , щоб забезпечити ПК (ОК) задану програму польоту  $Y_3$  при різних збурювальних діях  $Y_{3б}$ , тобто змінах динамічної повітряної обстановки (ДПО), за допомогою каналу зворотного зв'язку  $Y_{3в}$ , 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).

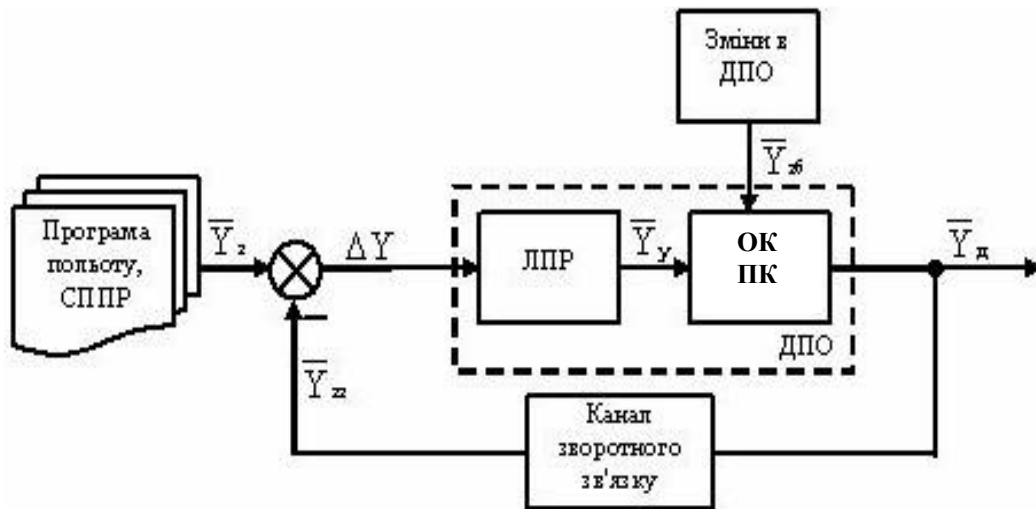


Рис. 1.14. Функціональна схема системи управління повітряним рухом

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) [224]. Класифікація причин, видів та наслідків позаштатних польотних ситуацій, а також імовірності їх виникнення наведено в додатку А. 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.

Відомо, що процес виконання польоту складається з п'яти основних етапів [33; 224]: зльоту, набору висоти, горизонтального польоту, зниження, посадки. На кожному з етапів можливе виникнення однієї з польотних ситуацій, представлених на рис. 1.15. 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 [21; 22; 24; 25; 146; 147; 185; 186]. Через це в близько 20% випадків екіпаж не має чітких інструкцій з парювання позаштатних ситуацій на борту ПК [146]. 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).

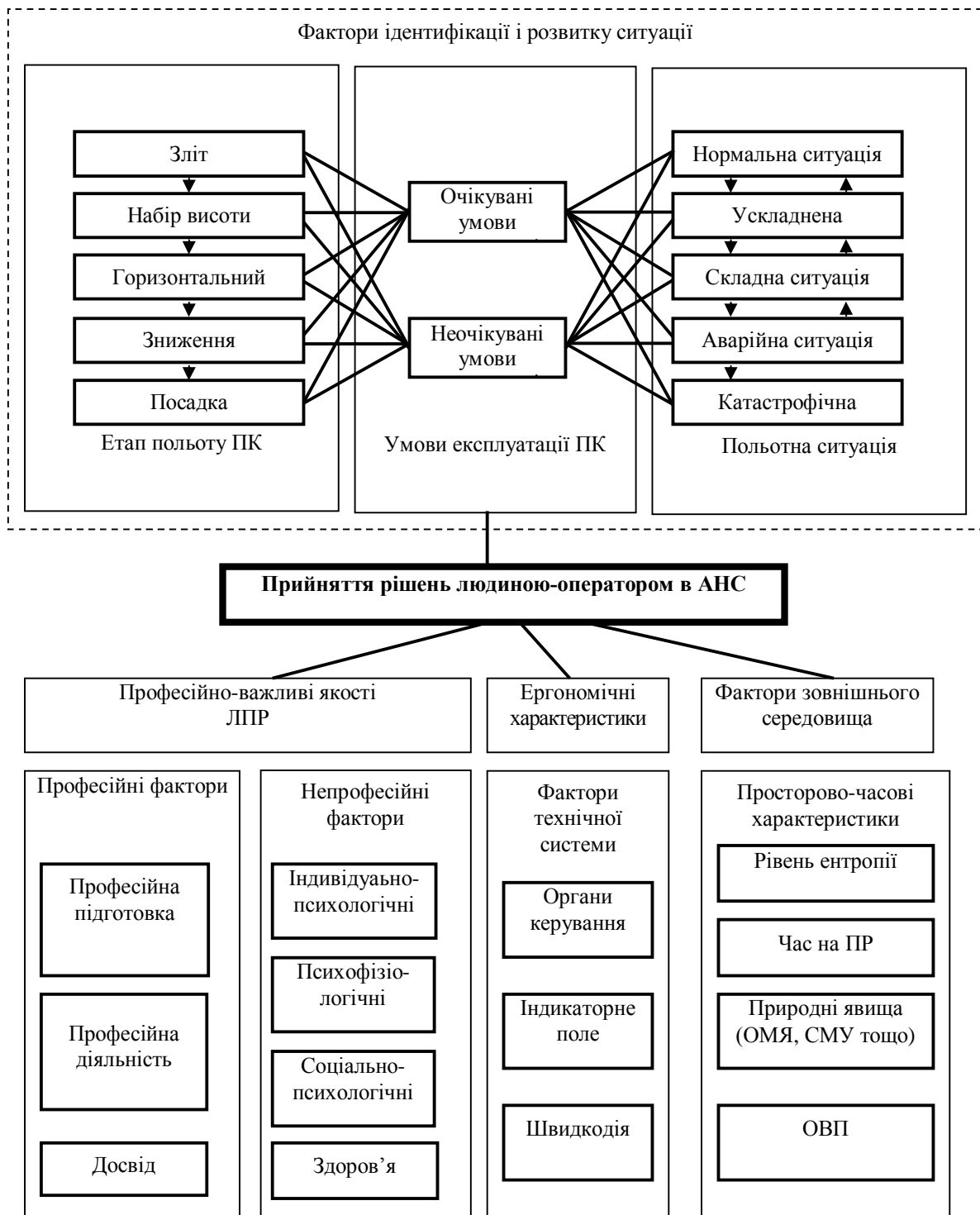


Рис. 1.15. Фактори, що впливають на ПР Л-О в АНС

Досі дослідження проблем ПР Л-О в АНС було пов'язано з вивчення специфіки та алгоритмів прийняття раціональних рішень [80]. 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 [175–180; 216].

### 1.3.2. Декомпозиція процесу прийняття рішень оператором аеронавігаційної соціотехнічної системи

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 [376].

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) [331; 359]. Зміст і формальний опис параметрів моделі, представленої на рис. 1.16, наводиться в табл. 1.13.

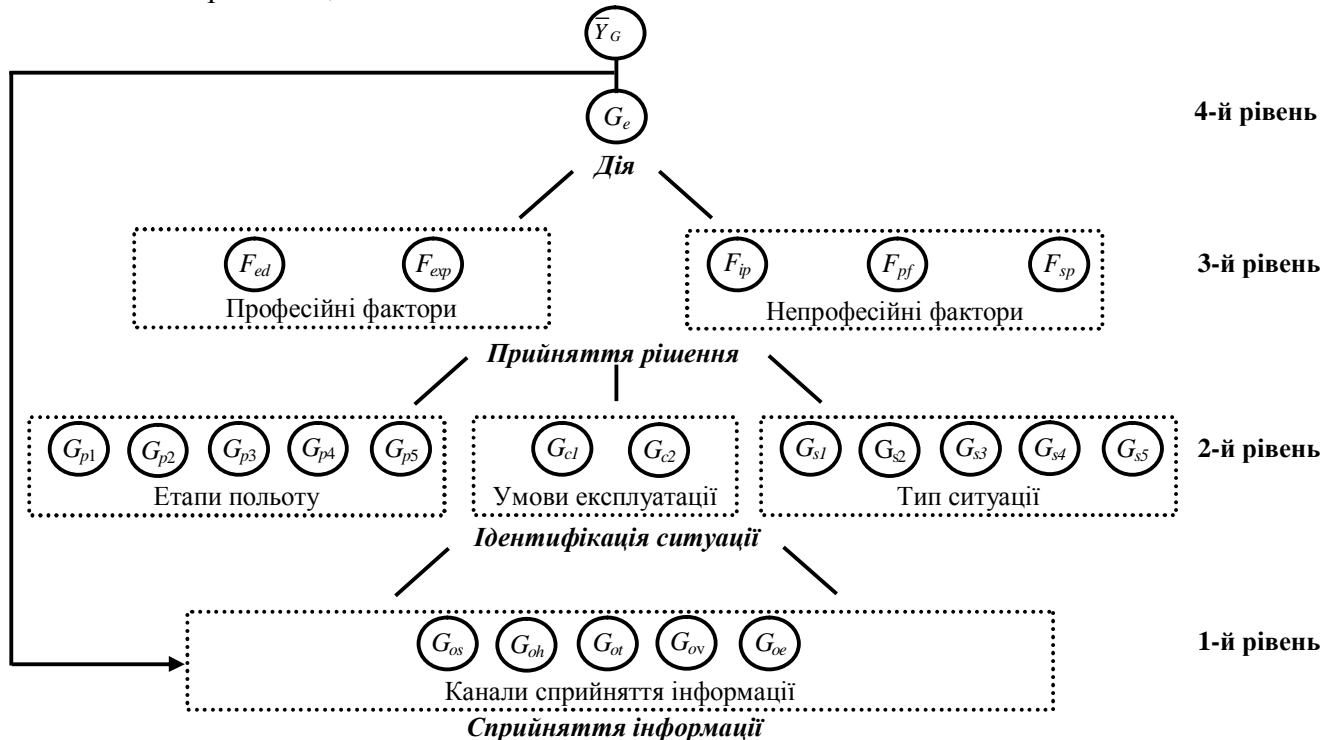


Рис. 1.16. Ієрархічна модель ПР Л-О в АНС



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	$\bar{G}_s = \{G_{s1}, G_{s2}, G_{s3}, G_{s4}, G_{s5}\}$
Прийняття рішення	Професійні фактори	$F_{ed}$ – знання, навички, вміння, здобуті Л-О в процесі навчання; $F_{exp}$ – знання, навички, вміння, здобуті Л-О в процесі професійної діяльності	$\bar{F}_p = \{F_{ed}, F_{exp}\}$
	Непрофесійні фактори	$F_{ip}$ – індивідуально-психологічні якості Л-О; $F_{pf}$ – психофізіологічні якості Л-О; $F_{sp}$ – соціально-психологічні якості Л-О; $G_e$ – набутий досвід	$\bar{F}_{np} = \{F_{ip}, F_{pf}, F_{sp}\}$
Дія	Дія	$\bar{Y}_G$ – вектор прогнозованих дій Л-О	$\bar{Y}_G = \{\bar{G}_o, \bar{G}_p, \bar{G}_s, \bar{G}_c, \bar{F}_p, \bar{F}_{np}, \bar{G}_e\}$

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 [92]. 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  $T$  [92]. У підсумку параметр  $Y$ , на основі якого прогноуються дії Л-О в неочікуваних умовах експлуатації ПК, є функцією всіх факторів, наведених вище:  $\bar{Y} = \{\tau, e_x, \bar{I}, \bar{K}, \bar{J}, \bar{\alpha}, \bar{\beta}, T\}$ .

Таким чином, розроблена модель ПР Л-О АНС в неочікуваних умовах експлуатації ПК з комплексним урахуванням факторів на кожному етапі процесу ПР дозволить своєчасно діагностувати потрапляння ПК в позаштатні польотні ситуації, прогнозувати їх розвиток і оперативно надавати відповідну допомогу оператору аеронавігаційної системи. Для комплексного врахування факторів, що впливають на Л-О АНС в очікуваних і неочікуваних

умовах експлуатації ПК, розроблено модель прийняття рішення Л-О (рис. 1.17), що містить блок «інформаційний процесор рефлексивного інтуїтивного вибору Л-О».

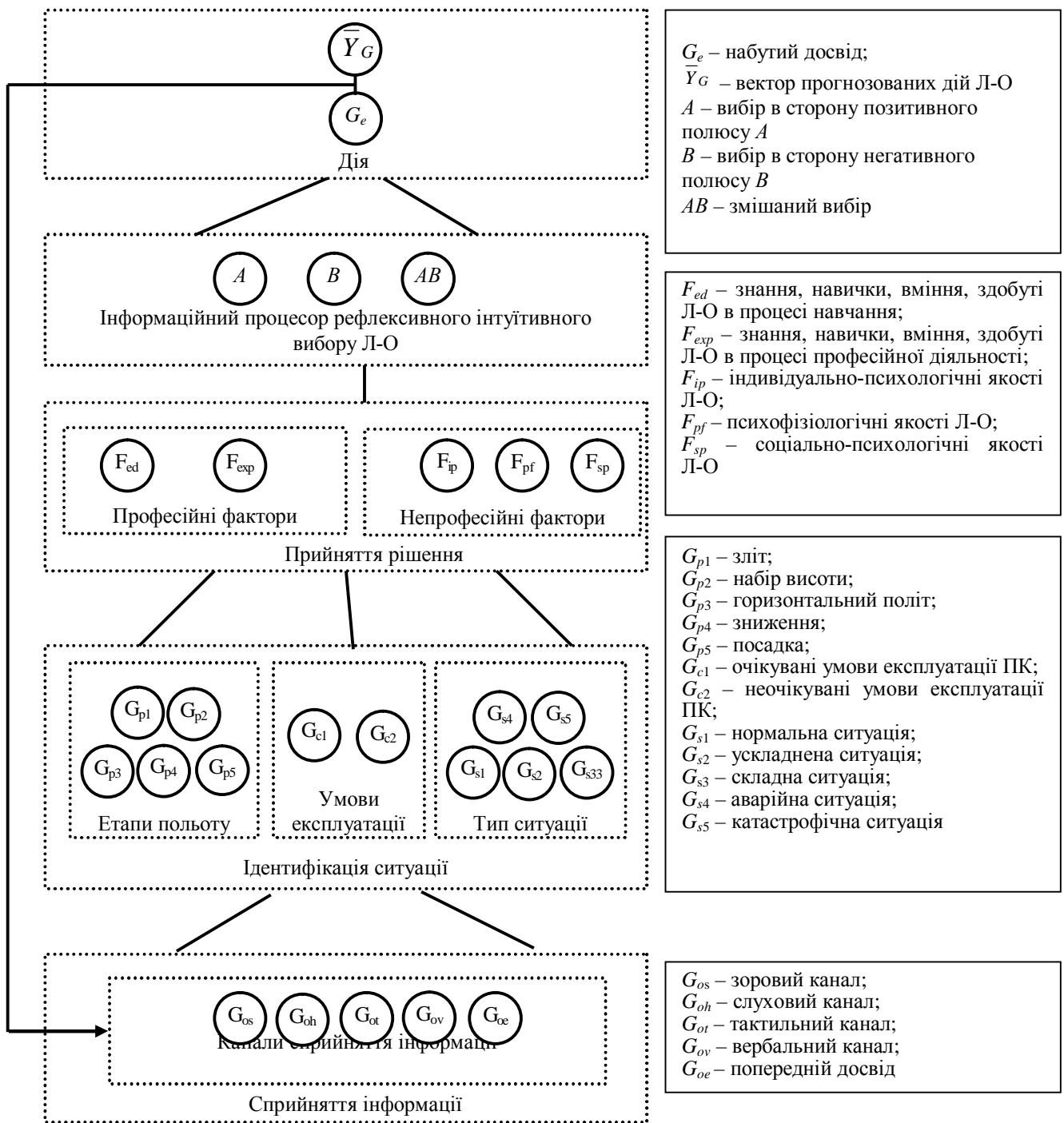


Рис. 1.17. Модель прийняття рішень людиною-оператором АНС

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.

Метою роботи є дослідження закономірностей діяльності операторів і їх колективів в Л-О в АНС як соціотехнічної системи, проведення декомпозиції етапів ПР, факторів, що впливають на Л-О, розроблення науково-методологічних основ технології ПР Л-О в очікуваних та неочікуваних умовах експлуатації ПК з урахуванням впливу індивідуально-психологічних, психофізіологічних та соціально-психологічних факторів, математичне моделювання поведінки

Л-О в екстремальних умовах. Запропоновані моделі дозволять своєчасно діагностувати і прогнозувати дії людини-оператора в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації повітряного корабля.

Процес ПР містить етап під назвою «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.

### **Висновки**

1. Проведений аналіз АНС як соціотехнічної системи.
2. Проведений аналіз процесу ПР Л-О АНС, дослідженні та система-тизовані групи чинників, які впливають на прийняття рішення оператором в позаштатних ситуаціях. Визначена система факторів непрофесійного характеру (індивідуально-психологічних, соціально-психологічних, психофізіологічних) та професійного характеру.
3. Проведена декомпозиція процесу ПР в аеронавігаційній соціотехнічній системі з урахуванням впливу на Л-О індивідуально-психологічних, соціально-психологічних, психофізіологічних факторів за допомогою інформаційного процесора рефлексивного інтуїтивного вибору Л-О в момент ПР.

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

### **2.1. Детерміновані моделі прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи**

#### **2.1.1. Мережеві графіки виконання дій оператором аеронавігаційної системи в разі виникнення особливого випадку в польоті з детермінованим часом виконання операційних процедур**

Технологія роботи авіаційного спеціаліста (пілота, диспетчера) відповідає чіткому алгоритму дій, що прописані у нормативних та регламентуючих документах [16–25; 260] (дод. А), тому для моделювання дій авіаспеціаліста, наприклад, в ОВП, можна застосовувати детерміновані моделі. Оскільки ОВП – це не одномоментна подія, а подія, що розвивається в часі, то для моделювання прийняття рішень Л-О відповідно до алгоритму дій у разі виникнення ОВП доцільно користуватися мережевими графіками. Мережеве планування – визначення оптимальної послідовності виконання операцій.

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).

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

- 1) оптимальну послідовність операційних процедур (дій) Л-О в разі виникнення ОВП;
- 2) критичний (оптимальний) час виконання операційних процедур (дій) Л-О на парюванні ОВП;
- 3) максимальний (мінімальний) час виконання операційних процедур (дій) Л-О в разі виникнення ОВП;
- 4) резерви часу для парювання ОВП тощо.

Методи мережевого планування та способи побудови мережевого графіка кружок – подія, дуга – робота наведено в працях [69; 70; 159; 251].

Дослідження математичних моделей операційних процедур (дій) Л-О в разі виникнення ОВП проведемо за допомогою алгоритму розрахунку мережевого графіка.

Параметри математичних моделей операційних процедур (дій) Л-О в разі виникнення ОВП наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

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

№ з/п	Позначки	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	$t_{pzij}$	Ранній термін закінчення операційної процедури (дії) $(i-j)$ , яку виконує Л-О в разі виникнення ОВП
9	$t_{pnij}$	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	$R_{pij}$	Повний резерв часу на виконання операційної процедури (дії) $(i-j)$ , яку виконує Л-О в разі виникнення ОВП
13	$R_{vij}$	Вільний резерв часу на виконання операційної процедури (дії) $(i-j)$ , яку виконує Л-О в разі виникнення ОВП
14	$L_k$	Критичний час на парировання ОВП
15	$L_{кр}$	Підкритичний час на парировання ОВП
16	Операція	Операційна процедура (дія)

### Алгоритм

**розрахунку мережевого графіку з детермінованим часом виконання операційних процедур (дій) у разі парировання 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  $t_{ij}$ :

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

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

$$T_{pj} = \begin{cases} t_{pzij} - \text{якщо до події підходить одна операція;} \\ \max\{t_{pzij}\} - \text{якщо до події підходить декілька операцій.} \\ \{i\} \end{cases}$$

*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  $T_{pi}$ :

$$T_{pi} = \begin{cases} t_{pnij} - \text{якщо від події відходить одна операція;} \\ \min\{t_{pnij}\} - \text{якщо від події відходить декілька операцій.} \\ \{j\} \end{cases}$$

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

$$R_i = T_{pi} - T_{ri}$$

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

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

6. *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  $L_{кр}$ .*

*Критичний шлях* – шлях, тривалість якого дорівнює критичному часу виконання операційних процедур (дій) Л-О в разі виникнення ОВП –  $L_k$ .

*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  $t[L_k]$  та довжиною будь-якого повного шляху  $t[L_i]$  дорівнює  $R[L_i] = t[L_k] - t[L_i]$ .

У праці [304] надано 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, 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, наприклад, у працях [77; 103; 114]. Найпоширеніші з них показано на рис. 2.1.

Найбільш поширеними причинами відмови двигуна, на думку членів екіпажів, є відмова паливної системи двигуна і відмова системи вихлопу [146]. Серед наслідків найчастіше трапляються відхилення від стандартного маршруту вильоту, відхилення по курсу, посадка «перед собою».

Ознаками відмови двигуна на зльоті є [25]:

- 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. 2.1. 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. 2.2).

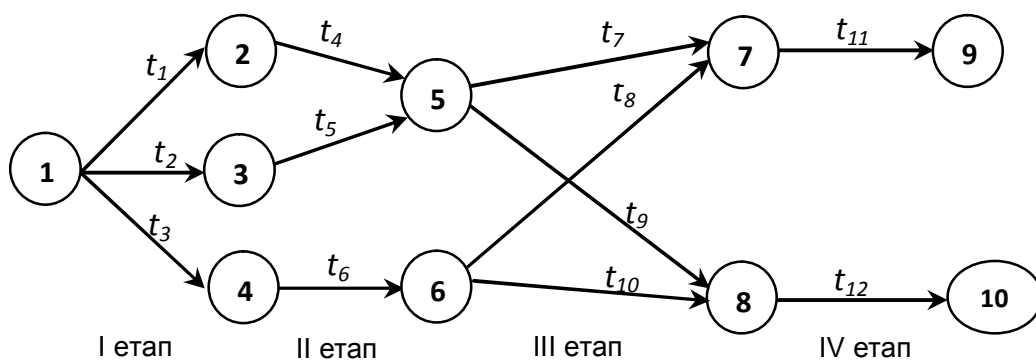


Рис. 2.2. Фрагмент мережевого графіка

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. 2.2, обумовлені інструкціями та керівництвами з льотної експлуатації дво- і багатодвигунових літаків. Римськими цифрами позначено етапи переходу з одного стану системи до іншого. Зміст етапів (табл. 2.3) включає дії екіпажу, обумовлені керівництвами з льотної експлуатації [24] і [25]. Час переходу системи з одного стаціонарного стану в інший було визначено методом експертних оцінок [58; 69; 70; 171; 173;

254]. Експертами були спеціалісти з авіаційного загону льотної академії та пілоти кількох авіакомпаній України.

Таблиця 2.2

**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 $V_1$
8	Командир ПК фіксує швидкість ПК менше $V_1$
9	Екіпаж отримав команду «Зліт продовжити»
10	Екіпаж отримав команду «Зліт припинити»

Таблиця 2.3

**Етапи роботи екіпажу**

Номер етапу	Зміст етапу	Регламентовані керівництвами з льотної експлуатації дії екіпажу
I	Виявлення відмови двигуна	Виявлення ознак відмови двигуна
II	Доповідь командиром ПК про відмову двигуна	У разі виявлення на будь-якому етапі зльоту ознак відмови двигуна бортмеханік (другий пілот) негайно доповідає командиром ПК
III	Аналіз командиром ПК 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. Цей час наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

**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 в аеропорту Нахичевань подано аналіз дій бортмеханіка, з якого випливає, що на розпізнавання факту відмови двигуна йому знадобилось 3 с. Водночас для фактичного аналізу показань приладів у такому випадку необхідно не менше 5 с [400], що підтверджується результатами експертного опитування.

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:

- у випадку найгіршого розвитку подій (графік А, рис. 2.3) з максимальним часом на операції – 94 с;
- середній час на виконання операцій (графік В, рис. 2.4), загальний час виконання комплексу робіт на 24,5% менший, ніж на графіку А;
- мінімальний час, необхідний для парирування ОВП, складає не менше 55 с (графік С, рис. 2.5).

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. 2.5.

Таблиця 2.5

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

	Дії бортмеханіка		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 напряду 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 [69]:

$$R_i = T_{ni} - T_{pi} \max_{\{i\}} \{t_{pnij}\} - \min_{\{j\}} \{t_{nnij}\},$$

де  $T_{ni}$  – пізній строк настання події;  $T_{pi}$  – ранній строк настання події;  $t_{pnij}$  – ранній строк початку операції;  $t_{nnij}$  – пізній строк початку операції.

Для мережевого графіка А дій екіпажу ПК у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт») резервний час на парирування особливого випадку в польоті дорівнює 21 с. Причому для кожної з робіт оптимального комплексу (рис. 2.5) жодним з експертів не було вказано часу на виконання, меншого, ніж на графіку.



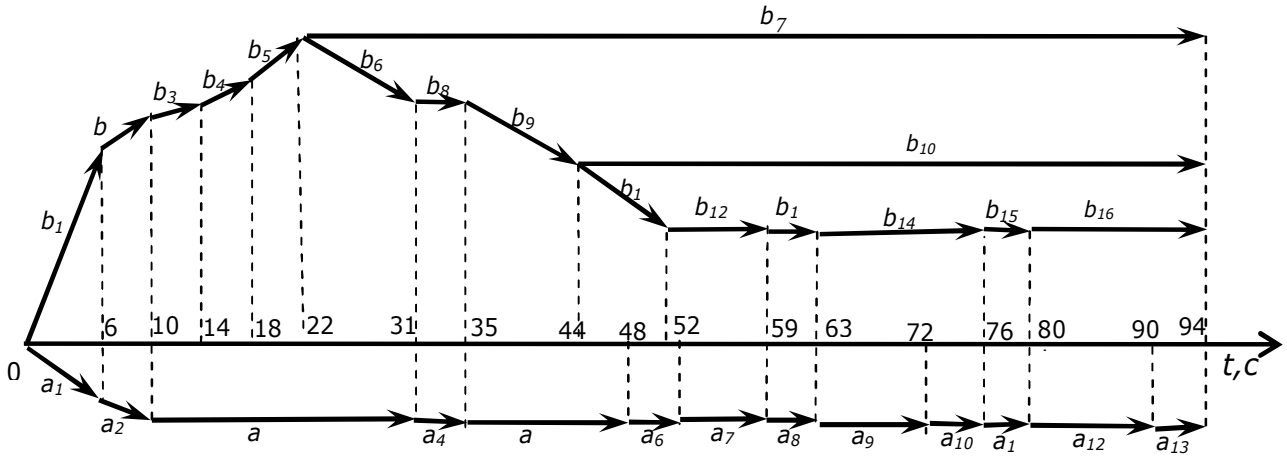


Рис. 2.3. Мережевий графік А дій екіпажу ПК у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт»)

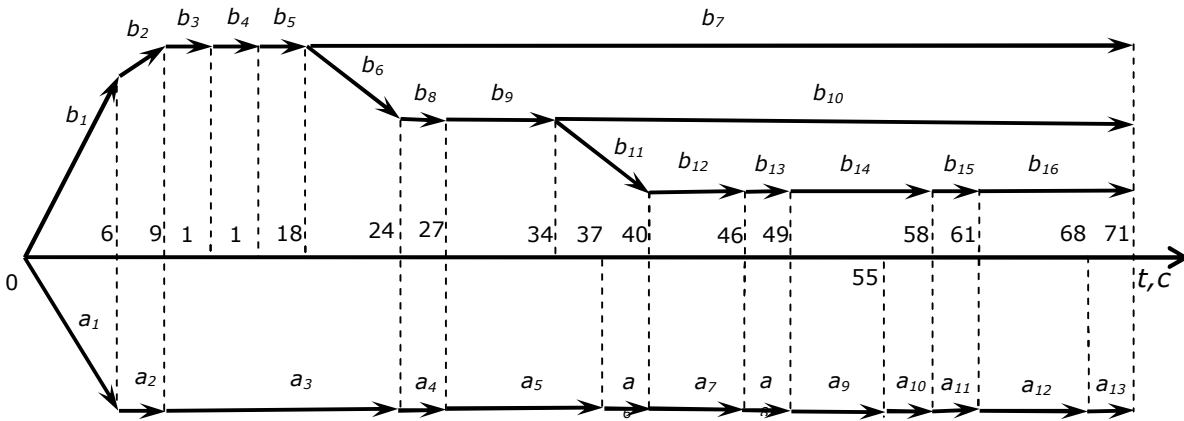


Рис. 2.4. Мережевий графік В дій екіпажу ПК у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт»)

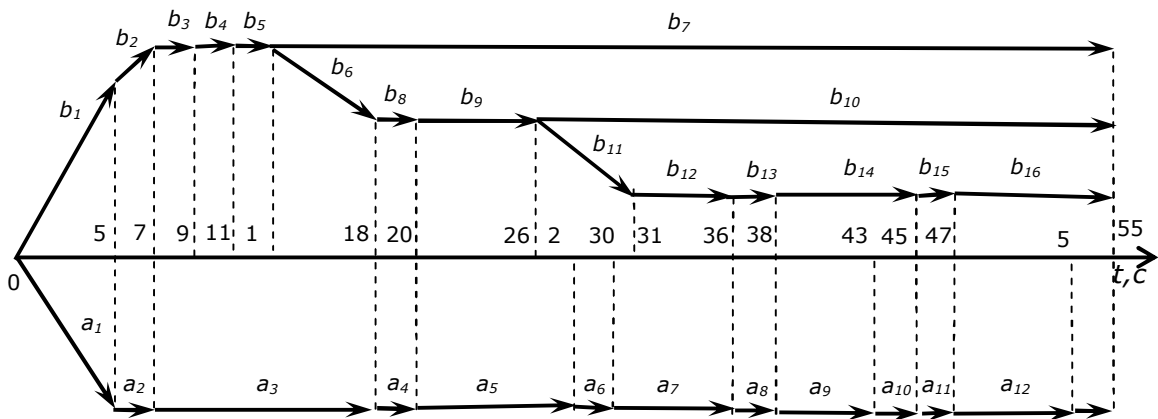


Рис. 2.5. Мережевий графік С дій екіпажу ПК у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт»)

Спрощений алгоритм побудови мережевого графіка викладено в програмі навчального курсу «Теорія управління» для спеціальності «Обслуговування повітряного руху» [167; 169].

Завдання 1. Планування виконання дій авіадиспетчера при виникненні ОВП. Детермінована задача.

1. Розробити алгоритм – порядок дій авіадиспетчера в разі виникнення ОВП або при ускладненні умов виконання польоту (відповідно до [20]).

2. Розробити блок-схему за алгоритмом дій авіадиспетчера в ОВП.

3. Розробити структурно-часову таблицю переліку дій авіадиспетчера в ОВП.

4. Визначити час на виконання операційних процедур (метод експертних оцінок, експеримент).

5. Побудувати мережевий графік виконання дій авіадиспетчера в ОВП.

Визначити критичний час виконання дій авіадиспетчера в ОВП і основні етапи ПР з парировання ситуації, що виникла (дод.Б).

**Мережевий аналіз ПР авіадиспетчером в разі виникнення ОВП за допомогою детермінованих моделей.** Відповідно до затверджених технологій роботи диспетчера [20] отримані детерміновані моделі ПР Л-О (диспетчером) у разі виникнення ОВП, наведені в табл. 2.6 та на рис. 2.6. Моделювання ПР авіадиспетчером та побудова детермінованої моделі у вигляді мережевого графіка здійснюються відповідно до технології дій фахівця з обслуговування повітряного руху з використанням принципів ASSIST (Acknowledge, Separate, Silence, Inform, Support, Time) [20] за «Типовими картами дій фахівців ОПП в аварійних та непередбачуваних ситуаціях» [20]. У разі виникнення аварійних ситуацій або непередбачуваних обставин фахівцям з ОПП 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.

Таблиця 2.6

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	$A_2$	$\{a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2n}\}$	$A_1$	$\{t_{21}, t_{22}, \dots, t_{2n}\}$
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	$A_6$	$\{a_{61}, a_{62}, \dots, a_{6n}\}$	$A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap A_4 \cap A_5$	$\{t_{61}, t_{62}, \dots, t_{6n}\}$

Отриманий критичний час виконання робіт диспетчером в ОВП, а саме: у разі відмови двигуна на зльоті, розгерметизації ПК, проблемі 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 [302; 304; 327; 338; 340; 341].

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»).

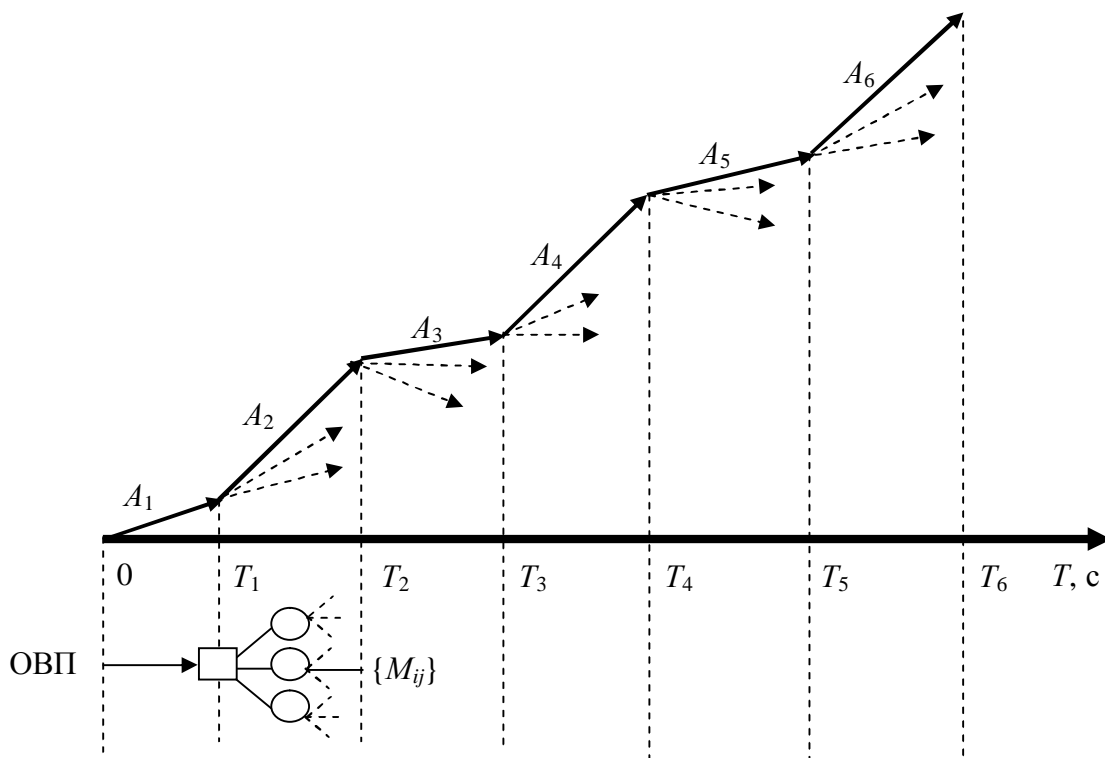


Рис. 2.6. Мережевий графік виконання дій диспетчером в ОВП:  $A_1$ – $A_5$  – роботи, які виконуються диспетчером згідно з затвердженою технологією;  $\{M_{ij}\}$  – множина сценаріїв розвитку польотних ситуацій відповідно до стохастичної моделі

У працях [13; 20] 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) авіадиспетчера, спрямованих на парировання ОВП (табл. 2.7). Ці дії необхідно виконати авіадиспетчеру у випадку відмови двигуна ПК на зльоті [13; 20; 21].

Таблиця 2.7

#### Перелік дій авіадиспетчера

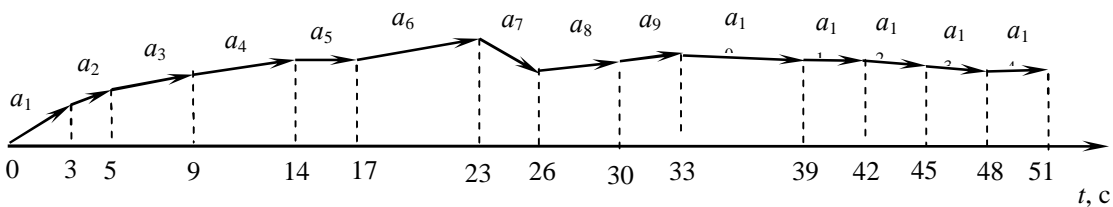
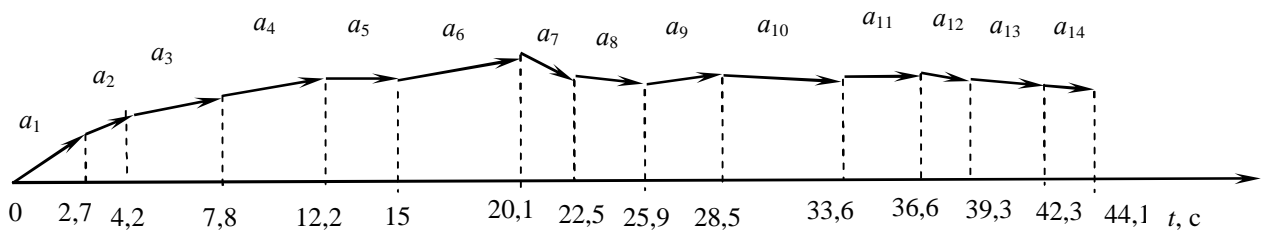
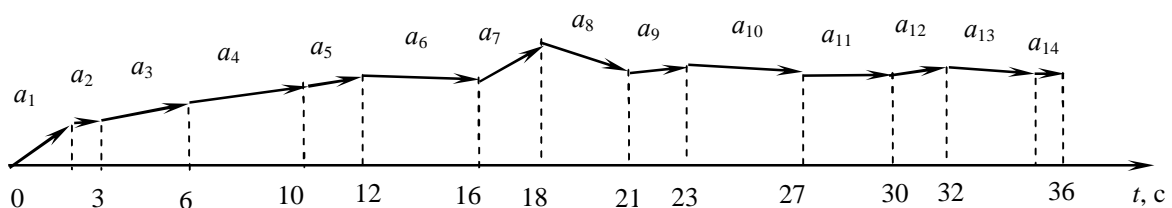
Шифр дії	Дія
$a_1$	Отримання від командира ПК доповіді про відмову авіаційного двигуна та прийняття рішення «Продовжити зліт»
$a_2$	Підтвердження командиром ПК отримання повідомлення про ОВП
$a_3$	Забезпечення ешелонування ПК відносно інших ПК
$a_4$	Виділення ПК простору для маневрів
$a_5$	Уведення режиму 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

Оскільки одним із завдань, яке може бути вирішеним за допомогою мережевого планування, є визначення тривалості кожної роботи окремо та комплексу робіт взагалі, то наступним кроком є визначення часу, необхідного на виконання кожної дії авіадиспетчера, наприклад, методом експертних оцінок [168; 171; 175; 176]. Експертами були провідні авіаційні фахівці. Результати аналізу часу на виконання дій авіадиспетчера в ОВП – відмова авіаційного двигуна на зльоті (командир ПК прийняв рішення «Продовжити зліт») – наведено в табл. 2.8.

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

Шифр дії	$t_{\min}, \text{с}$	$t_{\max}, \text{с}$	$t_s, \text{с}$	$\sigma, \text{с}$	$m_i$
$a_1$	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. 2.7). Цей час становить 51 с. Якщо взяти середній час, необхідний авіадиспетчеру на виконання усіх необхідних дій в ОВП, то отримаємо графік показаний на рис. 2.8. У цьому випадку цей час становить 44,1 с, що на 13,5% менший ніж в попередньому випадку. Якщо ж розглянути мережевий графік з мінімальним часом на виконання операційних процедур авіадиспетчером з парирування ОВП, то отримаємо графік, показаний на рис. 2.9. В останньому випадку час становить 36 с, що на 29,5% менший ніж у першому, і на 18% менший ніж у другому випадку.

Рис. 2.7. Мережевий графік з  $t_{\max}$ Рис. 2.8. Мережевий графік з  $t_s$ Рис. 2.9. Мережевий графік з  $t_{\min}$

## 2.1.2. Мережеві графіки виконання дій оператором аеронавігаційної системи в разі виникнення особливого випадку в польоті з імовірнісним часом виконання операційних процедур

Розглянуті мережеві графіки (рис. 2.7–2.9) 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 [135]. 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:

$$T = \sum_{i=1}^{14} t_i. \quad (2.1)$$

Функція (2.1) 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 (2.1) 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.

Математичне очікування величини  $T$  буде дорівнювати:

$$m_t = \sum_{i=1}^{14} m_{t_i} = 44,1,$$

де  $m_{t_i}$  – математичне очікування часу виконання  $i$ -ї дії.

Її середнє квадратичне відхилення:

$$\delta_t = \sqrt{\sum_{i=1}^{14} \delta_{t_i}^2} = 1,95,$$

де  $\delta_{t_i}^2$  – середнє квадратичне відхилення часу виконання  $i$ -ї дії.

Тоді ймовірність виконання комплексу дій авіадиспетчера в особливому випадку в польоті знайдемо за формулою:

$$P(T < 51) = \Phi\left(\frac{51 - 44,1}{1,95}\right) + 0,05,$$

де  $\Phi$  – функція Лапласа.

У табл. 2.8 маємо експертні оцінки тривалості кожної дії авіаційного диспетчера: мінімальну ( $t_{\min}$ ), максимальну ( $t_{\max}$ ) та дисперсію ( $\sigma_{ij}^2$ ). Нехай необхідно парирувати особливий випадок **B**

польоті за  $T_d=47$  с. Потрібно обчислити ймовірність того, що диспетчер вкладеться в цей відрізок часу.

Для кожної з робіт  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{14}$  визначимо очікувану тривалість виконання за формулою:

$$t_{очij} = (3t_{minij} + 2t_{maxij}) / 5.$$

Припустимо, що існує лише незначна ймовірність того, що очікуваний час виконання дій  $t_{очij}$  буде виходити за межі значень  $t_{minij}$  і  $t_{maxij}$ , і що співвідношення показників всередині ряду залежить від  $\beta$ -розподілу, щільність якого має вигляд:

$$f_{ij}(t) = \begin{cases} k_{ij} (t - t_{minij})^2 (t_{maxij} - t), & \text{якщо } t_{minij} < t < t_{maxij}; \\ 0, & \text{якщо } t \geq t_{maxij}, \end{cases}$$

де  $t$  – реальний час виконання дії;  $k_{ij}$  – константа, що визначається з умови  $\int_{t_{minij}}^{t_{maxij}} f_{ij}(t) dt = 1$ .

Розроблено алгоритм розрахунку мережевого графіка з імовірнісним часом виконання дій Л-О в разі виникнення ОВП [135].

### 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. 2.9.

Таблиця 2.9

**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

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

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

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 ймовірність 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. Ймовірності виконання авіадиспетчером комплексу дій у разі поступового зменшення часу на його виконання  $T$  на 1 с наведено в табл. 2.10.

Таблиця 2.10

**Ймовірності 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.

Порівняння критичного часу на виконання операцій екіпажем ПК і диспетчером у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт») наведено в табл. 2.11.

Таблиця 2.11

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

Мережевий графік	Час на виконання операцій	$T_{кр}$ , с
Мережевий графік дій екіпажу ПК у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт»)	Максимальний час на виконання операцій	94
	Середній час на виконання операцій	71
	Мінімальний час на виконання операцій	55
Мережевий графік дій диспетчера у випадку відмови двигуна на зльоті (прийнято рішення «Продовжити зліт»)	Максимальний час на виконання операцій	51
	Середній час на виконання операцій	44,1
	Мінімальний час на виконання операцій	36

У додатку Б представлено детерміновані моделі PR Л-О АНС у разі виникнення ОВП на прикладах зіткнення ПК з птахом і обмерзання ПК.

Таким чином, формалізація дій Л-О (пілота, диспетчера) в ОВП за допомогою апарату мережевого планування і управління дозволяє визначитися з оптимальною послідовністю та часом виконання процедур на парирування ОВП. Застосування наданої методики в СППР авіаційного оператора при дії в ОВП дасть змогу якісно і кількісно аналізувати позаштатні польотні ситуації з метою підвищення безпеки польотів. В неочікуваних умовах експлуатації ПК процес упорядкування з розвитком польотної ситуації змінюється і має місце динамічна стохастична задача впорядкування дій людини, що приймає рішення в позаштатних польотних ситуаціях.

## 2.2. Моделі прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи в умовах ризику

### 2.2.1. Якісний аналіз стохастичних моделей прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи

В умовах розвитку та вдосконалення технологій виникає проблема людського фактора в керуванні складними процесами, яка для авіації є гострішою, ніж для більшості небезпечних

для життєдіяльності галузей. Це пов'язано перш за все з жорсткими вимогами, що ставляться до АЕС завдяки високій швидкості процесів, які відбуваються, та їх потенційній небезпеці для життя і здоров'я людей.

Моделі ПР Л-О в АЕС як соціотехнічній системі [9; 373], до якої належить АНС [272; 357], 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 [101] і застосовуються для оцінювання дій оператора в автоматизованих навчальних системах [91], 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 [42]. 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 дослідження системи «людина-оператор – повітряний корабель – середовище» (Л-О – ПК – С) представимо її у вигляді динамічної моделі, що має вхід  $X_{\text{вх}}(t)$  і вихід  $X_{\text{вих}}(t)$  (рис. 2.10) і включає технічну частину (ПК), авіаційний персонал (пілот, диспетчер, Л-О) і середовище (С), що взаємодіють між собою за відповідними алгоритмами і технологіями (Т). До середовища належать як фактори, що впливають на ПК (наприклад, метеоумови), так і фактори, що впливають на Л-О, що приймає рішення. Технології та алгоритми строго регламентовані відповідними нормативами – Керівництвом з льотної експлуатації, технологією роботи диспетчера тощо.

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 потокових станів і переходів), дерев подій, а також функціональних мереж стохастичної структури [69; 70; 257; 258; 269]. Уперше діаграми причинно-наслідкових зв'язків були подані Х. Уотсоном для оцінювання систем надійності та безпеки експлуатації американських ракетних систем [9]. Існують декілька різновидів діаграм впливу типу дерево: дерево наслідків; дерево подій; дерево розвитку ситуацій; дерево рішень тощо [364].

Для моделювання умов розвитку польотних ситуацій доцільно використовувати орієнтовані графи, які характеризуються певним набором станів АНС та можливими переходами між ними (рис. 2.11). 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 описуються множиною ймовірностей (табл. 2.12).



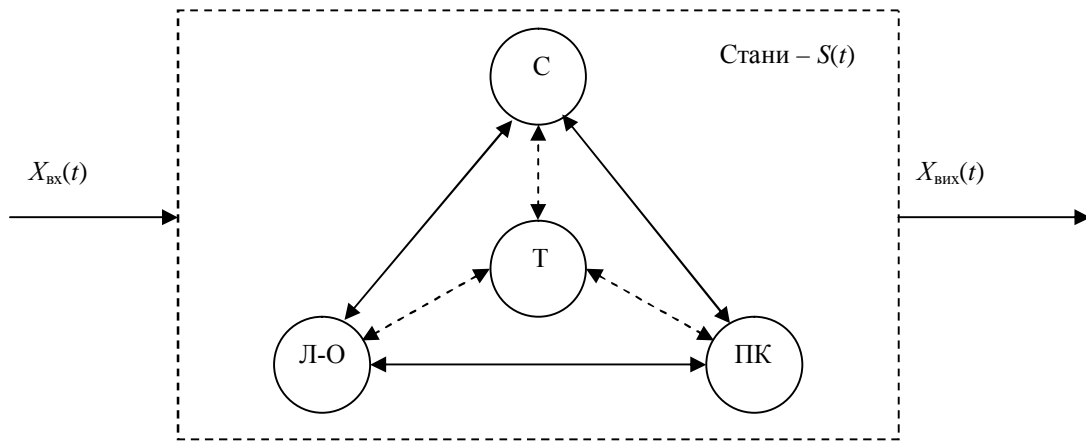


Рис. 2.10. Модель системи «людина-оператор – повітряний корабель – середовище»:  $X_{вх}(t)$  – вхідні дії на систему (задані функції, встановлені інтервали часу аналізу стійкості системи);  $S(t)$  – стани системи – умови виконання польоту ПК (нормальна ситуація, ускладнення у мов польоту, складна ситуація, аварійна ситуація, катастрофічна ситуація);  $X_{вих}(t)$  – вихідні впливи системи на зовнішнє середовище (нормальне функціонування, економічний збиток, інцидент, поломка авіаційної техніки, аварія, катастрофа)

Таблиця 2.12

**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

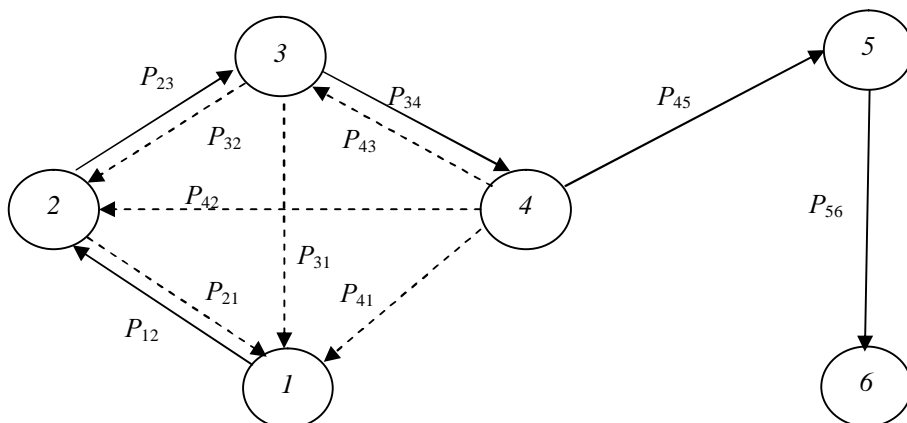


Рис. 2.11. Граф зміни станів польотних ситуацій: 1 – нормальна ситуація; 2 – ускладнення умов польоту; 3 – складна ситуація; 4 – аварійна ситуація; 5 – катастрофічна ситуація; 6 – стан після катастрофи

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.

Семантична модель типу *дерева події*  $P$  (рис. 2.12) зазвичай включає одну головну подію – ОВП, яка сполучається за допомогою конкретних логічних умов з проміжними (гілки А, Б, В) і вихідними (листя  $\overline{1,n}$ ;  $\overline{1,m}$ ;  $\overline{1,k}$ ) передумовами, які зумовили в сукупності її появу.

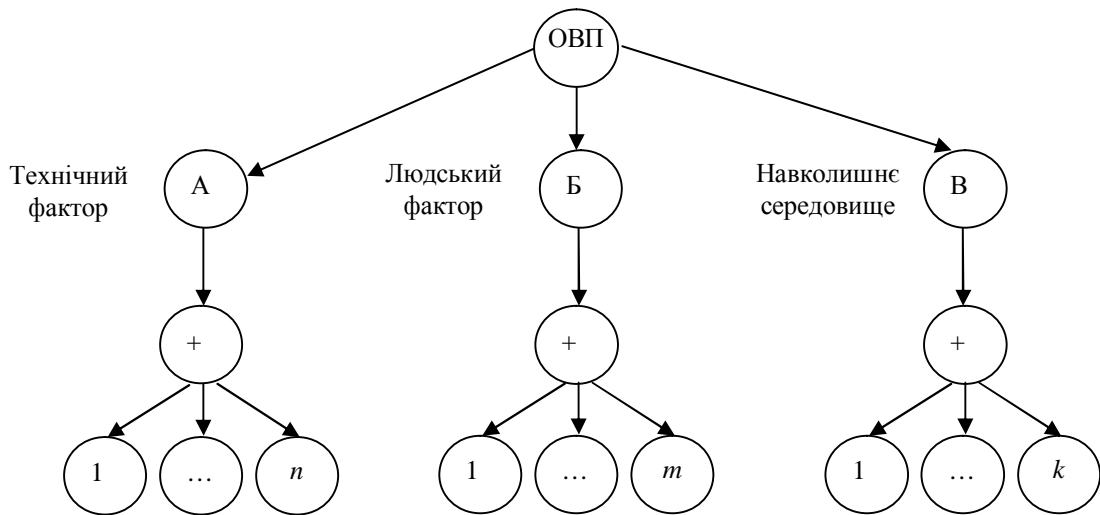


Рис. 2.12. Дерево події типу  $P$

Наприклад, у разі ОВП типу відмови двигуна, технічними факторами А є потрапляння стороннього предмета в двигун (гайки, викрутки, дрібних каменів), поломка двигуна й інші, людським фактором Б – навмисні і ненавмисні дії авіаційного персоналу, навколишнім середовищем В – метеоумови, орнітологічна обстановка, стан ЗПС, соціальні умови тощо.

*Дерево подій типу S* (рис. 2.13) як центральну подію також завжди виражає будь-який ОВП (наприклад, відмову двигуна), але як гілки (А, Б, В, Г) – сценарії розвитку ОВП, а листя – можливі наслідки його розвитку ( $q_i$ ). На відміну від дерева подій типу  $P$  дерево подій типу  $S$  не має логічних вузлів <і>, <або>. По суті, така семантична модель є імовірнісним графом, побудованим таким чином, щоб сума ймовірностей кожного розгалуження становила одиницю.

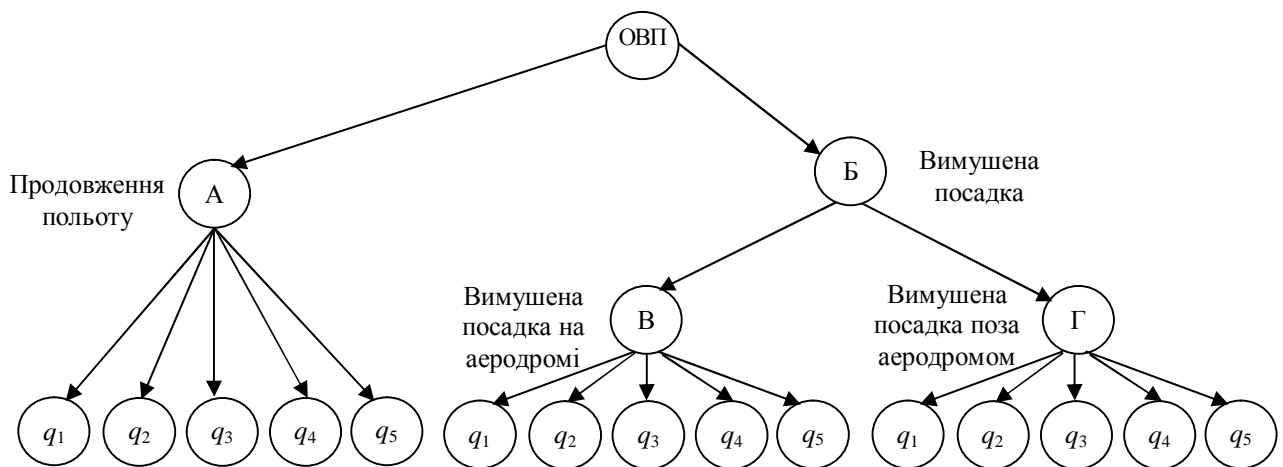


Рис. 2.13. Дерево подій типу  $S$  у разі відмови двигуна:  $q_1$  – економічний збиток;  $q_2$  – інцидент;  $q_3$  – поломка авіаційної техніки;  $q_4$  – аварія;  $q_5$  – катастрофа

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 ОВП мережі стохастичної структури типу Петрі і GERT [52; 53; 269].

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* [52; 53; 56], 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 [56; 226–229; 239–243; 318; 348; 357; 361–364; 369; 389; 390]. Структурно-логічні моделі ПР Л-О  $M_{\text{ПР}}$  та розвитку польотної ситуації  $M_c$  описуються безліччю можливих альтернатив ПР Л-О, розвитку ситуації  $\bar{S}$ , а також ймовірних результатів  $\bar{Q}$  дерева рішень (рис. 2.14).

Модель ПР Л-О  $M_{\text{ПР}}$  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  $\bar{Q} = \{q\}$ .

Етапи розроблення моделей у разі виникнення пожежі, відмови двигуна і розгерметизації на борту ПК [302; 357; 389]:

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  $M_{\text{ПР}}$  та розвитку польотної ситуації  $M_c$  (мережеві графіки, дерева подій, дерева рішень).
5. Програмна реалізація моделей.

Таким чином, 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.

## 2.2.2. Прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи в умовах стохастичної невизначеності

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 ймовірнісних 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 ймовірностей  $p_j$  наслідків  $y_j$  стратегій управління ( $j = \overline{1, m}$ ;  $i = \overline{1, n}$ ). Методологічною основою вирішення задач ПР є теорія ігор [190].

Методи оцінювання помилкових дій оператора авіаційної ергатичної системи за допомогою формалізації ризику [299] можна звести до вигляду табл. 2.12.

## Методи оцінювання ризику виникнення небажаних наслідків

Входи стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП			
Критерій оцінювання	Формалізована оцінка ризику	Параметри оцінювання ризику	Умови застосування
Очікуваного значення	$R^* = \min \{R_i\} = \min \left\{ \sum_{j=1}^m g_{ij} p_j \right\}$	$R_i$ – очікувані витрати для рішення $A_i$ ; $p_j$ – імовірність впливу $j$ -го фактора; $g_{ij}$ – витрати, пов'язані з вибором альтернативи $A_i$ при впливі фактора $\lambda_j$ ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ )	Відома ймовірність розподілу даних
Байєса	$R^* = \min \{R_i\} = \min \left\{ \sum_{j=1}^m g_{ij} p_j \right\};$ $p(\lambda_j   Z) = \frac{p(Z   \lambda_j) p(\lambda_j)}{p(Z)};$ $p(Z) = \sum_{j=1}^m p(Z   \lambda_j) p(\lambda_j)$	$R_i$ – очікувані витрати для рішення $A_i$ ; $p_j$ – імовірність впливу $j$ -го фактора; $g_{ij}$ – витрати, пов'язані з вибором альтернативи $A_i$ при впливі фактора $\lambda_j$ ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ ); $p(\lambda_j)$ – апіорні оцінки ймовірностей впливу розглянутих факторів; $p(Z)$ – імовірність отримання нової інформації на просторі результатів спостережень $z = \ z_j\ $ ; $p(Z \lambda_j)$ – імовірність надходження інформації $z$ за умови впливу фактора $\lambda_j$	Відома ймовірність розподілу даних
Очікуваного значення – дисперсія	$R^* = \min \{R_i - f^0 \delta_i^2\} =$ $= \min \left\{ R_i - f^0 \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m (g_{ij} p_j - R_i)^2 \right) \right\}$	$R_i$ – очікувані витрати для альтернативи $A_i$ ; $f^0 = \text{const}$ – рівень несхильності до ризику; $\delta_i^2$ – дисперсія витрат для альтернативи $A_i$ ; $n$ – число факторів, що впливають на результат ПР; $p_j$ – імовірність впливу $j$ -го фактора; $g_{ij}$ – витрати, пов'язані з вибором альтернативи $A_i$ при впливі фактора $\lambda_j$ ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ )	Відома ймовірність розподілу даних
Мінімаксий	$L_{mm} = \min_{A_i} \left\{ \max_{\lambda_j} g_{ij}(A_i, \lambda_j) \right\};$ $R_i = \max_{\lambda_j} g_{ij}(A_i, \lambda_j) - L_{mm}$	$L_{mm}$ – оцінна функція за мінімаксим критерієм для матриці витрат; $g_{ij}$ – витрати, що відповідають альтернативі $A_i$ і зовнішнім умовам $\lambda_j$ , які обумовлюють наслідок прийнятого рішення; $R_i$ – додаткові витрати у випадку вибору замість оптимальної за даним критерієм будь-якої іншої стратегії $A_i$	Нестохастична невизначеність
Максимінний	$R^* = \max_i (Z_{mm} - \min_j y_{ij}) -$ $\min_i (Z_{mm} - \min_j y_{ij}) = Z_{mm} -$ $- \min_i \min_j y_{ij}$	$Z_{mm}$ – оціночна функція за максимінним критерієм; $y_{ij}$ – наслідок рішення, який відповідає стратегії $A_i$ під час впливу зовнішніх умов $\lambda_j$	Нестохастична невизначеність
Максимальної правдоподібності	$R''(Y, A_0, A_1) \gg R'(Y, A_0, A_1)$	$Y$ – простір спостережень; $A_0$ і $A_1$ – альтернативні рішення	Нестохастична невизначеність
За допомогою нечіткої логіки	$R = \mu(P_j) \times \mu(L_{ij})$	$\mu(P_j), \mu(L_{ij})$ – функції належності нечітких множин $P_j$ і $G_{ij}$	Нестохастична невизначеність

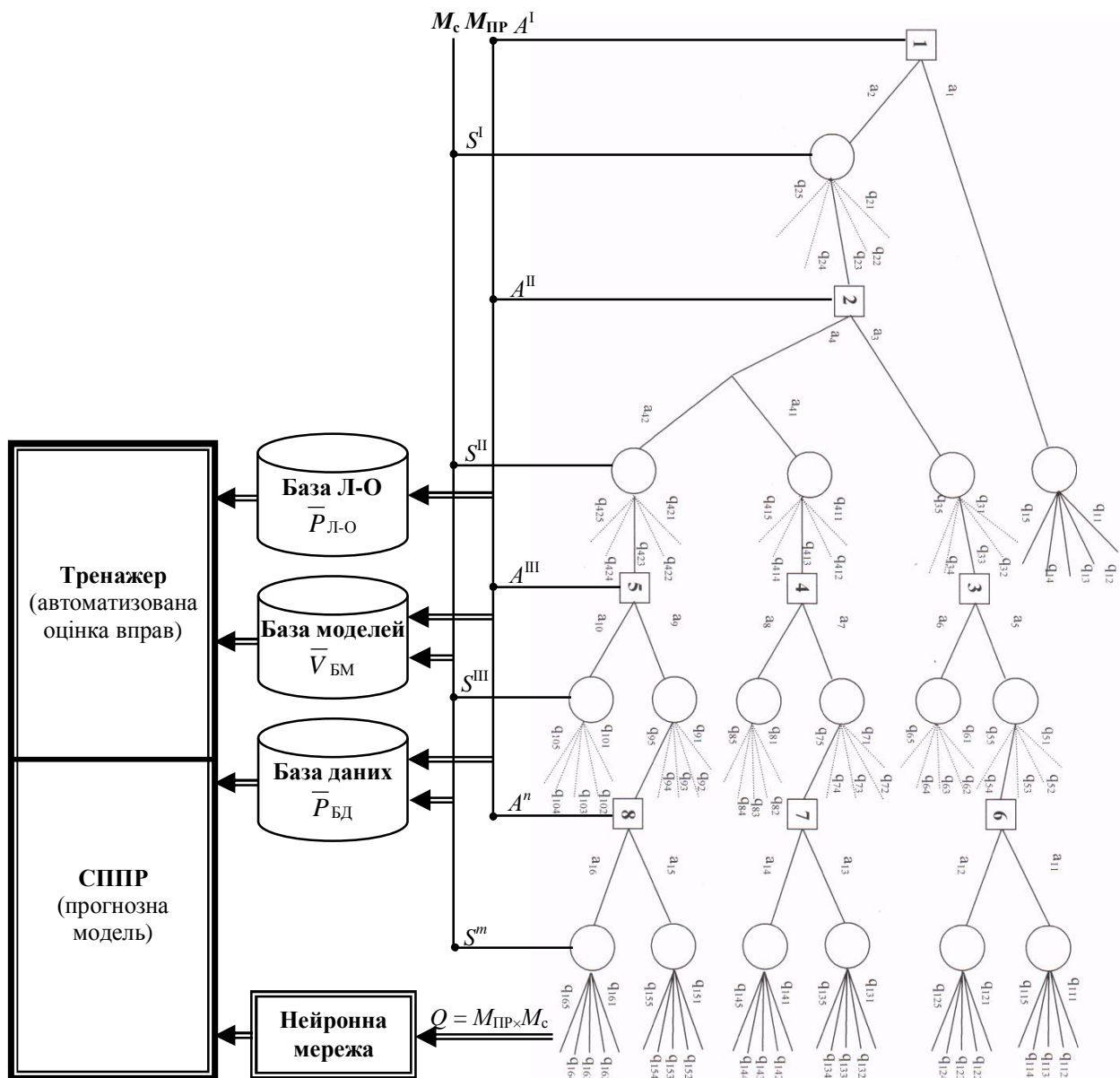


Рис. 2.14. Дерево ПР в задачі вибору оптимального варіанта завершення польоту, ПР щодо: **1** – можливості продовження польоту до аеродрому призначення і оцінка критичного часу польоту ПК; **2** – типу потенційного місця посадки (аеродром, підбраний з повітря або попередньо визначений майданчик); **3, 4, 5** – технічну придатність потенційного місця посадки; **6, 7, 8** – можливості посадки в наявних метеоумовах;  $\circ$  – імовірні наслідки реалізації Л-О певного рішення

**Критерій очікуваного значення.** Для оцінки ризику виникнення небажаних наслідків в умовах стохастичної невизначеності найчастіше використовується критерій очікуваного значення [257; 290; 299], 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. 2.13. 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 вибіркового (або експериментального) 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 [191]. Наприклад, в табл. 2.14 наведено параметри стохастичної моделі ПР Л-О в

ОВП при спрацюванні світлового табло про пожежу двигуна. Критерій очікуваного значення також підходить для оцінювання техногенного ризику [53].

Таблиця 2.13

Параметри стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП при спрацюванні світлового табло про несправність об'єкта			
Входи стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП			
$x_1$	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
Критерій ефективності – величина потенційного збитку при ПР Л-О в ОВП			
$G_{11}$	Збитки при діях Л-О вимкнути об'єкт (дійсне спрацювання табло)	$G_{12}$	Збитки при діях Л-О вимкнути об'єкт (хибне спрацювання цього табло)
$G_{22}$	Збитки при діях Л-О не вимкати об'єкт (хибне спрацювання табло)	$G_{21}$	Збитки при діях Л-О не вимкати об'єкт (дійсне спрацювання табло)
Виходи стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП – можливі альтернативні рішення Л-О при ОВП ( $A_1$ – вимкнути об'єкт; $A_2$ – не вимкати об'єкт)			
$A_1$	Вимкнути об'єкт	$A_2$	Не вимкати об'єкт
Очікуваний ризик при ПР Л-О в ОВП			
$R(A_1)$	Ризик у випадку прийняття пілотом рішення про відключення об'єкта	$R(A_2)$	Ризик у разі прийняття пілотом рішення не відключати об'єкт
$R(A_1) = G_{11}(P(x_1/Y_1)P(Y_1) + P(x_2/Y_1)P(Y_1)) + G_{12}(P(x_1/Y_2)P(Y_2) + P(x_2/Y_2)P(Y_2))$		$R(A_2) = G_{21}(P(x_1/Y_1)P(Y_1) + P(x_2/Y_1)P(Y_1)) + G_{22}(P(x_1/Y_2)P(Y_2) + P(x_2/Y_2)P(Y_2))$	

**Метод Байєса.** В умовах стохастичної невизначеності, коли кожна вибрана стратегія керування  $A_i$  пов'язана з множиною можливих наслідків  $y_j$ , причому кожний  $p_j$  ( $i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$ ) [191], послідовність дій оператора доцільно відображати з позицій системного підходу у вигляді дерева рішень з двома типами вершин [257; 258]: у вершинах-рішеннях вибір повністю здійснюється оператором, а у випадкових вершинах вибір не перебуває під його повним контролем. З вершин-рішень виходять гілки-альтернативи  $A_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , які закінчуються випадковими вершинами з декількома можливими реалізаціями  $y_j$  з ймовірностями  $p_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ . Значення апріорних ймовірностей встановлюється за допомогою статистичного або експертного оцінювання, а апостеріорних – методом Байєса [191; 192]. 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 [69]:

$$R = G \times P,$$

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

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 цього 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 вимкати двигун (хибне спрацьовання табло)	$G_{21}$	Збитки при діях Л-О не вимкати двигун (дійсне спрацьовування табло)
Виходи стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП – можливі альтернативні рішення Л-О при ОВП ( $A_1$ – вимкнути двигун; $A_2$ – не вимкати двигун)			
$A_1$	Вимкнути двигун	$A_2$	Не вимкати 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 вимкати двигун
$R(A_1) = G_{11}(P(x_1/Y_1)P(Y_1) + P(x_2/Y_1)P(Y_1)) + G_{12}(P(x_1/Y_2)P(Y_2) + P(x_2/Y_2)P(Y_2))$		$R(A_2) = G_{21}(P(x_1/Y_1)P(Y_1) + P(x_2/Y_1)P(Y_1)) + G_{22}(P(x_1/Y_2)P(Y_2) + P(x_2/Y_2)P(Y_2))$	

**Критерій «очікуване значення – дисперсія».** Модифікований критерій «очікуване значення – дисперсія» [69] дає більш надійний розв'язок за рахунок використання під час прийняття рішень дисперсії.

Для оцінювання ризику виникнення небажаних наслідків даний критерій має вигляд:

$$R^* = \min \{R_i - f^0 \delta_i^2\},$$

де  $R_i$  – очікувані витрати для альтернативи  $A_i$ ;  $f^0 = \text{const}$  – рівень несхильності до ризику, що визначає «ступінь значущості» дисперсії щодо математичного очікування. Тобто  $f^0$  характеризує ставлення оператора до великих відхилень від очікуваних значень (у випадку оцінки очікуваних витрат  $f^0 > 0$ );  $\delta_i^2$  – дисперсія витрат для альтернативи  $A_i$ , яка розраховується за формулою:

$$\delta_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (l_{ij} p_j - R_i)^2, \quad i = \overline{1, m},$$

де  $n$  – кількість можливих станів природи (факторів, що впливають на результат прийнятого рішення: метеоумови, повітряна обстановка, можливі відмови систем ПК тощо);  $l_{ij}$  – наслідок реалізації  $i$ -ї альтернативи;  $p_j$  – ймовірність виникнення  $j$ -го наслідку.

**Мінімакний критерій.** В умовах нестохастичної невизначеності, коли розподіл імовірностей, що відповідає факторам  $\lambda_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ , або невідомий, або не може бути визначений, методологічною основою для ПР є теорія ігор [191; 192]. При цьому як опорний для

оцінювання ризику виникнення небажаних наслідків застосовується мінімаксний критерій, заснований на консервативній обережній поведінці оператора, що зводиться до вибору найкращої альтернативи з найгіршої:

$$L_{mm} = \min_{A_i} \left\{ \max_{\lambda_j} g_{ij}(A_i, \lambda_j) \right\},$$

де  $L_{mm}$  – оцінна функція за мінімаксним критерієм для матриці витрат;  $g_{ij}$  – витрати, що відповідають альтернативі  $A_i$  і зовнішнім умовам  $\lambda_j$ , які зумовлюють наслідок прийнятого рішення.

Ризик  $R_i$  являє собою додаткові витрати у випадку вибору замість оптимальної за певним критерієм будь-якої іншої стратегії  $A_i$  і визначається як дефект варіанта рішення  $A_i$  щодо оцінної функції згідно з мінімаксним критерієм  $L_{mm}$ :

$$R_i = \max_{\lambda_j} g_{ij}(A_i, \lambda_j) - L_{mm}.$$

Максимально можливий ризик  $R_{\max}$  за всіма можливими варіантами рішення  $A_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , визначається за формулою [64]:

$$R_{\max} = \max_{A_i} (\max_{\lambda_j} g_{ij}(A_i, \lambda_j) - L_{mm}) - \min_{A_i} (\max_{\lambda_j} g_{ij}(A_i, \lambda_j) - L_{mm}) = \max_{A_i} \max_{\lambda_j} g_{ij}(A_i, \lambda_j) - L_{mm}.$$

**Максимінний критерій.** Опорним для оцінки ризику приймається вираз (2.8) [257] для сукупності варіантів рішення за максимінним критерієм, який відповідає позиції крайньої обережності:

$$Z_{mm} = \max_i \min_j y_{ij}$$

де  $Z_{mm}$  – оцінна функція за максимінним критерієм;  $y_{ij}$  – наслідок рішення, який відповідає стратегії  $A$  під час впливу зовнішніх умов  $\lambda_j$ .

У випадку вибору замість оптимального за даним критерієм будь-якого іншого варіанта  $A_i$  ступінь неоптимальності визначається як дефект варіанта рішення  $A_i$  відносно оцінної функції згідно з максимінним критерієм:

$$\varepsilon = Z_{mm} - \min_j y_{ij}.$$

Максимальну різницю дефектів з усіх можливих варіантів рішення  $A_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , можна

охарактеризувати як можливий ризик  $R^*$ , який являє собою максимально можливу величину нереалізованої корисності рішення і розглядається при цьому як можливість одержання небажаного результату в конкретній ситуації прийняття рішення:

$$R^* = \max_i (Z_{mm} - \min_j y_{ij}) - \min_i (Z_{mm} - \min_j y_{ij}) = Z_{mm} - \min_i \min_j y_{ij}.$$

**Традиційний підхід.** Іншим способом оцінки ризику, який не потребує введення апріорної 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 [192], що ґрунтується на



принципі максимальної правдоподібності. За наявності двох конкуруючих альтернатив  $A_0$  та  $A_1$  правило прийняття рішень зводиться до розділення простору спостережень  $Y$  на два підпростори  $Y_0$  та  $Y_1$ . Якщо під час визначення наслідку прийняття рішення 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).

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  $R'' \gg R'$ .

**Фуцці-логіка.** Одним зі способів оцінювання ризику в умовах нестохастичної невизначеності є фуцці-логіка [43, 198], що ґрунтується на логічних правилах «ЯКЩО (умова) – ТО (висновок)». При цьому відповідні ймовірності подій і розміри можливих витрат при прийнятті рішень в особливих випадках польоту 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 отримання величини рівня ризику був використаний апарат теорії нечітких множин [60; 129; 201]. Рівень ризику  $L_r$  залежить від умов виконання польоту, розвитку польотної ситуації та відповідного рівня небезпеки (нормальні, ускладнені, складні, аварійні умови виконання польоту) [224].

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. Тобто результат польоту залежить від того, які рішення будуть прийняті авіаційними фахівцями. 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 авіаційних подій показують, що досить багато авіаційних подій 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 [567].

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 небезпеки ОВП поділяються на ускладнення умов польоту, складну, аварійну та катастрофічну ситуації [224]. 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 [60], 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. 2.15.

Таблиця 2.15

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

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  $k_{\max} = \max_j k_j = \max \{24; 18; 25; 14; 9; 21; 20; 21; 24; 24\} = 25$  і перетворюємо елементи табл. 2.15 згідно з формулою:

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

Результати розрахунків заносимо до табл. 2.16, на основі якої й будуватимуться функції належності.

Таблиця 2.16

**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

Для цього знаходимо порядково 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:

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

Результати розрахунків наведено у табл. 2.17.

Таблиця 2.17

**Значення 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

Функції належності для кожного значення лінгвістичної змінної «рівень ризику» зобразимо на рис. 2.15.

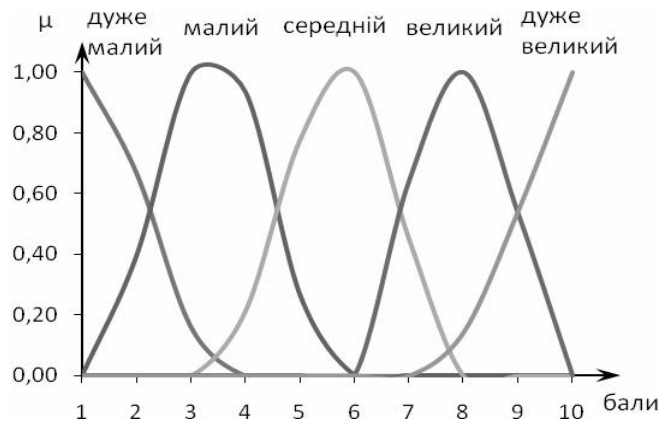


Рис. 2.15. Функції належності значення лінгвістичної змінної «рівень ризику»

З отриманої діаграми можна визначити кількісні показники, які відповідають значенням лінгвістичної змінної «рівень ризику». Нормальним умовам польоту відповідає кількісне значення рівня ризику в 0,1, ускладненим умовам польоту – 0,35, складним умовам польоту – 0,6, аварійним ситуаціям – 0,8, катастрофічним ситуаціям – 1.

Отримані функції належності після другого туру експертного опитування показано на рис. 2.16.

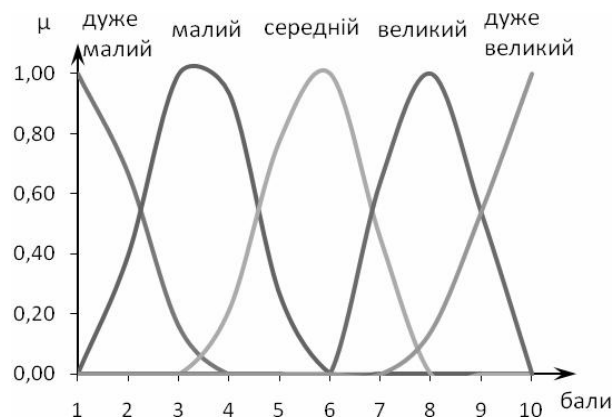


Рис. 2.16. Функції належності значення лінгвістичної змінної «рівень ризику» (після другого туру)

Визначимо ступінь  $1 - \alpha$  [201] між нечіткими визначеннями рівня ризику для першого й другого турів експертного опитування (табл. 2.18).

Таблиця 2.18

**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	$1 - 0,535 = 0,465$	$1 - 0,545 = 0,455$

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.

Визначимо коефіцієнт конкордації за Кендалом [176; 177]:

– 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 для конкретної ситуації прийняття рішень. В додатку В надано розрахунок величини потенційного збитку за допомогою апарату теорії нечітких множин.

Розглянемо приклад розрахунку ризику в разі ПР Л-О в ОВП (пожежа двигуна [226]).

*Приклад 1.* Визначення ризику при ПР Л-О в ОВП (пожежа двигуна [226; 228]).

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 у результаті певних дій;  $P(x/Y)$  – умовний розподіл  $X$ ;  $P(Y)$  – апіорний 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. 2.17.

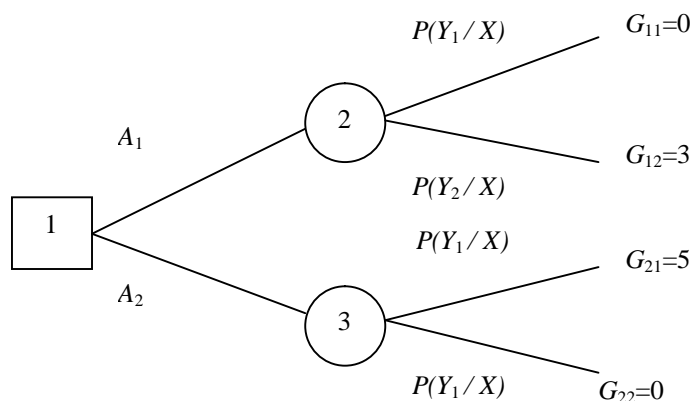


Рис. 2.17. Структурне зображення процесу прийняття рішень пілотом у разі отримання сигналу про пожежу двигуна

Для дійсного спрацьовування табло на підставі аналізу статистики у випадку пожежі двигуна типу АІ-25 використано такі умовні ймовірності:  $P(x_1/Y_1) = 0,58$ ;  $P(x_2/Y_1) = 0,42$ .

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 вимкати двигун:

$$R(A_2) = G_{21}(P(x_1/Y_1)P(Y_1) + P(x_2/Y_1)P(Y_1)) + G_{22}(P(x_1/Y_2)P(Y_2) + P(x_2/Y_2)P(Y_2));$$

$$R(A_2) = 5 \cdot (0,58 \cdot 0,5 + 0,42 \cdot 0,5) = 2,5 \text{ ум. од.}$$

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. 2.19.

## Розрахунок ризиків прийняття рішень пілотом у разі отриманні сигналу про пожежу двигуна

Входи стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП				
$x_1$	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»	0,58
$Y_2$	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»	0,42
Критерій ефективності – величина потенційного збитку в разі ПР пілота				
Збитки в разі правильних дій Л-О		Збитки в разі неправильних дій		
$G_{11}$	Збитки за дій Л-О вимкнути двигун (дійсне спрацювання табло) = 0	$G_{12}$	Збитки за дій Л-О вимкнути двигун (хибне спрацювання табло) = 3	3
$G_{22}$	Збитки за дій Л-О не вимикати двигун (хибне спрацювання табло) = 0	$G_{21}$	Збитки за дій Л-О не вимикати двигун (дійсне спрацювання табло) = 5	5
Виходи стохастичної моделі ПР Л-О в ОВП				
$R(A_1)$	Ризик у випадку прийняття пілотом рішення про відключення двигуна	$R(A_1) = G_{11}(P(x_1/Y_1) \cdot P(Y_1) + P(x_2/Y_1)P(Y_1)) + G_{12}(P(x_1/Y_2)P(Y_2) + P(x_2/Y_2)P(Y_2))$		1,5
$R(A_2)$	Ризик у разі прийняття пілотом рішення не відключати двигун	$R(A_2) = G_{21}(P(x_1/Y_1)P(Y_1) + P(x_2/Y_1)P(Y_1)) + G_{22}(P(x_1/Y_2)P(Y_2) + P(x_2/Y_2)P(Y_2))$		2,5
$R(A_2) > R(A_1)$				

Приклад 2. Розглянемо приклад 1 про пожежу двигуна на ПК. 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 дійсно, – 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 апіорних або апостеріорних ймовірностях), модифікованого критерію «очікуване значення – дисперсія», мінімаксного і традиційного підходів, а також функції-логіки – дозволяють 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 розроблення навчальних вправ для тренажерів дозволить відображати динаміку розвитку ситуацій, а також підвищить інформативність одержуваної оцінки.

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.

Основна роль у підтримці безпеки польотів належить екіпажу ПК [224]. Він здійснює безпосереднє керування польотом, і від правильності його дій у певній ситуації залежить результат польоту. Авіадиспетчер відповідає за видачу грамотних і обґрунтованих рекомендацій та вказівок екіпажу ПК [20; 21]. Остаточне рішення приймає командир ПК, але своєчасна й правильна підказка диспетчера може запобігти переходу аварійної ситуації у катастрофічну.

У разі ОВП виникає потреба у вирішенні задачі оптимального завершення польоту, яка являє собою багатокроковий процес, який можна декомпозувати як «за вертикаллю», так і «за

горизонталлю». Множина кроків прийняття рішень оператором у цій ситуації формально виражається номерами елементів декартового добутку [224]:

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

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

Модель процесу вибору оператором оптимального варіанта завершення польоту зображено структурно у вигляді дерева рішень [53; 191; 257] (рис. 2.18).

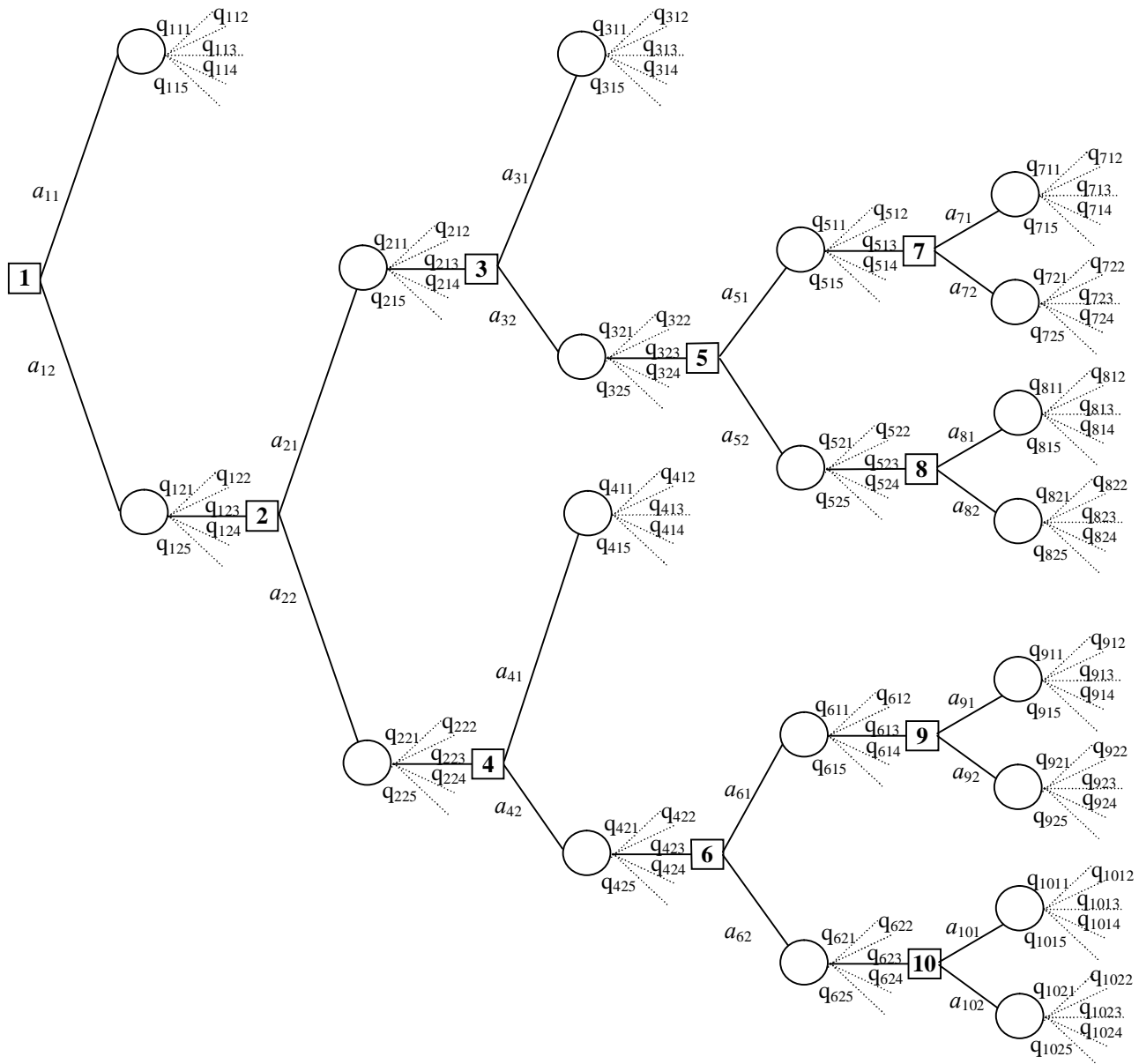


Рис. 2.18. Структурне зображення процесу ПР щодо вибору оптимального варіанта завершення польоту щодо: **1** – можливості продовження польоту до аеродрому призначення і оцінка критичного часу польоту ПК; **2** – виду потенційного місця посадки (аеродром або майданчик); **3** – типу аеродрому (запасний, 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; ○ – імовірні наслідки реалізації оператором певного рішення

На дереві рішень маємо такі *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, в т.ч. і аеродромі вильоту;  
 $a_{32}$  – 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.

Реалізація оператором авіаційної людино-машинної системи і-ї альтернативи завершення польоту  $a_i$  може привести до  $m$ -вимірного векторного простору різних *можливих наслідків*  $\bar{Q}_i = \{q_{i1}, q_{i2}, q_{i3}, q_{i4}, q_{i5}\} = \{q_{ij}\}$  [224], 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 конструкцій (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 пероєбували 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  $\bar{Q} = f(\bar{G}, \bar{P})$ .

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  $A_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , знайти оптимальну для даного інтервалу часу  $t$  альтернативу  $A_{opt}(t)$  з мінімальним ризиком  $R_{min}$ , яка забезпечує мінімальний рівень



потенційного збитку за обмеженого часу польоту  $t_{\text{пол}}$  до місця посадки, який не перевищує критичного часу  $t_{\text{кр}}$ :

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

де  $g_{ij}$  – величина потенційного збитку  $j$ -го наслідку при реалізації  $i$ -ї альтернативи;  $p_{ij}$  – ймовірність виникнення  $j$ -го наслідку в результаті реалізації  $i$ -ї альтернативи.

Для оцінки ризику альтернативних варіантів (рис. 2.18) вводяться такі залежності,  $j = \overline{1, m}$ :

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

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

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

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

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

$q_{32j} \in Q_6(k_{\text{НС}}, k_{\text{кр}}, k_{\text{тр}}, k_{\text{доп}})$ , 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:

$k_{\text{НС}}$  – 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.

Ймовірність 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;  $p_{\text{КС}}$  – ймовірність виникнення певного наслідку прийняття рішень для конкретної ситуації.

Величина потенційного збитку  $g_i$ , що залежить від тяжкості можливих наслідків [224], отримана за допомогою апарату *теорії нечітких множин* [60; 100; 129; 201] (додаток В). При цьому застосовувався метод, що ґрунтується на обробленні статистичних даних [60], згідно з яким як ступінь належності елемента  $h \in H$  до множини  $X$  приймається оцінка частоти використання експертом нечіткого поняття для характеристики елемента.

*Кількісні показники*, що визначають *якісні характеристики* величини можливого збитку  $g_i$  (додаток В):

1. Економічні витрати  $g_1 = 10$  од.
2. Інциденти  $g_2 = 30$  од.
3. Поломки авіаційної техніки  $g_3 = 50$  од.
4. Аварії  $g_4 = 80$  од.
5. Катастрофи  $g_5 = 100$  од.

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 [226].

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 прийняття рішень Л-О в умовах стохастичної невизначеності ОВП наданий в програмі курсу «Теорія управління».

*Завдання 2. Моделювання процесу ПР Л-О в ОВП. Стохастична задача.*

1. Попередній аналіз розвитку ситуації (ОВП): визначення етапів ПР Л-О з парирування ситуації, що виникла.
2. Структурний аналіз розвитку ситуації (ОВП): побудова дерева рішень, дерево розвитку ОВП, визначення вершин-рішень і випадкових вершин.
3. Аналіз невизначеності, визначення ймовірностей розвитку ситуації (ОВП).
4. Аналіз наслідків розвитку ситуації (ОВП).
5. Знаходження оптимального рішення (методи знаходження очікуваного значення, динамічного програмування).

У додатку Г подано приклади аналізу ПР Л-О за допомогою дерева рішень [337; 338; 340; 341]. 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.

### 2.2.3. 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 [269]. 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 умови 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) [274; 357; 389]. 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 формула (2.30) перетворюється на такі вирази відповідно:

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

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

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

Уведемо поняття  $W$ -функції (рис. 2.19) для випадкової величини  $Y_{ij}$ , яка є коефіцієнтом пропускання GERT-мережі:

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

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

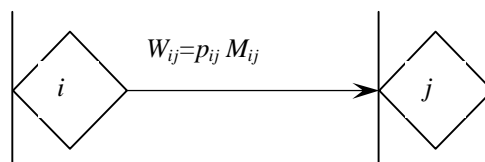


Рис. 2.19. Елемент стохастичної мережі GERT розвитку польотної ситуації з коефіцієнтом пропускання  $W_{ij}(s)$

На рис. 2.20 представлений загальний вигляд стохастичної мережі розвитку польотних ситуацій.

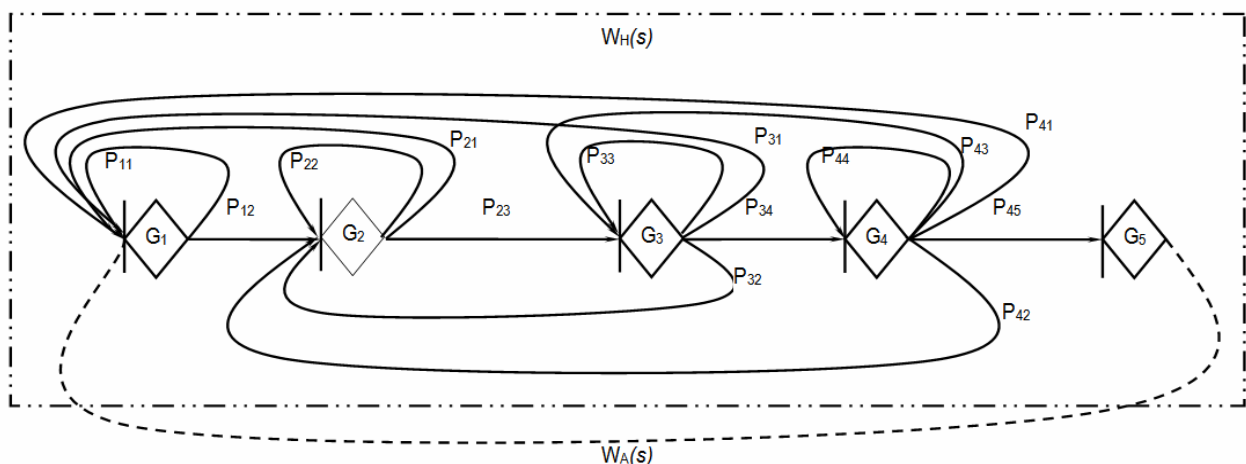


Рис. 2.20. Загальний вигляд стохастичної мережі розвитку польотних ситуацій

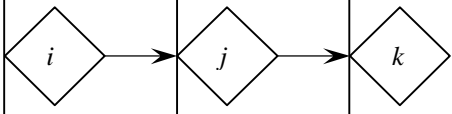

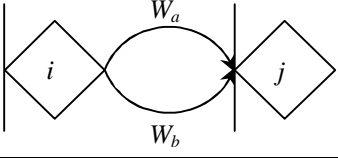
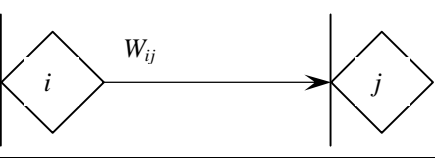
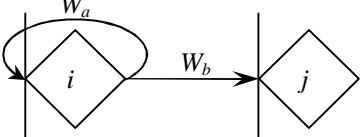
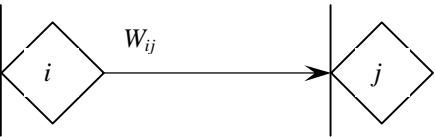
На рис. 2.20 маємо:

$W_H(s)$  – 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.

Еквівалентні перетворення для спрощення стохастичної мережі наведено в табл. 2.20.

Таблиця 2.19

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)

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. 2.21 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  $p_{ij}$ ,  $p_{ji}$ ,  $p_{ii}$ :

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

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

Таблиця 2.21

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

Таким чином, метою застосування системи GERT у стохастичному мережевому аналізі є обчислення таких параметрів:

1. Математичне очікування часу  $t_{ij}$  на перехід від  $i$ -ї польотної ситуації до  $j$ -ї польотної ситуації і навпаки –  $M[t_{ij}]$ ,  $M[t_{ji}]$ :

$$\mu_{jE} = \frac{\partial^j [M_E(s)]_{s=0}}{\partial s^j},$$

де  $\mu_{1E} = M[t_{ij}]$  – математичне очікування часу виконання стохастичної мережі.

2. 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.

3. 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.

Розроблений алгоритм розрахунку параметрів розвитку польотних ситуацій в бік ускладнення і навпаки за допомогою застосування стохастичних мереж типу GERT [274; 357; 389; 390].

### 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. 2.21).

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

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

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

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.

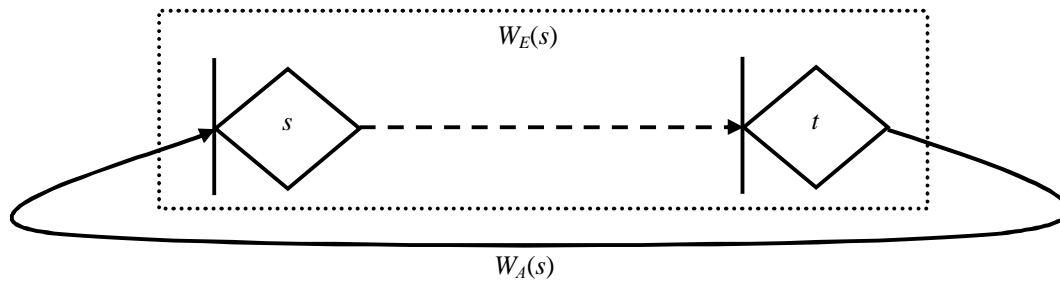


Рис. 2.21. Мережа GERT:  $W_E(s)$  – коефіцієнт пропускання відкритої мережі;  $W_A(s)$  – коефіцієнт пропускання фіктивної дуги;  $s$  – джерело мережі;  $t$  – стік мережі

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

$$H = 1 - \sum T(L_1) + \sum T(L_2) - \sum T(L_3) + \dots + (-1)^k \sum T(L_k) + \dots = 0, \quad (2.2)$$

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

5. З топологічного рівняння стохастичної замкненої мережі  $G$  (2.2) визначити коефіцієнт пропускання відкритої мережі  $W_E(s)$ .

6. Визначити перший і другий моменти випадкової величини  $Y_{ij}$  (у розглядуваному випадку часу  $t_{ij}$  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  $G$ .

Таким чином, за допомогою стохастичного мережевого аналізу розвитку польотної ситуації від нормальної до катастрофічної отримуємо: математичне очікування часу  $t_{ij}$  розвитку ситуації; дисперсію часу  $t_{ij}$  розвитку ситуації; ймовірності  $p_{ij}$  розвитку ситуації.

Приклад розрахунку стохастичної мережі типу GERT наведено в додатку Д.

Як приклад, проведемо аналіз розвитку катастрофічної ситуації у складних метеоумовах (СМУ) за допомогою дерева рішень та стохастичної мережі GERT (рис. 2.22). Згідно з даними Бюро безпеки на транспорті (NTSB) [398] за останні 10 років 21,3% авіаційних подій під час виконання авіаційних перевезень трапилось через погодні умови, з них 39,1% – у СМУ. При цьому основною причиною авіаційних подій в СМУ (68%) визнається неправильне і

несвоєчасне прийняття рішень екіпажем ПК [261; 262].

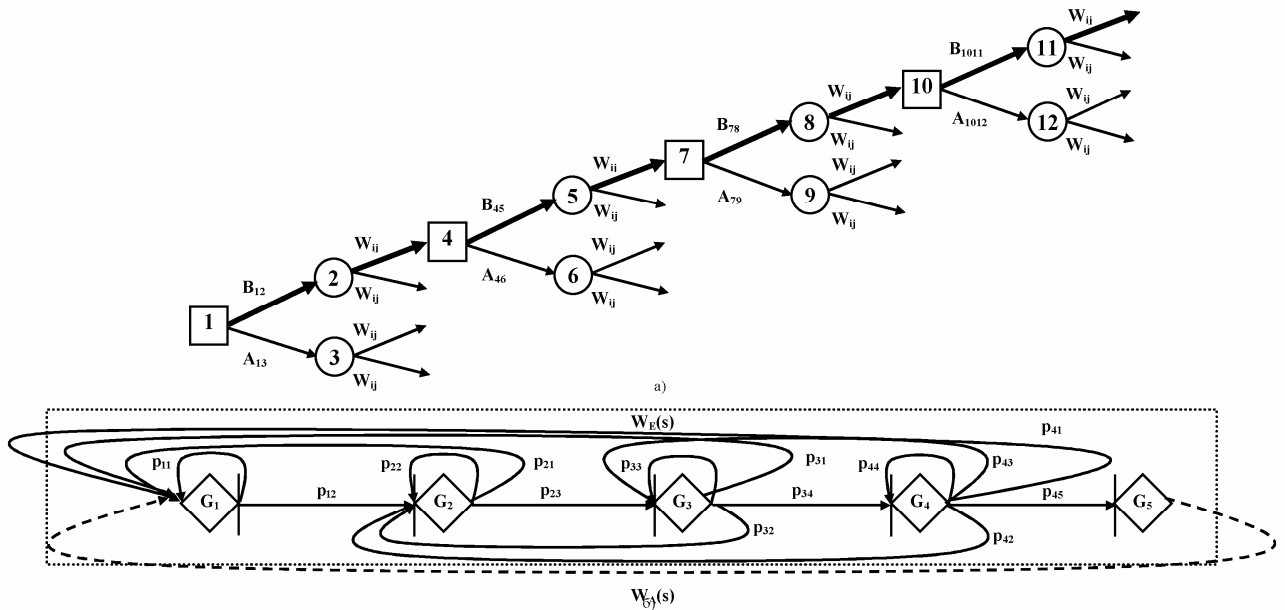


Рис. 2.22. Фрагмент моделі розвитку катастрофічної ситуації: *a* – модель у вигляді дерева рішень; *б* – модель у вигляді стохастичної мережі GERT; *A* – позитивний вибір; *B* – негативний вибір;  $W_{ij}$  – *W*-функція, коефіцієнт пропускання (*i, j*)-дуги;  $W_E(s)$  – коефіцієнт пропускання відкритої 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,  $i = \overline{1; n-1}$ ;  $p_{i(i+1)}$  ( $p_{12}, p_{23}, p_{34}, p_{45}$ ) – 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,  $k = \overline{1; 3}$

На основі *W*-функцій побудовано мережу розвитку польотної ситуації від нормальної до катастрофічної і від аварійної до нормальної (рис. 2.23)

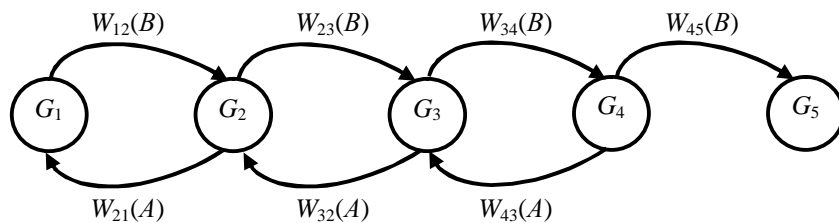


Рис. 2.23. Мережа розвитку польотної ситуації:  $G_1$  – нормальна ситуація;  $G_2$  – ускладнена ситуація;  $G_3$  – складна ситуація;  $G_4$  – аварійна ситуація;  $G_5$  – катастрофічна ситуація;  $W_{ij}(A)$  – коефіцієнт пропускання (*i, j*)-дуги за позитивного вибору;  $W_{ij}(B)$  – коефіцієнт пропускання (*i, j*)-дуги за негативного вибору

*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,  $\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1$ ;  $u_{ij}$  – збиток, пов'язаний з вибором *i*-ї альтернативи за впливу *j*-го фактора.



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

$$R_{\text{пр}} = R_B = \{\rho\},$$

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

Отримані очікувані ризики  $R_A, R_B$  прийняття рішень 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 прийняття рішення Л-О дорівнює:

$$R_{\text{пр}} = \begin{cases} R_A > R_B; \\ R_B > R_A, \end{cases}$$

де  $R_A$  – очікуваний ризик прийняття рішень Л-О з урахуванням критерію мінімізації очікуваного значення;  $R_B$  – очікуваний ризик прийняття рішень Л-О з урахуванням 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. 2.23).

Подамо перехід від однієї польотної ситуації до іншої у вигляді марковського процесу *загибелі і розмноження*. Марковські процеси загибелі і розмноження широко застосовуються для пояснення різних процесів, що відбуваються в біосфері, екосистемі, теорії масового обслуговування і т. ін. Цей тип марковських процесів отримав назву саме внаслідок широкого застосування в біології, зокрема, моделювання загибелі і розмноження осіб різних популяцій [69].

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. 2.24, тобто, коли всі стани можна витягнути в один ланцюжок, у якому кожний 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.

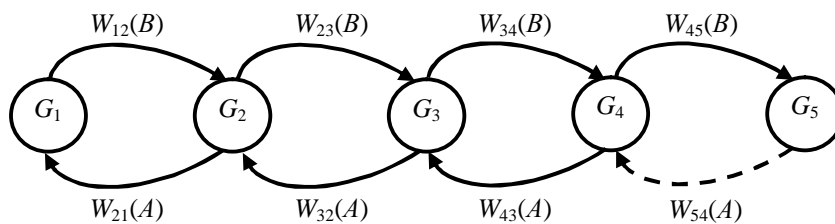


Рис. 2.24. Марковська мережа розвитку польотної ситуації:  $G_1$  – нормальна ситуація;  $G_2$  – ускладнена ситуація;  $G_3$  – складна ситуація;  $G_4$  – аварійна ситуація;  $G_5$  – катастрофічна ситуація;  $W_{ij}(A)$  – коефіцієнт інтенсивності (пропускання)  $(i, j)$ -дуги за в прямому напрямку;  $W_{ij}(B)$  – коефіцієнт інтенсивності (пропускання)  $(i, j)$ -дуги в зворотному напрямку

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 неперервним 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.

Складемо систему диференціальних рівнянь для марковського процесу розвитку польотної ситуації (рис. 2.24):

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

5. Визначити граничні ймовірності польотних ситуації (рис. 2.24):
  - у бік парирування ситуації:

$$p_{ij}(B) = \frac{\prod_{\{G_i\}} W_{ij}(B)}{\prod_{\{G_j\}} W_{ij}(A)} p_{ij}(A);$$

– в сторону погіршення польотної ситуації:

$$p_{ij}(A) = \frac{\prod_{\{G_i\}} W_{ij}(A)}{\prod_{\{G_j\}} W_{ij}(B)} p_{ij}(B).$$

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. 2.25.

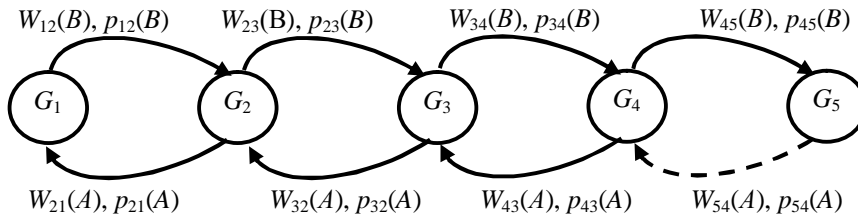


Рис. 2.25. Марковська мережа розвитку польотної ситуації з імовірностями  $p_{ij}(A)$ ,  $p_{ij}(B)$  розвитку польотної ситуації за позитивного і негативного розвитку подій відповідно

**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.

Тобто система розвитку польотної ситуації на рис. 2.25 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. 2.22.

Таблиця 2.22

**Порівняльний аналіз підходів до мережевих аналізів ПР Л-О та розвитку польотних ситуацій**

Моделі ПР Л-О в ОБП	Методи аналізу	Вузли	Дуги
Детерміновані моделі ПР Л-О в ОБП	Мережеве планування	Етапи ПР	Дії (процедурні операції) відповідно до інструкції
Стохастичні моделі ПР Л-О в ОБП	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 ОБП	Стохастична мережа типу GERT	Стадії польотних ситуацій	Перехід від нормальної до катастрофічної, від аварійної до нормальної ситуацій
Стохастичні процеси розвитку польотних ситуацій в ОБП	Марковська мережа	Стани системи: нормальна, ускладнена, складна, аварійна, катастрофічна ситуації	Коефіцієнти інтенсивності (пропускання) $(i, j)$ -дуги в прямому і зворотному напрямках

Таким чином, мережі типу GERT дозволили отримати стохастичні моделі розвитку польотних ситуацій в ОБП, а марковські мережі – описати стохастичні процеси розвитку польотних ситуацій в ОБП.

### 2.3. Прийняття рішень оператором авіаційної системи в умовах невизначеності

#### 2.3.1. Ігровий підхід дослідження невизначеності у конфліктних задачах системи управління повітряним рухом

Більшість задач, що виникають у системі УПР на різних її рівнях та на різних етапах її діяльності, вирішується в умовах невизначеності. Ігровий підхід дослідження процесів в умовах

невизначеності дає змогу отримувати оптимальні та гарантовані (для найгірших випадків) рішення. Методологічною основою вирішення задач є теорія ігор, предмет дослідження якої – задачі прийняття рішень в умовах невизначеності, які розглядаються насамперед як конфліктні ситуації [133], колективні рішення [120; 140], задачі розроблення оптимальних планів [140; 257; 258]. Актуальним є подальше розроблення моделей ПР Л-О, мінімізація ймовірності помилок Л-О в процесі професійної діяльності, оскільки відомим фактом є те, що причина більшості авіаційних подій полягає у людській помилці. Найчастіше ці помилки робляться здоровим, кваліфікованим персоналом. Помилки не є результатом аномальної поведінки, а є природним побічним продуктом майже всіх видів людської діяльності. Розуміння того, як «нормальні» люди допускають помилки, – важливий елемент людського фактора в авіації. Документами ІКАО для підвищення авіаційної безпеки рекомендовано розвивати розуміння оперативних контекстів, які полегшують помилки Л-О. Проблема, насамперед, полягає в тому, щоб навчитися керувати помилками, якщо вони виникли.

Є два підходи до контролю за людськими помилками.

*Перший підхід* полягає в мінімізації ймовірності помилок за рахунок ергономіки, тобто забезпечення *інтуїтивної ергономіки* – високого рівня проектування елементів управління, щоб вони відповідали характеристикам людини, забезпечення належних контрольних засобів, процедур, керівництв, карти, діаграм і засобів об'єктивного контролю, а також покращення ергономічних показників на стадії проектування і експлуатації об'єкта керування, тобто зниження шуму, вібрації, екстремальних температур та інших стресових умов [373].

*Другий підхід* полягає в зменшенні наслідків будь-яких помилок через «crossmonitoring» (перехресний моніторинг) між членами екіпажу ПК.

Відома модель SHEL була першою моделлю для забезпечення безпеки польотів в авіації у процесі безпосереднього аналізу латентних загроз на рівні експлуатаційного взаємодії [9]. Еволюції моделей людського фактора доповнюються відповідними компонентами: помилками Л-О, керуванням помилками, взаємодією операторів у колективі, впливом культури тощо [373].

Задачу оптимізації ПР Л-О в АНС як задачу розв'язання «конфлікту» між взаємодією *Liveware (людина) - Hardware (машина) (L-H)* розглянемо як модель конфліктної ситуації між людиною та машиною, якою вона керує (обслуговує). Інтерфейс *L-H* ілюструє, яким чином людина взаємодіє з фізичними умовами на робочому місці. Наприклад, дисплеї, що відповідають сенсорним здібностям користувача та його можливостям обробляти інформацію, органи управління з легким налаштуванням пересування, і розташуванням. На цю взаємодію звертають тепер найбільшу увагу. Дослідники і розробники прагнуть зрозуміти, яким чином найкраще адаптувати людину до нових технологій (наприклад, для керування автоматизованим об'єктом). Саме ця взаємодія була основним напрямом досліджень, спрямованих на врахування кроскультурних факторів [9; 373]. Але причиною низької ефективності використання нової техніки може бути не тільки людина, що своїми помилками перешкоджає її успішному застосуванню, але і сама техніка, що створена без урахування психофізіологічних можливостей Л-О і фактично провокує її помилки. Техніка і технології вдосконалюються, до людини ставляться підвищені вимоги як до її кваліфікації, так і до психофізіологічних можливостей. Без гнучкого стикування інтерфейсів у концептуальній моделі SHEL [1–9; 11] неможливо уникнути помилок, що виникають через людський фактор.

Тому, передусім, добираючи операторів системи «людина–машина», необхідно враховувати психофізіологічні можливості людини, готувати Л-О керувати системою і забезпечувати таким чином більш ефективне функціонування АНС [9; 113; 290; 349; 351].

З іншого боку, в процесі конструювання обладнання таких систем необхідно враховувати психологічні закономірності діяльності людини в інтерфейсі «людина–машина», а також фізіологічні, гігієнічні, естетичні, антропометричні й інші особливості людини, що впливають на виробничий процес, тобто на виникнення конфлікту, що створюється в розглянутому інтерфейсі.

Щоб розв'язати показану конфліктну ситуацію, що склалася між людиною та машиною, і знайти такі оптимальні стратегії людини і машини, що повинні задовольнити обидві сторони,

пропонується математичний аналіз конфлікту за допомогою методів теорії ігор (табл. 2.23). Для цієї мети будується математична модель конфлікту, що називається грою, а учасники гри – гравцями. У розглядуваному випадку спостерігається некооперативна поведінка ізольованих гравців, коли кожний гравець вибирає свою стратегію незалежно, не звертає уваги на те, які стратегії вибирають інші учасники [181; 190; 191].

Таблиця 2.23

Психофізіологічні якості Л-О $A$	Формальна матрична форма гри «людина–машина»					
	Ергономічні показники машини $B$					
	$B_1$	$B_2$	...	$B_j$	...	$B_n$
$A_1$	$u_{11}$	$u_{12}$	...	$u_{1j}$	...	$u_{1n}$
$A_2$	$u_{21}$	$u_{22}$	...	$u_{2j}$	...	$u_{2n}$
...	...	...	...	...	...	...
$A_i$	$u_{i1}$	$u_{i2}$	...	$u_{ij}$	...	$u_{in}$
...	...	...	...	...	...	...
$A_m$	$u_{m1}$	$u_{m2}$	...	$u_{mj}$	...	$u_{mn}$

Гра двох учасників з нульовою сумою має вигляд  $(A_i, B_j, u_{ij})$ , тобто гравці є чистими антагоністами. Гравець  $A$  – людина-оператор з психофізіологічними якостями –  $A_i$ . Гравець  $B$  – ергономічні показники машини –  $B_j$ . Наслідки  $u_{ij}$  – результат взаємодії Л-О і відповідного ергономічного рівня машини. В термінах теорії ігор маємо, що якщо уявити гру, як  $G(A_i, B_j, u_{ij})$ , де  $u_{ij}(A_i, B_j)$  – платіж, який гравець  $A$  максимізує, а гравець  $B$  мінімізує.

Тоді обережні стратегії гравців мають вигляд:

$$A^* \in P(u_j) \Leftrightarrow \max u_{ij}(A_i, B_j) = \max \min u_{ij}(A_i, B_j);$$

$$B^* \in P(u_i) \Leftrightarrow \min u_{ij}(A_i, B_j) = \min \max u_{ij}(A_i, B_j).$$

Вирази  $\max \min u_{ij}$  і  $\min \max u_{ij}$  є відповідно максимальним гарантованим виграшем гравця  $A$  і мінімальним гарантованим програшем гравця  $B$ .

Якщо виконується рівність:

$$v = \max \min a_{ij}(A_i, B_j) = \min \max a_{ij}(A_i, B_j),$$

тоді  $v$  є ціною гри  $G$ .

Якщо гра двох осіб  $G(A_i, B_j, u_{ij})$  з нульовою сумою має ціну гри, то вона неістотна. Тобто розв'язується конфлікт. Оптимальні стратегії визначаються ізольовано (як обережні стратегії) або одночасно двома гравцями (як сідлові пари). Визначимо оптимальні стратегії як сідлові пари для двох гравців і розглянемо антагоністичну парну гру з нульовою сумою, де гравцями виступають людина і машина, і виграш людини дорівнює програшу машини. Під виграшем (програшем) гравців у загальному випадку розуміється приріст корисності [181]. Застосувавши відомий мінімаксний критерій Вальда, одержимо такі закономірності поведінки гравців (людини і машини):

- людина прагне в найгіршій для себе поведінці машини отримати максимальний виграш;
- машина прагне в найгіршій для себе поведінці людини-оператора отримати мінімальний програш.

Визначимо стратегії першого гравця  $A$  (Л-О), виходячи з характеристик якостей людини, особливостей натури та стану здоров'я:

- увага (уважність, неуважність),
- натура (холодний, емоційний),
- вольові якості (стриманість, нестриманість),
- реакція (швидка, повільна),
- стан здоров'я (здоровий, нездоровий).

Відповідно машина, яку обслуговує Л-О, має стратегії щодо керування, тобто може бути простою, складною; ергономіки – зручною, незручною; автоматики – механічною, напівавтоматичною і автоматичною [127; 128; 200].

Для визначення результатів (виграшів) вибору стратегій був проведений експеримент із групою експертів, на підставі чого сформовані дві матриці: для Л-О без досвіду роботи (табл. 2.24) і для Л-О з досвідом роботи (табл. 2.25). Елементи матриць визначались за 10-бальною оцінкою. Методом експертних оцінок отримано узгоджені оцінки експертів.

Таблиця 2.24

**Людина без стажу роботи**

Людина			Машина							Maxmin
			Керування		Ергономіка		Автоматика			
			Просте	Складне	Зручно	Незручно	Механічна	Напівавтоматична	Автоматична	
			$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$	
Увага	Уважна	$A_1$	9	6	8	7	5	7	8	<b>5</b>
	Неуважна	$A_2$	5	3	5	4	2	4	6	2
Натура	Холодна	$A_3$	8	6	8	7	4	6	8	4
	Емоційна	$A_4$	6	3	6	4	3	4	6	3
Вольові якості	Стриманість	$A_5$	8	6	8	7	4	7	8	4
	Нестриманість	$A_6$	4	1	4	2	1	3	4	1
Реакція	Швидка	$A_7$	8	7	8	6	5	7	8	<b>5</b>
	Повільна	$A_8$	4	1	4	2	1	3	4	1
Стан здоров'я	Здоровий	$A_9$	8	6	8	7	5	6	8	<b>5</b>
	Нездоровий	$A_{10}$	4	2	5	3	1	3	5	1
Minmax			9	7	8	7	<b>5</b>	7	8	

Таблиця 2.25

**Людина зі стажем роботи**

Людина			Машина							Maxmin
			Керування		Ергономіка		Автоматика			
			Просте	Складне	Зручно	Незручно	Механічна	Напівавтоматична	Автоматична	
			$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$	
Увага	Уважна	$A_1$	10	7	10	8	8	9	10	7
	Неуважна	$A_2$	7	4	7	5	3	5	7	3
Натура	Холодна	$A_3$	10	7	10	8	5	7	10	5
	Емоційна	$A_4$	8	5	8	6	4	6	8	4
Вольові якості	Стриманість	$A_5$	10	8	10	9	8	9	10	<b>8</b>
	Нестриманість	$A_6$	6	3	7	4	4	6	7	3
Реакція	Швидка	$A_7$	10	9	10	8	7	9	10	7
	Повільна	$A_8$	6	3	6	4	3	6	7	3
Стан здоров'я	Здоровий	$A_9$	10	7	10	8	7	9	10	7
	Нездоровий	$A_{10}$	6	3	7	4	3	5	7	3
Minmax			10	9	10	9	<b>8</b>	9	10	

В обох випадках верхня ціна гри ( $\beta$ ), більше від якої за певної стратегії машина не програє, і нижня ціна гри ( $\alpha$ ), менше від якої за певної стратегії людина не виграв, збігається.

Для людини-оператора без досвіду роботи (табл. 2.24) маємо ціну гри:

$$v = \max \min u_{ij}(B_j) = \alpha = \min \max u_{ij}(A_i) = \beta = 5, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}.$$

Оптимальні стратегії першого гравця (Л-О без досвіду роботи):

- пильність ( $A_1$ );
- швидкість реакції ( $A_7$ );
- здоровий стан здоров'я ( $A_3$ ).

Для другого гравця (машини) оптимальною стратегією є механічна конструкція ( $B_5$ ).

Для Л-О з досвідом роботи (табл. 2.25) ціна гри:

$$v = \max \min u_{ij}(B_j) = \alpha = \min \max u_{ij}(A_i) = \beta = 8.$$

Оптимальними стратегіями першого гравця (Л-О з досвідом роботи) є наявність витримки ( $A_5$ ), другого гравця (машини) – механічна конструкція ( $B_5$ ).

Одержані сідлові точки матриць  $v = 5$  та  $v = 8$  забезпечуються оптимальними стратегіями гравців і ведуть до розв'язання конфлікту.

Таким чином, оптимальними стратегіями людини без досвіду роботи є пильність, швидка реакція і здоров'я, що виявляється в здатності швидко виявляти і реагувати на будь-які зміни в системі «людина–машина». У людини з досвідом роботи погіршення з роками його психофізіологічних якостей і здоров'я компенсується за рахунок виробітку такої вольової якості, як витримка, що в цьому випадку і є головним фактором, що зумовлює надійність Л-О. З огляду на механічний принцип роботи машини Л-О нелегко викликати її відмову.

Адаптивна еволюція людини і техніки, яку вона обслуговує, об'єднується в інтуїтивну ергономіку, тобто Л-О приймає інтуїтивні рішення. Терміни людського фактора і ергономіки можуть бути використані як взаємозамінні «interchangeably». Обидва передбачають урахування всіх факторів, які впливають на працездатність людини на робочому місці [373].

### 2.3.2. Моделювання прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи в умовах нестохастичної невизначеності

Якщо розроблюється оптимальна програма дії Л-О, то відбувається гра «людини з природою», де природа – явища (фактори), що впливають на результат дії людини [140; 257]. Тоді приймається рішення в умовах невизначеності [122]. 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 наведено в табл. 2.26.

Таблиця 2.26

Критерії знаходження оптимального рішення в умовах невизначеності

№ з/п	Критерій	Матриця доходів	Матриця витрат
1	Вальда (Minmax)	$A^* = \max_{A_i} \left\{ \min_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) \right\}$	$A^* = \min_{A_i} \left\{ \max_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) \right\}$
2	Лапласа (Laplace)	$A^* = \max_{A_i} \left\{ \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n u_{ij}(A_i, B_j) \right\}$	$A^* = \min_{A_i} \left\{ \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n u_{ij}(A_i, B_j) \right\}$
3	Гурвіца (Hurwicz)	$A^* = \max_{A_i} \left\{ \alpha \max_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) + (1 - \alpha) \min_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) \right\}$ , $0 \leq \alpha \leq 1$	$A^* = \min_{A_i} \left\{ \alpha \min_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) + (1 - \alpha) \max_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) \right\}$ , $0 \leq \alpha \leq 1$
4	Севіджа (Savage)	$A^* = \min_{B_j} \max_{A_i} r_{ij}(A_i, B_j)$ , $r_{ij}(A_i, B_j) = \Delta = \max_{A_i} u_{ij}(A_i, B_j) - u_{ij}(A_i, B_j)$	$A^* = \min_{B_j} \max_{A_i} r_{ij}(A_i, B_j)$ , $r_{ij}(A_i, B_j) = \Delta = u_{ij}(A_i, B_j) - \min_{A_i} u_{ij}(A_i, B_j)$

Критерій Вальда (minmax) ґрунтується на принципі «conservative attitude» (консервативне ставлення) і застосовується, якщо необхідно знайти гарантоване рішення, критерій Лапласа (Laplace) базується на принципі «insufficient reason» (недостатне обґрунтування). За критерієм Гурвіца (Hurwicz) приймається рішення від песимістичного до оптимістичного за допомогою коефіцієнта песимізму-оптимізму  $\alpha$ :  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

Оптимальне рішення за критерієм Севіджа (Savage) знаходиться за допомогою матриці «жалю», що ЛПР не прийняла кращого рішення. У разі прибутків елемент матриці жалю визначається різницею між найкращим значенням у стовпці  $\lambda_j$  та значенням  $r(u_i, \lambda_j)$  при тому ж  $\lambda_j$ . Таким чином, ЛПР виражає побудовою матриці  $\|r_{ij}\|$  свій «жаль» з приводу того, що не була обрана краща дія за стану  $\lambda_j$ . Після цього у кожному рядку нової матриці обирається мінімальний «жаль» та визначається стратегія (рядок) з найбільшим значенням. Приймавши це

рішення, ЛПР має гарантію, що в найгірших умовах можливий прибуток виявляється не меншим, ніж знайдений. У випадку, якщо матриця виграшів містить елементи, що визначають витрати, ЛПР діє за принципом мінімаксу, передбачаючи, що природа набуває такого стану, який буде для ЛПР найгіршим, що потребує найбільших можливих витрат.

Наприклад, для задачі визначення оптимального запасу на складі пально-мастильних матеріалів для забезпечення безперервного споживання пального за мінімальних витрат на зберігання та збитках при його дефіциті, формується матриця витрат з елементами:

$$y_{ij} = \begin{cases} C_1(u_i - \lambda_j), & \text{якщо } u_i < \lambda_j; \\ C_2(u_i - \lambda_j), & \text{якщо } u_i > \lambda_j; \\ 0, & \text{якщо } u_i = \lambda_j, \end{cases}$$

де  $C_1, C_2$  – витрати на зберігання та збитки від дефіциту пального відповідно.

Стратегією  $u_i, i = \overline{1, m}$  в цьому разі є розмір запасів пального у відповідному періоді, станами природи  $\lambda_j, j = \overline{1, n}$  є необхідний попит на пальне. Оскільки елементами матриці є розміри витрат, яких зазнає ЛПР залежно від невідомих потреб та прийнятого рівня запасів, застосовується принцип мінімаксу.

Якщо застосувати методи теорії ігор до прийняття колективних рішень, основною метою яких є знаходження раціональної стратегії переходу від індивідуальних переваг до групових, то при формуванні матриці рішень рядкам відповідають множині  $m$  можливих стратегій  $u_1, u_2, \dots, u_m$ , серед яких необхідно обрати оптимальну стратегію  $u^*$  для групи, що складається з  $n$  членів. Станам природи в матриці виграшів (стовпцям) відповідають думки  $n$  членів групи:  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  про значущість кожної стратегії. Якщо група приписує більші числові значення кращій альтернативі, то матриця переваг має вигляд матриці виграшів з прибутками (табл. 2.27).

Таблиця 2.27

**Критерії знаходження оптимального рішення, коли матриця переваг має вигляд матриці виграшів**

№ з/п	Критерій	Матриця виграшів
1	Вальда (Minmax)	$A^* = \max_{A_i} \left\{ \min_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) \right\}$
2	Лапласа (Laplace)	$A^* = \max_{A_i} \left\{ \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n u_{ij}(A_i, B_j) \right\}$
3	Гурвіца (Hurwicz)	$A^* = \max_{A_i} \left\{ \alpha \max_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) + (1 - \alpha) \min_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) \right\}$
4	Севіджа (Savage)	$A^* = \min_{B_j} \max_{A_i} r_{ij}(A_i, B_j),$ $r_{ij}(A_i, B_j) = \Delta = \max_{A_k} u_{kj}(A_k, B_j) - u_{ij}(A_i, B_j)$

Відповідно до критерію Вальда для знаходження колективного рішення обирається найбільш критична думка члена групи про значущість стратегії. При цьому оптимальною є дія, яка має кращий з гірших поглядів членів групи. За наведеними в табл. 2.27 умовами також визначається оптимальне колективне рішення за критеріями Лапласа і Гурвіца.

Деяку різницю від звичайного формування матриці «жалю» в разі колективних рішень маємо в разі застосування критерію Севіджа. Тут будується матриця розходжень (помилкових рішень) з елементами  $r_{ij} = \max\{u_{ij}\} - u_{ij}$ .

У кожному рядку матриці виграшів (переваг) визначається максимальна оцінка, від якої віднімається поточна оцінка. Потім за матрицею помилкових рішень («жалю») відповідно до принципу мінімаксу визначаються мінімальні відхилення між індивідуальними та груповими перевагами  $u^* = \max \min\{r_{ij}\}$ .



Це рішення мінімально відрізняється від поглядів окремих членів колективу. Досягається максимальний ступінь узгодження прийнятого рішення з думками членів колективу. Використання цих методів при діяльності малих груп у системі УПР (наприклад, диспетчерської зміни) має значно підвищити ефективність прийнятих рішень.

Можливий також ігровий підхід до розгляду конфліктних ситуацій, які виникають у процесі вирішення задач у системі УПР, наприклад, щодо небезпечного зближення двох літальних апаратів. Тут необхідні дії диспетчера, які повинні усунути конфліктну ситуацію. У термінах теорії ігор – знайти оптимальну стратегію гри для двох гравців з протилежними інтересами, якими є ЛА [122; 140; 257; 281; 282].

Викликають інтерес 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 [133], дають змогу вирішувати конкретні задачі.

Проведений аналіз розвитку ОВП та ПР екіпажем ПК і авіадиспетчером в ОВП за допомогою критеріїв Вальда, Лапласа, Севіджа, Гурвіца, в результаті якого отримані моделі ПР Л-О у разі виникнення ОВП в умовах невизначеності (табл. 2.28).

Таблиця 2.27

**Матриця можливих результатів прийняття рішень 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	$u_{21}$	$u_{22}$	$u_{23}$

Наслідки розвитку польотної ситуації  $u_{ij}$  отримані відповідно до теорії рефлексії.

За даними ІСАО велика частина відмов і несправностей (98–99 % [213]) виявляється і усувається на землі в процесі технічного обслуговування інженерно-технічним складом, деяка частина (близько 1–2 % [213]) виявляється в повітрі і локалізується своєчасними і правильними діями екіпажу і тільки близько 0,01 % [213; 224] призводить до авіаційних подій.

У результаті проведених досліджень процесів прийняття рішень Л-О в разі виникнення ОВП розроблено модель ПР Л-О у випадку відмови генераторів.

Формально опишемо ситуацію, яка виникає на ПК при спрацьовуванні індикатора (табло) відмови генератора [244; 299; 348].

У цьому випадку можливі два стани природи:

$\Pi_1$  – помилкове спрацьовування табло;

$\Pi_2$  – дійсне 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.

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. 2.29).

**Матриця можливих результатів прийняття рішень 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

Значення  $u_{ij}$  відповідають утратам екіпажу (табл. 2.29), 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 екіпажа, максимальні втрати ( $u_{32} = 5$ ) відповідають максимальним збиткам.

Знайдемо оптимальне рішення екіпажу за допомогою класичних критеріїв теорії прийняття рішення в умовах невизначеності Вальда, Лапласа, Севіджа, Гурвіца.

Критерій Вальда (мінімаксий критерій) ґрунтується на консервативному обережному поводженні ЛПР і зводиться до вибору найкращої альтернативи з найгірших. Оптимальне рішення за критерієм Вальда визначаємо за правилом:

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

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

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

Таким чином, відповідно до критерію Вальда оптимальним рішенням є альтернатива  $a_2$ , яка відповідає мінімальній оцінній функції.

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. Оптимальне рішення за критерієм Лапласа визначаються за таким правилом:

$$L_l = \min_{a_i} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u(a_i, \Pi_j) \right\},$$

де  $L_l$  – оцінна функція за критерієм Лапласа;  $n$  – кількість можливих станів природи.

$$L_l = \min \left\{ \frac{0+5}{2}; \frac{3+1}{2}; \frac{4+2}{2} \right\} = \min \{ 2,5; 2; 3 \} = 2.$$

Таким чином, відповідно до критерію Лапласа оптимальним рішенням є також альтернатива  $a_2$ .

Критерій Севіджа прагне пом'якшити консерватизм мінімаксного критерію шляхом заміни матриці втрат матрицею ризиків (табл. 2.30), елементи якої визначаються за формулою:

$$r(a_i, \Pi_j) = u(a_i, \Pi_j) - \min_{a_i} \{ u(a_i, \Pi_j) \}.$$

Матриця ризиків для прийняття рішення за критерієм Севіджа

Альтернативні рішення	Фактори	
	П <sub>1</sub>	П <sub>2</sub>
$a_1$	0	5
$a_2$	2	0
$a_3$	2	0

Оптимальне рішення за критерієм Севіджа визначається з умови:

$$L_s = \min_{a_i} \left\{ \max_{\Pi_j} r(a_i, \Pi_j) \right\},$$

де  $L_s$  – оцінна функція за критерієм Севіджа;  $r(a_i, \Pi_j)$  – елементи матриці ризиків, що відповідають альтернативі  $a_i$  і зовнішнім умовам  $\Pi_j$ .

$$L_s = \min \{ \max (0;5); \max (2;0); \max (2;0) \} = \min \{ 5; 2; 2 \} = 2.$$

Згідно з критерієм Севіджа оптимальним рішенням є альтернативи  $a_2$  і  $a_3$ , які відповідають мінімальній оцінній функції.

Критерій Гурвіца охоплює ряд різних підходів доПР – від найбільш оптимістичного до найбільш песимістичного (консервативного). Оптимальне рішення за критерієм Гурвіца визначаємо за правилом:

$$L_g = \min_{a_i} \left\{ \alpha \min_{\Pi_j} u(a_i, \Pi_j) + (1 - \alpha) \max_{\Pi_j} u(a_i, \Pi_j) \right\},$$

де  $L_g$  – оцінна функція за критерієм Гурвіца;  $\alpha$  – показник оптимізму ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ).

Якщо  $\alpha = 0$ , критерій Гурвіца стає консервативним, оскільки його застосування еквівалентне застосуванню звичайного мінімаксного критерію. Якщо  $\alpha = 1$ , критерій Гурвіца стає надто оптимістичним, оскільки розраховує на найкращі з кращих умов. Ступінь оптимізму або песимізму конкретизується шляхом вибору величини  $\alpha$  з інтервалу  $[0, 1]$ . Якщо немає вираженої схильності до оптимізму або песимізму, найоптимальнішим буде  $\alpha = 0,5$ .

$$L_g = \min \{ 0,5 \min (0;5) + (1-0,5) \max (0;5); 0,5 \min (3;1) + (1-0,5) \max (3;1); 0,5 \min (4;2) + (1-0,5) \max (4;2) \} = \min \{ 2,5; 2; 3 \} = 2.$$

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. 2.31. Виконано порівняльний аналіз критеріїв, за якими знаходились оптимальні рішення (табл. 2.32). 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 2.31

Параметри моделі ПР Л-О в умовах невизначеності в ОВП (відмова генератора)			
Входи моделі ПР Л-О в ОВП			
<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
Критерій ефективності - величина потенційного збитку при ПР Л-О в ОВП			
<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)
Виходи моделі ПР Л-О в ОВП – оптимальні альтернативні рішення Л-О в разі ОВП			
<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	

Сучасні ПК, що експлуатуються в цивільній авіації, мають досить високі льотні характеристики, необхідний запас міцності конструкції, дубльоване керування, подвійний, в деяких випадках потрійний, комплект пілотажних приладів і систем, високу енергоозброєність, що забезпечує політ з двигуном, що відмовив, ефективну систему протипожежного захисту й інші пристрої, що гарантують надійність польоту в різних умовах, а також у разі відмови тих або інших агрегатів, систем або приладів. Проте високі технічні дані ПК можуть бути повністю використані лише за умови високої кваліфікації екіпажу. Це змушує підготовку екіпажу до польоту завжди проводити з урахуванням можливих непередбачених ситуацій.

Таблиця 2.32

Альтернативні рішення	ПР в умовах невизначеності, критерії			
	Вальда	Лапласа	Гурвіца	Севіджа
a <sub>1</sub> – переконатися в нормальній роботі генератора і продовжити політ	-	-	-	-
a <sub>2</sub> – вжити заходів для переходу на резервну систему і продовжити політ	a <sub>2</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>2</sub>
a <sub>3</sub> – вимкнути генератор і завершити політ	-	-	-	a <sub>3</sub>

Командир ПК й інші члени екіпажу розумними і своєчасними діями усувають загрозу безпеки польоту. ОВП завершується авіаційною подією, як правило, внаслідок несвоєчасних, помилкових і неузгоджених дій між командиром ПК і членами екіпажу. Ця обставина зобов'язує командира ПК і членів екіпажу завжди бути готовими успішно здолати труднощі, викликані особливою ситуацією. Тільки ретельно продумана підготовка до кожного польоту, чітка

злагоджена робота усіх членів екіпажу, їх уміння швидко і правильно оцінити обстановку, що склалася, а також спокійні і розумні дії усього екіпажу гарантують успішне виконання польоту.

Моделі розвитку польотних ситуацій доцільно використовувати у складі системи підтримки прийняття рішень, 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.

### **2.3.3. Прийняття рішень в умовах невизначеності щодо вибору оптимального аеродрому посадки**

Однією з задач, які вирішує екіпаж ПК у процесі передпольотної підготовки, є вибір запасних аеродромів та уточнення метеоумов на них. Натепер інформація, яка впливає на вибір ЗА, є детермінованою. Згідно з нормативними документами [14; 23], запасні аеродроми вибирають з урахуванням таких факторів: забезпечення мінімуму командира 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 [145]:

- 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 командира 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 [34; 298; 324].

Розглянемо рішення задач вибору запасного аеродрому і оптимального аеродрому посадки в випадку аварійної посадки методами ПР в умовах невизначеності.

#### **Задача знаходження оптимального аеродрому посадки в умовах вимушеної посадки ПК (аварійної посадки, складних метеоумов тощо).**

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 літератури.

4. Формування матриці рішень  $M = \|M_{ij}\|$ .

5. Обрання критерію ПР в умовах невизначеності:

- критерій Вальда;
- критерій Лапласа;
- критерій Гурвіца;
- критерій Севіджа.

Матриця можливих результатів прийняття рішень щодо вибору оптимального аеродрому посадки наведено в табл. 2.33.

Таблиця 2.33

**Матриця можливих результатів прийняття рішень щодо вибору оптимального аеродрому посадки**

Альтернативні рішення		Фактори, що впливають на ПР					
		$\lambda_1$	$\lambda_2$	...	$\lambda_j$	...	$\lambda_m$
$A_1$	$A_{\text{АПр}}$	$u_{11}$	$u_{12}$	...	$u_{1j}$	...	$u_{1n}$
$A_2$	$A_{\text{АВ}}$	$u_{21}$	$u_{22}$	...	$u_{2j}$	...	$u_{2n}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$A_i$	$A_{\text{ЗА}}$	$u_{i1}$	$u_{i2}$	...	$u_{ij}$	...	$u_{in}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$A_n$	$A_{\text{ЗА}}$	$u_{n1}$	$u_{n2}$	...	$u_{nj}$	...	$u_{nn}$

Приклад розрахунку оптимальному аеродрому посадки наведено в додатку Е.

Зазначені підходи до формалізації задачі вибору ЗА застосовуються для інформаційної підтримки оператора СППР – співробітника із забезпечення польотів/диспетчера (FOO/FD) під час планування, забезпечення польотів аеронавігаційною інформацією, в особливих випадках польоту у вигляді «підказок» із зазначенням кількісної та якісної оцінки можливих варіантів вибору з метою більш практичного плану чи ситуації [298; 324; 343]. Найкраща альтернатива для пасажирів і вантажів у випадку затримки, відміни рейсу чи посадки в іншому аеропорту обирається відповідним моделюванням критичної ситуації за допомогою теорії графів. Завдяки

використанню як критерію для оцінювання помилковості дій оператора ступеня ризику виникнення небажаних наслідків у результаті реалізації оператором певного рішення на кожному кроці виконання відповідного завдання дозволять удосконалити оцінку якості ПР оператором – співробітником із забезпечення польотів, в першу чергу, в особливих випадках польоту. В розроблених методичних вказівках до проведення занять з курсу «Теорія управління», розглянуто задачу вибору запасного аеродрому в процесі передпольотної підготовки екіпажу ПК за допомогою класичних критеріїв ПР в умовах невизначеності: Вальда, Лапласа, Гурвіца, Севіджа [172].

## 2.4. Нейромережевий аналіз прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи

### 2.4.1. Нейромережева модель оцінювання ефективності потенційних альтернатив завершення польоту

Застосування для розв'язання слабоформалізованої задачі вибору оптимальної альтернативи завершення польоту в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки ПК, апарату теорії прийняття рішень в умовах нестохастичної невизначеності (критерії Вальда, Севіджа, Лапласа, Гурвіца) [172; 195; 244; 299; 298; 324; 343; 348] дало змогу підбирати тільки найкращий варіант із найгірших, враховувати величину втрат при виборі замість оптимального варіанта іншого, підбирати оптимальний варіант, умовно вважаючи вплив усіх факторів рівнозначним, або застосовуючи суб'єктивний коефіцієнт оптимізму-песимізму. Недостатність статистики для отримання достовірних значень імовірностей впливу факторів, що характеризують потенційну альтернативу завершення польоту, на наслідки її вибору, не дозволила застосовувати критерії прийняття рішень в умовах стохастичної невизначеності [188]. Таким чином, основний недолік існуючих моделей оцінювання ефективності потенційних альтернатив полягає в неможливості врахування сумарного впливу на результат завершення польоту окремих факторів, що характеризують потенційне місце вимушеної посадки.

Постійний розвиток технічних засобів і впровадження нових методів та процедур навігації й УПР, удосконалення процесів організації, планування і забезпечення польотів приводять до значного збільшення обсягів знань і кількості навичок, якими повинен володіти оператор АНС для прийняття оперативних рішень.

Під час керування динамічним об'єктом (ПК) в екстремальних ситуаціях час на ПР жорстко обмежений. Тому однією з основних вимог є швидкодія наземної і бортової систем керування, чого можна домогтися завдяки застосуванню інтелектуальних систем інформаційної підтримки на основі штучних нейронних мереж (ШНМ).

Штучні нейронні мережі дозволяють з успіхом вирішувати проблеми розпізнавання образів, виконання прогнозів, оптимізації, асоціативної пам'яті, керування в складних системах, підготовки і стискування даних та ін. [41]. Відомі й інші, більш традиційні підходи до вирішення цих проблем, однак вони не мають необхідної гнучкості за межами відповідних умов [41; 124; 125; 266].

Штучний  $j$ -й нейрон задається сукупністю своїх входів (дендрити) –  $x_{ij}$ , ваговими коефіцієнтами входів (синапси) –  $w_{ij}$ , функцією стану (сома) –  $s_j$  та функцією активації (аксони) –  $f_j$  ( $i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$ ) [41; 124; 266; 352].

Функція стану  $s_j$  визначає стан нейрона залежно від його входів та ваг входів (рідше – ще й залежно від попередніх станів нейрона):

$$s_j = \sum_{i=1}^{n(j)} x_{ij} w_{ij}; j = \overline{1, m},$$

де  $n(j)$  – кількість входів  $j$ -го нейрона.

Функцією стану  $s_j$  задається деяке порогове значення  $\varepsilon$ . Якщо  $s_j > \varepsilon$ , вихідний сигнал нейрона  $y_j = 1$ , в іншому випадку  $y_j = 0$ . Таким чином, нейрон може перебувати лише у двох станах: активному (коли вихідний сигнал  $y_j = 1$ ) або пасивному ( $y_j = 0$ ).

Функція активації  $y = f(s)$  визначає вихідний сигнал нейрона як функцію його стану  $s$ . Найбільш поширеними функціями активації є ступенева та лінійна порогові, сигмоїдна, лінійна і гаусівська. Лінійні нейромережі застосовують нейрони з лінійною функцією активації. Нелінійні застосовують нелінійну функцію активації, наприклад, порогову або сигмоїдну.

Узагальнену структурну схему  $j$ -го нейрона показано на рис. 2.26.

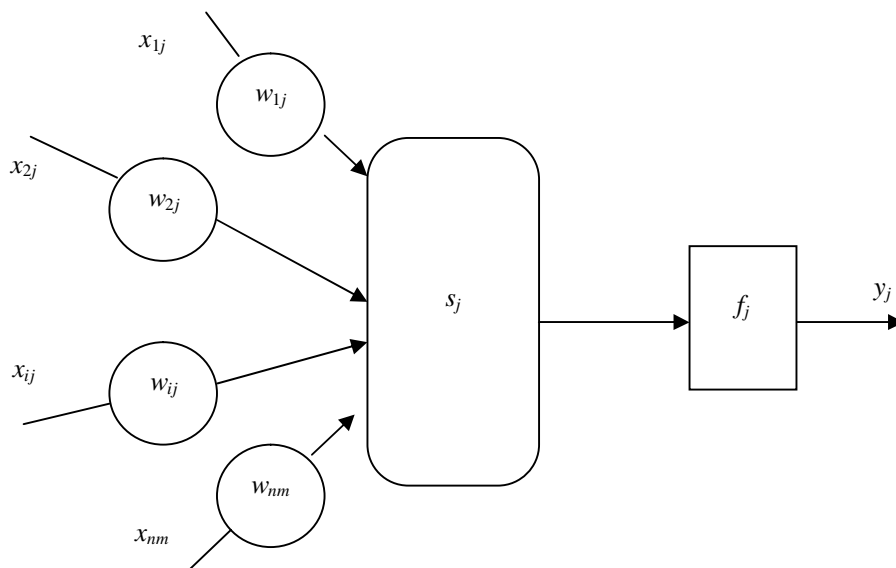


Рис. 2.26. Загальна структурна схема  $j$ -го нейрона

Штучні нейронні мережі утворюються шляхом послідовного або паралельного об'єднання окремих нейронів. Залежно від архітектури зв'язків нейромережі можуть бути згруповані в два класи:

- мережі прямого поширення (прямонаправлені), у яких зв'язки не мають петель;
- мережі рекурентного типу, у яких можливі зворотні зв'язки [4; 124; 266; 384].

Мережі прямого поширення підрозділяються на одношарові й багатшарові перцептрони (мережі) [386].

*Багатшарові мережі* відрізняються тим, що між вхідними і вихідними даними розміщуються сховані шари нейронів. Сховані шари являють собою нейрони, що не мають безпосередніх входів початкових даних, а зв'язані тільки з виходами вхідного шару і зі входом вихідного шару. Таким чином, сховані шари додатково перетворюють інформацію і додають нелінійності в моделі. Якщо *одношарова нейромережа* добре справляється із задачами класифікації, але не здатна вирішувати більшість практичних задач (що було доведено Мінським і Пейпертом) [386], то багатшаровий перцептрон із сигмоїдними вирішальними функціями здатен апроксимувати будь-яку функціональну залежність. Але при цьому не відома ні потрібна кількість шарів, ні потрібна кількість схованих нейронів, ні необхідний для навчання мережі час. Ці проблеми дотепер стоять перед дослідниками і розробниками нейромереж.

*Клас рекурентних нейромереж* набагато ширший, а самі мережі складніші за своєю будовою. Поводження рекурентних мереж описується диференціальними чи різницевиими рівняннями, як правило, першого порядку. Це набагато розширює галузі застосування нейромереж і способи їх навчання. Серед рекурентних мереж можна виділити мережі Хопфілда, Больтцмана й Кохонена [41; 266; 384]. Мережі прямого поширення є статичними в тому значенні, що на заданий вхід вони виробляють одну сукупність вихідних значень, що не залежать від попереднього стану мережі. Рекурентні мережі є динамічними, оскільки через зворотні зв'язки у них модифікуються входи нейронів, що приводить до зміни стану мережі.



Нейромережі можуть бути такими, що *конструюються*, і такими, що *навчаються*. У мережі, що конструюється, кількість і тип нейронів, вагові коефіцієнти та міжнейронні зв'язки визначаються у процесі створення мережі залежно від задачі, яка потребує вирішення. У мережі, що навчається, міжнейронні зв'язки й ваги змінюються в процесі виконання алгоритму навчання. Властивість нейромереж навчатися на прикладах робить їх більш привабливими порівняно із системами, що працюють згідно з визначеною системою правил функціонування, сформульованою експертами.

Для конструювання процесу навчання, насамперед, необхідно мати модель зовнішнього середовища, у якій функціонує нейронна мережа, тобто знати доступну для мережі інформацію. Ця модель визначає парадигму навчання. Потрібно зрозуміти, як модифікувати вагові параметри мережі, тобто правила навчання, які керують процесом настроювання.

Є три алгоритми навчання: «із учителем», «без учителя» (самонавчання) і змішаний [41; 124; 266; 384]. У випадку *навчання з учителем* на кожному кроці навчання вихідний вектор, що видається мережею, порівнюється із заданим цільовим вектором; ваги змінюються у випадку, якщо  $\bar{y} \neq \bar{y}_c$ . Для *навчання без учителя* точний цільовий вектор не задається, а ваги на кожному кроці злегка змінюються в довільному напрямку; у випадку поліпшення розрахованого вихідного вектора порівняно з попереднім значенням змінені ваги запам'ятовуються, у протилежному випадку вони забуваються. За *змішаного навчання* частина вагів визначається за допомогою навчання з учителем, у той час як інша отримується за допомогою самонавчання.

Теорія навчання розглядає три фундаментальні властивості, пов'язані з навчанням на прикладах: місткість, складність зразків і обчислювальна складність [387]. Під місткістю розуміють, скільки зразків може запам'ятати мережа і які функції й межі прийняття рішень можуть бути на ній сформовані. Складність зразків визначає кількість навчальних прикладів, необхідних для досягнення здатності мережі до узагальнення. Надто мала кількість прикладів може зумовити «перенавченість» мережі, коли вона добре функціонує на прикладах навчальної вибірки, але погано – на тестових прикладах, підлеглих тому ж статистичному розподілу.

Основними типами правил навчання є корекція помилок (для модифікації вагів використовується сигнал, отриманий як різниця між отриманим виходом мережі й бажаним виходом), машина Больцмана (настроювання вагових коефіцієнтів проводиться таким чином, щоб стан видимих нейронів задовольняв бажаний розподіл імовірностей), правило Хебба (зміна вагів залежить тільки від активності нейронів, з'єднаних даним зв'язком) і навчання методом змагання (у процесі навчання модифікуються тільки ваги нейрона, який одержав перемогу) [41; 136; 266; 386].

Російські вчені вже мають практику застосування багат шарових нейронних мереж для вирішення оперативних задач розпізнавання в польоті наземного технічного об'єкта і динамічних перешкод на фоні місцевості, а також маршрутизації низьковисотного польоту у випадку раптової зміни погоди [136].

Сутність пропонованого ними підходу до забезпечення максимальної оперативності прийняття рішень полягає в застосуванні складних процедур прийняття рішень, що являють собою в кожному функціональному блоці в загальному випадку багаторівневу структуру, яка образно називається «слоєним пирогом» [208].

За такої структури рішення може прийматися на кожному кроці або один, або кілька разів. У першому «шарі» використовуються прості процедури, що не потребують великих витрат часу і розраховані на найбільш імовірні випадки, що відбудуться в польоті в першу чергу. У випадку достатньої точності або несуперечності отриманого результату остаточне рішення приймається за мінімальний час. Якщо ж якість рішення незадовільна, то здійснюється перехід на наступний шар, де використовуються більш складні і трудомісткі процедури. Необхідна оперативність прийняття рішень досягається завдяки дозволу на перехід тільки в необхідних випадках. При цьому остаточна структура нейромережі визначається раціональною кількістю шарів, різною складністю процедур і правилами переходу від однієї процедури до іншої [143].

Для оптимізації процесу здобування інформації й отримання необхідних висновків у критичних і аварійних польотних ситуаціях, які вимагають від оператора прийняття

оперативних рішень, пропонується використовувати багатоварову рекурентну нейронну мережу, загальний вигляд якої показано на рис. 2.27. Ці мережі організуються так, що кожний нейрон отримує вхідну інформацію від інших нейронів, можливо, і від самого себе, і від навколишнього середовища. Доцільність застосування таких мереж ґрунтується на можливості моделювання нелінійних динамічних систем, до яких належить й авіаційна ергатична система. Ще однією особливістю нейромереж, які застосовуються для прийняття оперативних рішень, повинна бути їх здатність до навчання, що необхідно для постійного збільшення кількості розпізнаваних інтелектуальною системою польотних ситуацій.

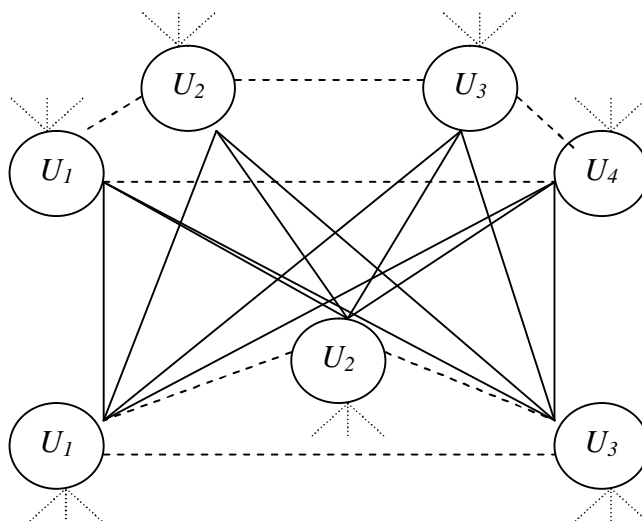


Рис. 2.27. Загальний вигляд багатоварової рекурентної нейронної мережі:  $U_{jk}$  – нейрони  $k$ -го шару;  $U_{jl}$  – нейрони  $l$ -го шару ( $j = \overline{1, m}$ )

Необхідно визначити підхід до розв'язання слабкоформалізованої задачі вибору оптимальної альтернативи завершення польоту в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки ПК, який забезпечить високу точність оцінки ефективності потенційних альтернатив з комплексним урахуванням факторів, що впливають на результат завершення польоту.

Для розв'язання неформалізованих та слабкоформалізованих задач традиційно використовуються два основні підходи. Перший, заснований на правилах (rule-based), характерний для експертних систем. Він базується на описанні предметної галузі у вигляді набору правил. Знання в цьому випадку виражається теоремою, істинність якої доводиться побудовою ланцюга висновку. Але за такого підходу необхідно знати весь набір закономірностей, що описують предметну галузь. У разі використання іншого підходу, заснованого на прикладах (case-based), класичним представником якого є ШНМ, треба лише мати достатню кількість прикладів для настроювання адаптивної системи із заданим ступенем достовірності.

Основним недоліком експертних систем є можливість їх недетерміністичного реагування, коли незначні зміни вхідних даних можуть приводити до вихідних результатів, що істотно розрізняються. Додаткова складність – навіть при аналогічних вхідних сигналах пошук рішення може відбуватись по різних гілках дерева рішень, унаслідок чого час відповіді може змінюватись залежно від глибини пошуку. Експертні системи можуть видавати тільки такі результати, для яких у них передбачена відповідна логіка. Велике різноманіття симптомів приводить до шарі «комбінаторного вибуху». Тому в задачах з великою кількістю факторів, що впливають на прийняття рішення, всі з яких фактично неможливо охопити правилами, доцільно використовувати ШНМ.

Таким чином, перевагами нейронних мереж є їх здатність до тренування на прикладах, робота в режимі реального часу, детермінована поведінка в часі (здатність працювати з даними, які не входили до навчальної вибірки) і робастність (можливість роботи з неповними вхідними

даними) [96], що й зумовлює вибір апарату ШНМ як методу розв'язання задачі вибору оптимального варіанта завершення польоту.

*Приклади нейромереж*

1. *Нейромережева модель оцінювання ефективності потенційних альтернатив завершення польоту* [226; 230; 233; 236].

Ефективність альтернативних варіантів завершення польоту оцінюється на основі двошарової прямонаправленої ШНМ (двошарового перцептрона) (рис. 2.28, табл. 2.34).

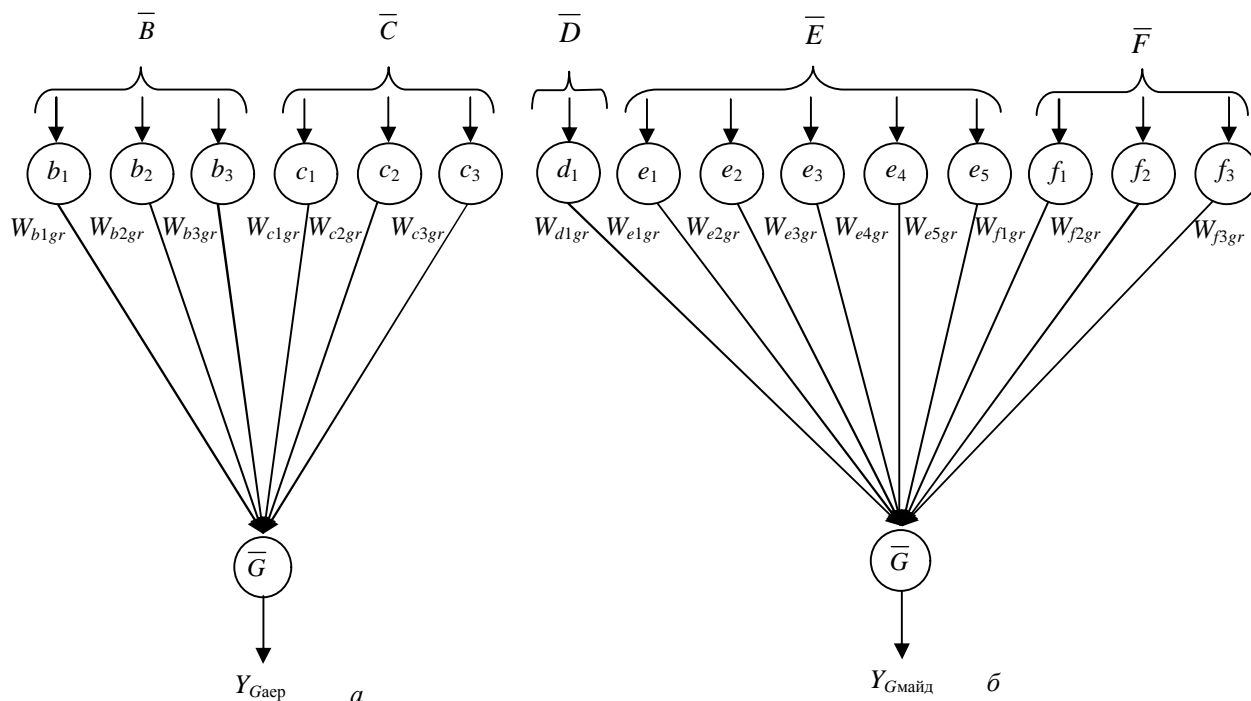


Рис. 2.28. Нейромережева модель оцінювання ефективності потенційних альтернатив завершення польоту: *a* – потенційна альтернатива завершення польоту – аеродром; *б* – потенційна альтернатива завершення польоту – майданчик

Таблиця 2.34

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

Входи ШНМ – характеристики потенційних місць посадки ПК (аеродром, майданчик)			
Аеродром	$\bar{B}$	$\bar{B} = \{b_i\}, i = \overline{1,3}$	Технічна придатність аеродрому
	$\bar{C}$	$\bar{C} = \{c_j\}, j = \overline{1,3}$	Придатність аеродрому за метеорологічними умовами
Майданчик	$\bar{D}$	$\bar{D} = \{d_k\}, k = \overline{1,1}$	Тип майданчика
	$\bar{E}$	$\bar{E} = \{e_l\}, l = \overline{1,5}$	Вид підстилаючої поверхні
	$\bar{F}$	$\bar{F} = \{f_m\}, m = \overline{1,3}$	Придатність майданчика за метеорологічними умовами
Критерій ефективності – величина потенційного збитку			
$\bar{G} = \{g_r\}, r = \overline{1,5}$	$g_1$	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	$Y_{\text{Гаер}}$	$f_G([\bar{B} \cup \bar{C}]W_{BC,G})$	Ефективність завершення польоту на аеродром
Майданчик	$Y_{\text{Гмайд}}$	$f_G([\bar{D} \cup \bar{E} \cup \bar{F}]W_{DEF,G})$	Ефективність завершення польоту на майданчик

Вхідними параметрами моделі у вигляді ШНМ є чинники, що характеризують потенційну альтернативу завершення польоту.

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

За критерій ефективності альтернативних варіантів завершення польоту  $Y_G$  прийнятий потенційний збиток внаслідок вибору певного альтернативного рішення при обмеженому часі польоту  $t_{\text{пол}} \leq t_{\text{кр}}$ :

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

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

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

Ефективність залежатиме від типу потенційного місця посадки та від того, які саме чинники його характеризують. Оптимальний варіант завершення польоту з мінімальним ризиком обирається на основі мінімізації потенційного збитку:

$$Y_{G_{\text{опт}}} = \min f_G(\bar{G}).$$

Навчання ШНМ відбувалось шляхом модифікації вагових коефіцієнтів зв'язків між нейронами до моменту, коли помилка досягає мінімального значення й перестає зменшуватись.

Методом навчання ШНМ було обране навчання з вчителем процедурою оберненого поширення помилки [41], 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:

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

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

$Y_j$  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  $\xi$ .

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.

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

5. Кінець.

Для навчання ШНМ був використаний алгоритм градієнтного спуску зі збуренням, який дозволяє подолати локальні нерівності поверхні помилки і не зупинитися 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.

Розроблена нейромережева модель на основі двошарового персептрона відрізняється від відомих тим, що дає можливість з більшим ступенем точності в реальному часі визначити величину можливого збитку завдяки комплексному врахуванню впливу різних за значущістю окремих факторів, які характеризують потенційне місце виконання вимушеної посадки.

Запропонована нейромережева модель оцінювання потенційного збитку дозволила підвищити ефективність вибору оптимальної альтернативи завершення польоту завдяки врахуванню сумарного впливу окремих факторів, що характеризують можливе місце виконання вимушеної посадки. Розроблену модель доцільно включити у вигляді інтелектуального модуля до складу системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях.

#### 2.4.2. Нейромережева модель аналізу можливості виконання польоту

Для забезпечення безпеки, регулярності й ефективності польотів міжнародної цивільної авіації екіпаж будь-якого типу ПК – від легких одномоторних до важких транспортних літаків – повинен мати можливість отримати різноманітну інформацію, яка може знадобитися під час виконання польотів, і прийняти обґрунтоване рішення на виліт. Екіпаж ПК повинен бути ознайомлений із правилами і процедурами всіх держав, над якими виконується політ, і жоден політ не повинен виконуватися доти, поки не буде повної впевненості у тому, що необхідні для польоту засоби й обслуговування перебувають у робочому стані.

Однак аналіз безпеки польотів показав, що причиною багатьох авіаційних подій стала незадовільна передпольотна підготовка екіпажів, а також переоцінка професійних можливостей командиром ПК у сукупності з недооцінкою активного впливу зовнішнього середовища при граничних метеорологічних умовах у процесі прийняття рішення на виконання польотів [394–398].

Часто екіпаж у дуже стислий термін повинен отримати інформацію про будь-яку зміну щодо функціонування засобів або служб, що забезпечують політ ПК. Незважаючи на те, що проведення консультацій, забезпечення інформацією і надання допомоги екіпажу ПК, необхідні для підготовки до польоту, часто потрібно забезпечити його інформацією вже під час виконання польоту для безпечного його завершення.

Щоденне надходження великого обсягу різної за своєю структурою інформації, яку необхідно швидко обробити і вчасно надати користувачам, викликає необхідність оперативної роботи служб забезпечення польотів. Але оскільки повноважні органи аеронавігаційної інформації і метеорології розрізняються за своїм характером і складом, то у більшості випадків порядок отримання передпольотної інформації пов'язаний з великими витратами праці й часто не забезпечує отримання своєчасної вибіркової інформації, що стосується конкретного польоту

[144; 145].

Крім того, у сучасних умовах критично важливого значення набуває вміння пілотів оцінити вхідну інформацію і правильно на неї відреагувати, тому інформацію важливо підготувати і надати таким чином, щоб полегшити її сприйняття.

Модель аналізу можливості виконання польоту побудовано за допомогою нейронної мережі [34; 309] (рис. 2.29), навченої з вчителем процедурою зворотного поширення помилки методом градієнтного наближення [121; 134; 284]. Цей метод дозволяє подолати локальні нерівності поверхні помилки і не зупинятись на локальних мінімумах. Ітерації навчання припиняються, коли помилка досягає мінімального значення і перестає зменшуватись. Нейронна мережа реалізована за допомогою нейропакета NeuroPro 0.25. Нейромережа застосовується в автоматизованій системі підготовки передпольотної інформації.

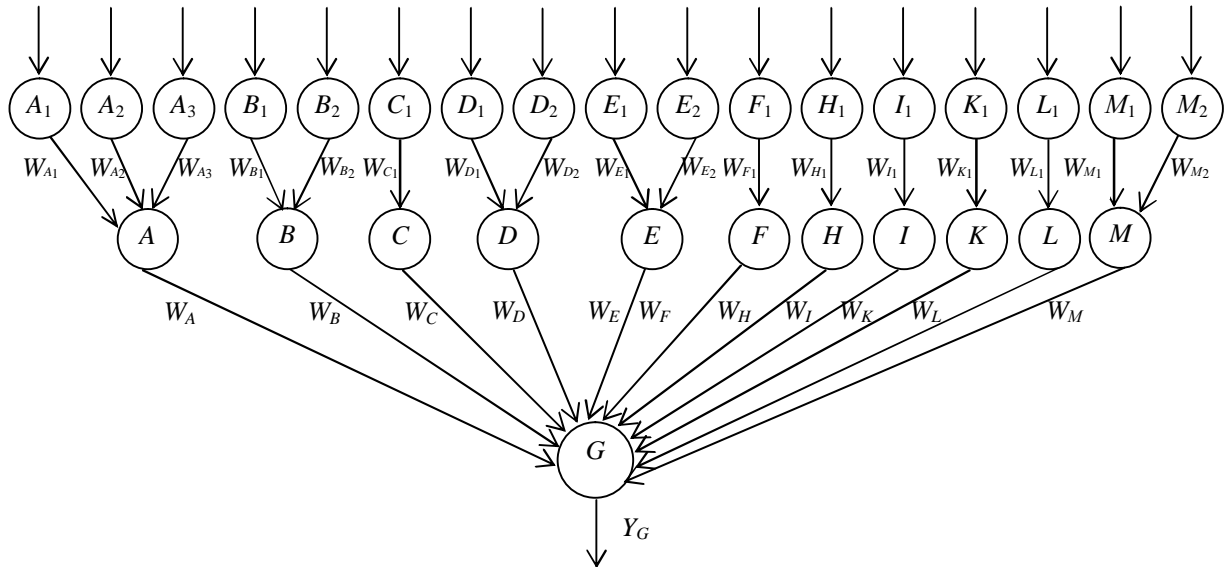


Рис. 2.29. Нейромережева модель аналізу можливості виконання польоту

Вхідними параметрами першого шару моделі є фактори, що аналізують стан підфакторів згідно з розробленими критеріями (табл. 2.35). Відповідно до кожного вхідного параметра ставиться бінарний вектор, що відображає результат стану факторів: відповідність (1) або невідповідність (0) необхідним умовам певного підфактора. Виходи першого шару є вхідними параметрами другого шару і відображають стан факторів. Бінарний вектор відображає оцінку стану фактора (чи задовольняють вони необхідні умови для виконання польоту): 1 – фактори відповідають, 0 – фактори не відповідають. Вихідним параметром моделі є оцінка щодо можливості виконання польоту  $\bar{G}$ :  $g_1$  – політ можливий (1),  $g_2$  – політ неможливий (0),  $\bar{G} = \{g_x\}, x = \overline{1,1}$ . Вхідні компоненти і відповідний їм вихід задаються відповідно до навчальної вибірки, підготовленої в пакеті MS Excel.

Була використана нейронна мережа з одним прихованим шаром (після другого шару). Розрахуємо кількість нейронів у прихованому шарі. Для оцінювання кількості нейронів у прихованих шарах використовується формула для оцінювання необхідної кількості синаптичних ваг  $L_w$  в багатозаровій мережі із сигмоїдними переданими функціями:

$$\frac{mN}{1 + \log_2 N} \leq L_w \leq m \left( \frac{N}{n} + 1 \right) (n + m + 1) + m,$$

де  $n$  – кількість вхідних нейронів (10);  $m$  – кількість вихідних нейронів (1);  $N$  – кількість елементів навчальної вибірки (50).

Оцінивши необхідну кількість ваг, можна розрахувати кількість нейронів у прихованих шарах:

$$\frac{N}{10} - n - m \leq L \leq \frac{N}{2} - n - m.$$

Таким чином, припускаємо кількість нейронів у прихованому шарі мережі – 10.

Таблиця 2.35

Таблиця критеріїв (оцінка стану факторів)

Фактори	Критерії оцінки	Результат наслідку	Коментарі
A	$A_1 \in A1 \wedge A_2 \in A3 \wedge A_3 \in A5$	A=1	Маса ПК задовольняє умови для зльоту і посадки
	Інакше	A=0	Маса ПК не задовольняє умови для зльоту і посадки
B	$B_1 \in B1 \wedge B_2 \in B3$	B=1	Метеоумови на АВ задовольняють можливість вильоту
	Інакше	B=0	Метеоумови на АВ не задовольняють можливість вильоту
C	$C_1 \in C1$	C=1	Усі небезпечні метеоявища відсутні
	Інакше	C=0	Наявне хоча б одне небезпечне метеоявище
D	$D_1 \in D3 \wedge D_2 \in D3$	D=1	Фактичні метеоумови на АПр задовольняють можливість вильоту
	Інакше	D=0	Фактичні метеоумови на АПр не задовольняють можливість вильоту
E	$E_1 \in E3 \wedge E_2 \in E3$	E=1	Прогнозні метеоумови на АПр задовольняють можливість вильоту
	Інакше	E=0	Прогнозні метеоумови на АПр не задовольняють можливість вильоту
F	$F_1 \in F1$	F=1	FPL прийнятий IFPS
	Інакше	F=0	FPL не прийнятий IFPS
H	$H_1 \in H1$	H=1	Стан АВ, АПр і повітряної обстановки відповідають умовам вильоту, посадки і польоту за маршрутом
	Інакше	H=0	Стан не відповідає
I	$I_1 \in I1$	I=1	ПК до польоту готовий
	Інакше	I=0	ПК до польоту не готовий
K	$K_1 \in K1$	K=1	Екіпаж ПК до польоту готовий
	Інакше	K=0	Екіпаж ПК до польоту не готовий
L	$L_1 \in L1$	L=1	ЗА обраний
	Інакше	L=0	ЗА не обраний
M	$M_1 \in M1 \wedge M_2 \in M3$	M=1	Професійні та непрофесійні якості екіпажу ПК у межах норми
	Інакше	M=0	Професійні та непрофесійні якості екіпажу ПК поза межами норми

Навчання ШНМ проводилося шляхом модифікації вагових коефіцієнтів зв'язків між нейронами до того моменту, коли помилка досягає мінімального значення і перестає зменшуватися.

Найбільш прийнятним методом навчання ШНМ є навчання з учителем процедурою зворотного поширення помилки, суть якого полягає в поширенні сигналів помилки від виходів нейронної мережі до її входів у напрямку, зворотному прямому поширенню сигналів у звичайному режимі роботи.

Для навчання використовувалася нелінійна сигмоїдна функція активації:

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

де  $a > 0$ .

Вихідні поля у процесі навчання мережі оцінювалися методом найменших квадратів з люфтом, коли мінімізується цільовою функцією помилки нейронної мережі, є величина:

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

де  $P(\Delta) = \begin{cases} (|\Delta| - 1)^2, & \text{якщо } |\Delta| \geq 1; \\ 0, & \text{якщо } |\Delta| < 1; \end{cases}$   $Y_j$  і  $Y'_j$  – відповідно вихід за навчальною вибіркою і вихід

нейронної мережі;  $\varepsilon$  – люфт, який може змінюватися від нуля до меж діапазону зміни значень цього поля. За допомогою нейропакета NeuroPro 0.25 люфт автоматично визначається в 10% від діапазону, при цьому мережа навчається прогнозувати значення даного поля з точністю  $\pm 10\%$  від діапазону зміни значень, що цілком задовольняє вимогам.

#### Алгоритм навчання персептронів:

Крок 1. Ініціювати елементи у ваговій матриці випадковими числами в інтервалі [0-1].

Крок 2. Подати на вхід бінарний вектор вхідних компонентів і розрахувати виходи розглянутої мережі.

Крок 3. Якщо вихід правильний, тобто ШНМ навчилася відрізняти входи – перейти до кроку

5. В іншому випадку обчислити різницю між необхідними і отриманими значеннями виходів  $\xi$ .

Модифікувати ваги відповідно до формули:

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

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

Крок 4. Повторити цикл з кроку 2, поки на виході мережі не отримаємо  $Y_j = Y'_j$  або  $\xi$ , що задовольняє постановку задачі.

Крок 5. Кінець.

Для навчання ШНМ був використаний алгоритм градієнтного спуску зі збуренням, який дозволяє згладжувати різкі скачки при переміщенні по поверхні цільової функції і не зупинятися на локальних мінімумах. Метод зворотного поширення з урахуванням збурення реалізує зростання 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.

Тестування мережі на прикладах, що не входять в навчальну вибірку, показало високу точність формування оцінки про можливість виконання польоту (помилка  $\Delta$  між дійсними оцінками та отриманими за допомогою мереж становить не більше 10%), що підтверджує достовірність запропонованої моделі.



### 2.4.3. Нейромережа допуску слухача / студента в системі передтренажерної підготовки на етапі початкової підготовки спеціалістів з обслуговування повітряного руху

Особливу роль у зниженні впливу людського фактора відіграє роль та якість професійної підготовки авіаційних фахівців. Важливою складовою професійної підготовки авіаційних диспетчерів є тренажерна підготовка.

Згідно з рекомендаціями Євроконтролю та з метою оптимізації ефективності тренажерної підготовки теоретичне і практичне навчання поєднується із самого початку процесу підготовки за допомогою системи передтренажерного навчання. Процес навчання розпочинається із здобуття слухачами / студентами навичок (Skill Acquisition), потім здійснюється практика виконання окремих завдань (Part-Task Practice) та продовжується тренажерною підготовкою [374; 375].

Пропонується автоматизоване оцінювання навиків у процесі проведення передтренажерної підготовки з інтерактивною оцінкою, коментарями та управлінням діями слухача/студента та можливістю зворотного зв'язку за допомогою таких методів:

- апарат нечітких множин для отримання кількісної оцінки здобутих навиків;
- нейронна мережа для вибору та оцінювання навчальних дисциплін, які повинен опанувати слухач / студент у процесі проведення передтренажерної підготовки;
- метод експертних оцінок для визначення значущості навчальних дисциплін;
- методи агрегування для визначення комплексного показника рівня знань у процесі проведення передтренажерної підготовки.

Тренажерна підготовка проводиться на комплексних диспетчерських тренажерах і має на меті удосконалення технології роботи диспетчерського складу і відпрацювання практичних навичок з ОПП в очікуваних умовах і конфліктних ситуаціях, в особливих умовах і особливих випадках в польоті ПК. Основною метою тренажерної підготовки авіадиспетчера є набуття практичних умінь та навичок роботи на диспетчерських пунктах: аеродромна диспетчерська вишка (GROUND, TOWER), диспетчерське обслуговування підходу, районний диспетчерський центр у складі диспетчерської зміни за вправами з різним ступенем складності. Тобто слухач / студент, який пройшов курс теоретичного навчання, отримав відповідні знання, навички і вміння відповідно до вимог державних стандартів освіти (ОКХ, ОПП, засобів діагностики) за навчальними планами підготовки фахівця з ОПП, має бути допущеним до відпрацювання практичних навичок з ОПП у тренажерному центрі ОПП після проходження передтренажерного етапу початкової підготовки. Наявність передтренажерного етапу під час початкової підготовки дає змогу значно підвищити якість та ефективність засвоєння практичних навичок з ОПП у процесі тренажерної підготовки.

*Передтренажерне навчання (Pre-Simul: pre-simulation)* дозволяє в обмеженому режимі або в реальному масштабі часу відпрацьовувати навички, необхідні для виконання робочих завдань диспетчера (можливо на засобах, що не відповідають реальним) [375]. Типами передтренажерної підготовки є:

- здобуття навичок Skill Acquisition (SA) – дозволяє в обмеженому режимі або у реальному масштабі часу відпрацьовувати навички, необхідні для виконання робочих завдань диспетчера (можливо на обладнанні, що не відповідає реальному);
- практика виконання окремих завдань Part-Task Practice (PTP) – дозволяє в обмеженому режимі або в реальному масштабі часу відпрацьовувати навички, необхідні для виконання робочих завдань диспетчера на обладнанні, що відповідає реальному;
- кероване набуття навиків (GSA – Guided SA) – набуття навиків, що супроводжується інтерактивною оцінкою, коментарями та управлінням діями слухача / студента;
- керована практика виконання окремих завдань (GPTP – Guided PTP) - практика виконання окремих завдань, що супроводжується коментарями, відображенням результатів, оцінкою дій слухача / студента та можливістю зворотного зв'язку.

Пропонується автоматизоване оцінювання навиків у процесі проведення передтренажерної підготовки з інтерактивною оцінкою, коментарями та управлінням діями слухача / студента і можливістю зворотного зв'язку за допомогою таких методів:

- апарат нечітких множин для отримання кількісної оцінки здобутих навиків;
- нейронна мережа для вибору та оцінювання навчальних дисциплін, які повинен опанувати слухач / студент у процесі проведення передтренажерної підготовки;
- метод експертних оцінок для визначення значущості навчальних дисциплін;
- методи агрегування для визначення комплексного показника рівня знань у процесі проведення передтренажерної підготовки:

$$W_j = \sum_{i=1}^n \omega_i F_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m},$$

де  $F_{ij}$  – навчальні дисципліни, які повинен знати слухач/студент [16];  $w_{ij}$  – вагові коефіцієнти значущості навчальних дисциплін відповідно до оціненого рівня знань слухача / студента, визначені методом експертних оцінок.

Для автоматизації оцінювання передтренажерного етапу початкової підготовки побудовано нейронні мережі типу багатошаровий (рис. 2.30–2.31) [366].

На рис. 2.30 зображено нейромережу допуску слухача / студента до тренажерної підготовки за кількістю годин. Вона являє собою нейронну мережу типу багатошаровий персептрон з одним скритим шаром:

1-й рівень – розрахунок годин на теоретичну підготовку відповідно до оціненого рівня знань слухача / студента;

2-й рівень – обмеження на задану кількість годин (скритий шар);

$T$  – загальна кількість годин, що відводиться на всі навчальні дисципліни;

$w_i$  – вагові коефіцієнти (синапси) пріоритету  $i$ -ї дисципліни, наприклад,  $w_1$  – вага дисципліни «ОПР»,  $w_2$  – вага дисципліни «Організація повітряного руху»,  $w_3$  – вага дисципліни «Радіотелефонія» тощо;

$x_i$  –  $i$ -та теоретична навчальна дисципліна;

$f_{ij}(x)$  – порогова функція активізації  $i$ -ї навчальної дисципліни  $j$ -го шару нейромережі.

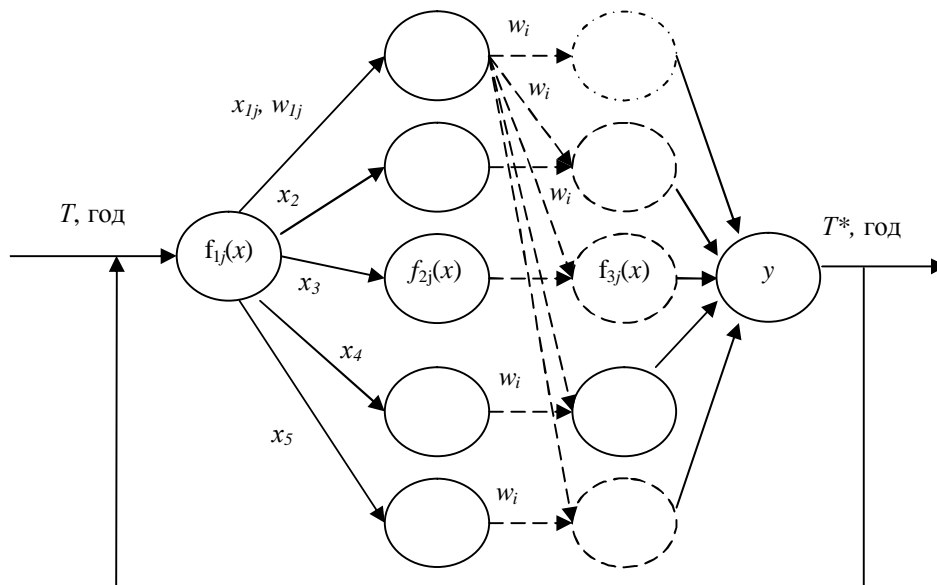


Рис. 2.30. Нейромережа допуску слухача / студента до тренажерної підготовки за кількістю годин

Нейромережу допуску слухача / студента тренажерної підготовки за кількістю годин і кількістю прохідних балів показано на рис. 2.31. Вона являє собою нейронну мережу типу багатошаровий перцептрон з двома скритими шарами:

1-й рівень – розрахунок годин на теоретичну підготовку відповідно до оціненого рівня знань слухача / студента;

2-й рівень – обмеження на задану кількість годин (скритий шар);

3-й рівень – обмеження на прохідний бал (скритий шар);

$T$  – загальна кількість годин, що відводиться на всі навчальні дисципліни;

$W$  – мінімальна кількість прохідних балів;

$w_i$  – вагові коефіцієнти (синапси)  $i$ -ї дисципліни, наприклад,  $w_1$  – вага дисципліни «ОПР»,  $w_2$  – вага дисципліни «Організація повітряного руху»,  $w_3$  – вага дисципліни «Радіотелефонія» тощо;

$w_j$  – вагові коефіцієнти (синапси) для розрахунку балів  $i$ -ї дисципліни.

$x_i$  –  $i$ -та теоретична навчальна дисципліна;

$f_{ij}(x)$  – порогова функція активізації  $i$ -ї навчальної дисципліни  $j$ -го шару нейромережі;

$f_{1j}(x)$  – порогова функція активізації  $i$ -ї навчальної дисципліни  $j$ -го шару нейромережі за годинами;

$f_{2j}(x)$  – порогова функція активізації  $i$ -ї навчальної дисципліни  $j$ -го шару нейромережі за балами.

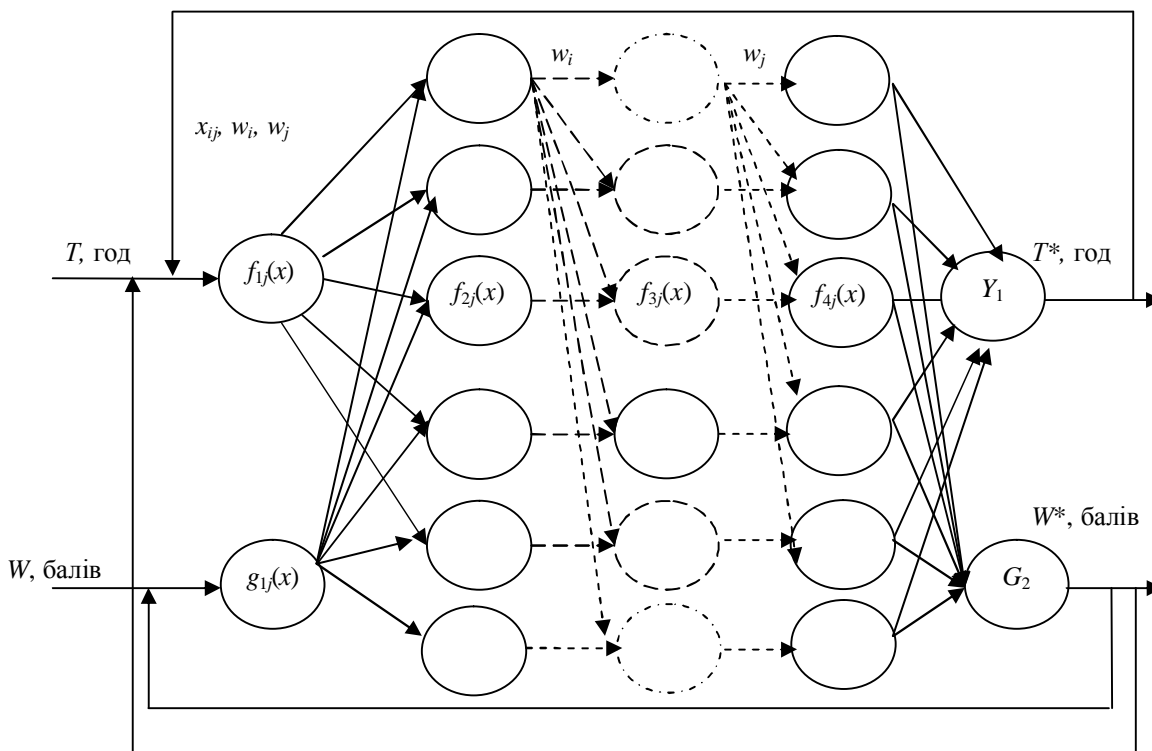


Рис. 2.31. Нейромережа допуску слухача / студента до передтренажерної підготовки за кількістю годин і кількістю прохідних балів

Розрахунок готовності студента за допомогою нейронної мережі в MS Excel показано на рис. 2.32.

№ п/п	Дендрити (входи)	Ранги переваг $R_i$	$C_i$	Вагові коеф. (синапси) $W_i$	Кількість годин на вивчення дисциплін (значення дендритов (входів) $X_i$	Розрахункова кількість годин на підготовку $W_i X_i$ (аксони)	мін. кл. годин	обмеж. на мін. кл. год.	макс. кл. годин	обмеж. на макс. кл. год.
1	ОПР	1	1	0,172413793	200	34,48275862	10,344828	готовий	34,4828	готовий
2	ОрПР	3	0,8	0,137931034	200	27,5862069	10,344828	готовий	34,4828	готовий
3	Радіотелефонія	3	0,8	0,137931034	200	27,5862069	10,344828	готовий	34,4828	готовий
4	Повітряне право	8	0,3	0,051724138	200	10,34482759	10,344828	готовий	34,4828	готовий
5	Повітряний корабель	6	0,5	0,086206897	200	17,24137931	10,344828	готовий	34,4828	готовий
6	Повітряна навігація	6	0,5	0,086206897	200	17,24137931	10,344828	готовий	34,4828	готовий
7	Авіаційна метеорологія	6	0,5	0,086206897	200	17,24137931	10,344828	готовий	34,4828	готовий
8	РТЗ	8	0,3	0,051724138	200	10,34482759	10,344828	готовий	34,4828	готовий
9	Авіоніка	8	0,3	0,051724138	200	10,34482759	10,344828	готовий	34,4828	готовий
10	Англійська мова	3	0,8	0,137931034	200	27,5862069	10,344828	готовий	34,4828	готовий
11	Навчання, годин	200	5,8	1		200		ИСТИНА		ИСТИНА
12	Мін. наван.	10,344828								
13	Макс. наван.	34,482759			функція активації	готов				

Рис. 2.32. Розрахунок готовності студента за допомогою нейронної мережі

Автоматизація оцінювання передтренажерного етапу початкової підготовки спеціалістів з ОПР підвищує ефективність тренажерної підготовки за рахунок інтерактивної оцінки в процесі виконання слухачами / студентами робочих завдань. Виконання часткових завдань супроводжується коментарями, відображенням результатів, оцінкою дій слухача / студента та можливістю зворотного зв'язку.

#### 2.4.4. Нейронно-експертна система діагностики помилкових дій оператора аеронавігаційної системи

Гібридні нейронно-експертні системи є перспективним напрямом розвитку нейроінформаційних технологій [121]. Штучні нейронні мережі мають багато переваг порівняно з традиційними й заснованими на знаннях системами діагностики [41]. Вони можуть бути натреновані на прикладах, працюють у реальному часі, надійні й толерантні до помилок. За допомогою ШНМ розпізнається стан хворого, виконується прогноз на фондовому ринку, надається кредит, діагностується стан обладнання, керується робота двигуна та ін. [41; 196].

Штучні нейронні мережі створюються шляхом послідовного або паралельного об'єднання окремих нейронів. Залежно від виду зв'язків нейромережі групуються в два класи: прямонаправлені мережі (у яких зв'язки не мають петель) і рекурентні мережі (зі зворотними зв'язками) [41; 121; 125; 196; 284]. Серед прямонаправлених мереж найбільш поширені одношаровий і багатшаровий перцептрон, когнітрон, а також мережі радіальних базисних функцій (RBF); серед рекурентних можна виділити мережі Хопфілда, Больцмана і Кохонена [41; 121; 125; 196; 284].

Можлива програмна й апаратна реалізація ШНМ [41; 284]. Розроблено спеціальні засоби, що дозволяють користувачу самостійно моделювати необхідний тип ШНМ; як приклад можна навести програмний пакет STATISTICA Neural Networks [196], що дозволяє конструювати прямонаправлені мережі.

Розглянемо приклад побудови експертної системи на базі ШНМ для діагностики навичок прийняття рішень оператором авіаційної ергатичної системи в ОВП.

У разі виникнення ОВП часто доводиться вибирати оптимальний варіант завершення польоту, що в загальному випадку є багатокроковим процесом прийняття рішень і може являти собою багатшарову структуру [231; 232] (рис. 2.33). Кожний шар реалізується як окрема малорозмірна попередньо навчена нейронна мережа (рис. 2.34), дані для навчання якої є прикладами вхідних змінних і відповідних їм виходів.

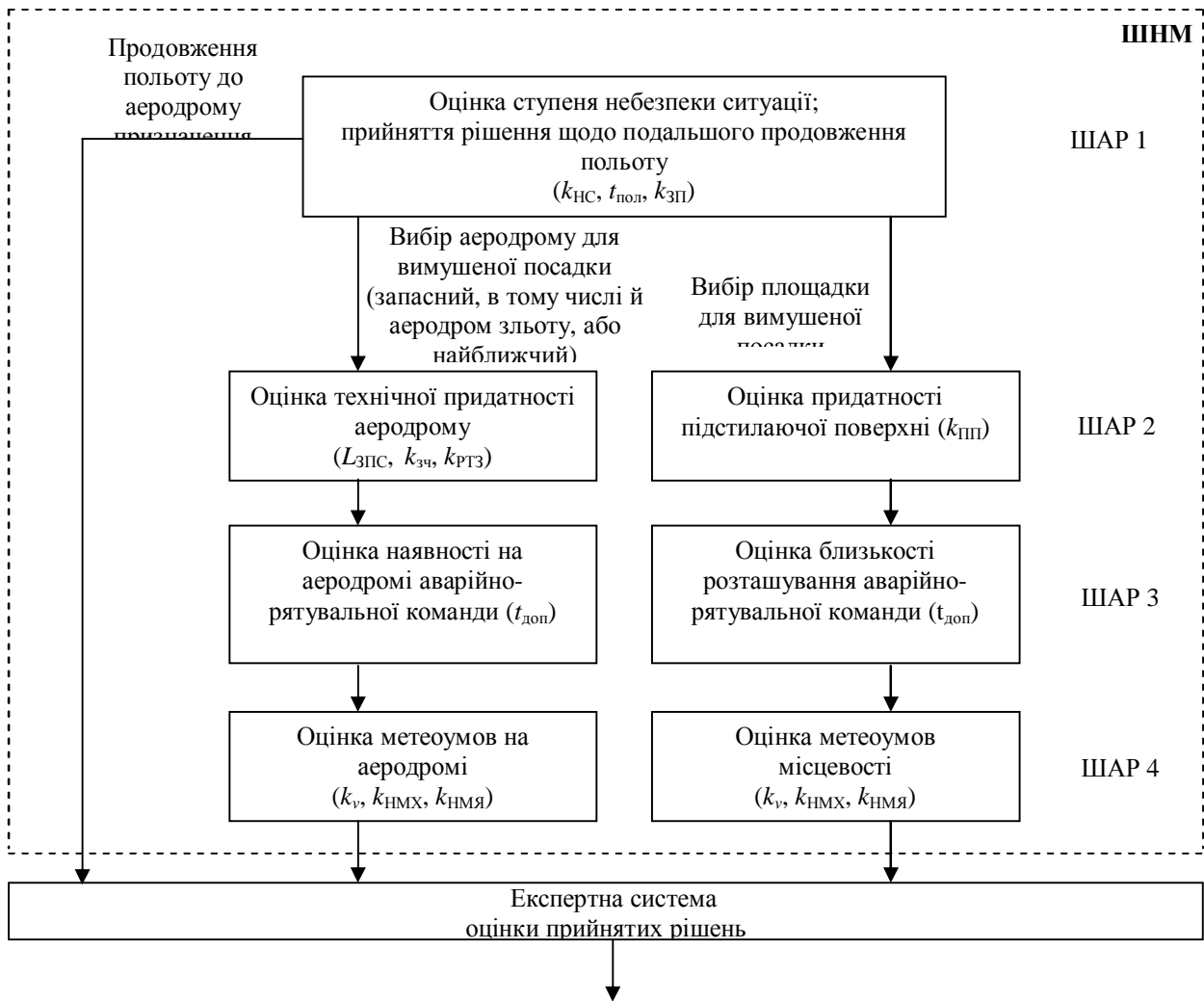


Рис. 2.33. Багатошарова нейромережева структура процесу вибору оптимального варіанта завершення польоту:  $k_{НС}$  – коефіцієнт, що характеризує ступінь небезпеки ситуації на борту ПК;  $t_{пол}$  – час польоту ПК;  $k_{ЗП}$  – коефіцієнт, що характеризує залишок палива на ПК;  $L_{ЗПС}$  – довжина ЗПС;  $k_{зч}$  – коефіцієнт зчеплення ЗПС;  $k_{РТЗ}$  – коефіцієнт, що характеризує наявність на аеродромі радіотехнічних засобів посадки;  $k_{пп}$  – коефіцієнт, що характеризує тип підстилаючої поверхні місцевості;  $t_{доп}$  – час, через який аварійне ПК може отримати допомогу;  $k_v$ ,  $k_{НМХ}$ ,  $k_{НМЯ}$  – коефіцієнти, що характеризують наявні метеорологічні умови (видимість, висоту нижньої межі хмарності, небезпечні метеорологічні явища).

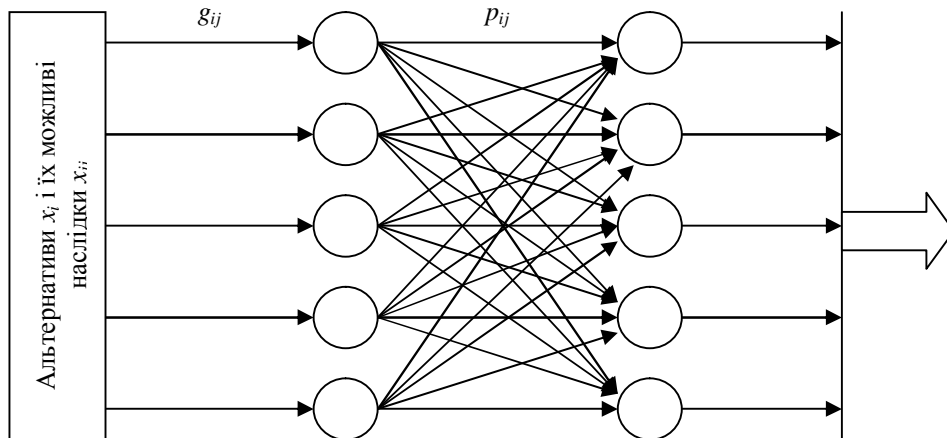


Рис. 2.34. Структурне зображення  $k$ -го шару нейронної мережі

Дії оператора оцінюються шляхом вимірювання відхилення  $\Delta R$  величини ризику обраної альтернативи завершення польоту  $R_{\text{обр}}$  від оптимальної стратегії  $R_{\text{опт}}$ , що визначається згідно з критерієм мінімізації ризику виникнення небажаних наслідків:

$$\Delta R = R_{\text{обр}} - R_{\text{опт}}.$$

При цьому техногенний ризик  $R$  ( $R_{\text{обр}}$ ,  $R_{\text{опт}}$ ) визначається як добуток величини потенційного збитку  $G$  і ймовірності  $P$  виникнення наслідку, що характеризується цим збитком [52; 191]:

$$R = P \times G.$$

Реалізація оператором авіаційної ергатичної системи  $i$ -ї альтернативи може привести до таких можливих наслідків  $x_{ij}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ;  $j = \overline{1, m}$  [224]:

- інциденту, що не потребує зміни плану польоту;
- інциденту, що закінчується вимушеною посадкою;
- поломки авіаційної техніки;
- аварії;
- катастрофи.

Кожний наслідок  $x_{ij}$  характеризується величиною потенційного збитку  $g_{ij}$  і ймовірністю  $p_{ij}$  виникнення  $j$ -го збитку в результаті реалізації  $i$ -ї альтернативи.

Розглянемо модель формування на основі ШНМ оцінки ефективності обраної оператором альтернативи в задачі вибору оптимального варіанта завершення польоту (рис. 2.33):

$$y_i = g_{ij} f(x_i), \quad i = \overline{1, n},$$

де  $g_{ij}$  – ваговий параметр мережі, що являє собою величину потенційного збитку внаслідок виникнення  $j$ -го наслідку прийняття рішення при реалізації  $i$ -ї альтернативи. У результаті проведення експерименту із застосуванням апарату теорії нечітких множин були отримані кількісні показники величини потенційного збитку  $g_{ij}$  для кожного можливого наслідку прийняття рішення: інцидентам, що потребують зміни плану польоту, відповідає кількісне значення можливого збитку 10 од.; інцидентам, що закінчуються вимушеною посадкою – 30 од.; поломкам авіаційної техніки – 50 од.; аваріям – 80 од.; катастрофам – 100 од.;

$$f(x_i) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x_i > 0; \\ 0, & \text{якщо } x_i = 0; \end{cases}$$

$$y_j = y_i p_{ij} f(x_{ij}), \quad i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m},$$

де  $p_{ij}$  – ваговий параметр мережі, що являє собою ймовірність виникнення  $j$ -ї величини збитку в результаті реалізації  $i$ -ї альтернативи і є добутком ймовірностей двох незалежних подій:

$$p_{ij} = p_{\text{заг}} p_{\text{КС}},$$

де  $p_{\text{заг}}$  – загальна ймовірність виникнення  $j$ -го наслідку прийняття рішення, що визначається за статистичними даними;  $p_{\text{КС}}$  – ймовірність виникнення  $j$ -го наслідку прийняття рішення в результаті реалізації  $i$ -ї альтернативи при розвитку певної ситуації, яка через брак статистичних даних визначається за допомогою спеціальних методів, заснованих на виявленні й вимірюванні переваг [58; 192];

$$f(x_{ij}) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x_{ij} > 0; \\ 0, & \text{якщо } x_{ij} = 0. \end{cases}$$

Якщо  $f(x_i) = 1$ , то нейронна мережа може розглядатися як одношарова і тоді:

$$y_j = g_{ij} p_{ij} f(x_{ij}), \quad i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}.$$

Оцінка на  $k$ -му шарі:

$$R = \sum_{j=1}^m y_j.$$

Підхід із застосуванням гібридної нейроекспертної системи дає змогу оптимізувати процес діагностики помилкових дій оператора авіаційної ергатичної системи в особливих випадках польоту. Традиційні й експертні системи діагностики не здатні до навчання, тобто можуть видавати тільки такі результати, для яких у них передбачено відповідну логіку. Тому для численних альтернативних рішень і їх наслідків, всі з яких фактично неможливо охопити правилами (в тому числі й для задачі вибору оптимального варіанта завершення польоту), доцільно використовувати ШНМ.

Таким чином, нейромереві моделі дозволять:

- підвищити ефективність вибору оптимальної альтернативи завершення польоту завдяки врахуванню сумарного впливу окремих факторів, що характеризують можливе місце виконання вимушеної посадки;
- удосконалити інформаційну підтримку екіпажу ПК у процесі передпольотної підготовки завдяки здатності розпізнавати ситуації (види польотів), відбирати необхідну інформацію і оптимізувати умови сприйняття даних;
- підвищити ефективність тренажерної підготовки завдяки автоматизації оцінювання передтренажерного етапу початкової підготовки спеціалістів з ОНР за рахунок інтерактивної оцінки в процесі виконання слухачами / студентами робочих завдань;
- оцінювати помилкові дії Л-О АНС в ОВП у процесі тренажерної підготовки і професійної діяльності.

### **Висновки**

1. Розроблено детерміновані моделі ПР Л-О АНС. Виконано мережевий аналіз дій екіпажу ПК та авіадиспетчера в ОВП за допомогою методів мережевого планування, в результаті якого отримано:

- структурно-часову таблицю дій Л-О в ОВП;
- мережевий графік виконання дій Л-О в ОВП;
- критичний час виконання дій Л-О в ОВП.

2. Виконано структурний аналіз розвитку ОВП та ПР екіпажем ПК і авіадиспетчером в ОВП, у результаті якого отримано стохастичні моделі ПР Л-О в ОВП в умовах ризику типу мережі GERT (Graphical Evaluation and Review Technique), дерева рішень та марковської мережі.

3. Формалізовано якісні характеристики рівня ризику в умовах розвитку польотної ситуації та величини потенційного збитку за допомогою функцій належності в умовах нечіткої інформації.

4. Проаналізовано розвиток 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.

5. Розроблено нейромереві моделі ПР Л-О АНС.

### 3. АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ПОЛЬОТНИХ СИТУАЦІЙ У РАЗІ ВИНИКНЕННЯ ОСОБЛИВОГО ВИПАДКУ В ПОЛЬОТІ

#### 3.1. Моделі переваг оператора аеронавігаційної системи в разі впливу факторів непрофесійного характеру

##### 3.1.1. Моделі переваг людини-оператора для визначення впливу соціально-психологічних факторів

Розроблені авторами детерміновані моделі ПР в умовах нормованих алгоритмів професійної діяльності Л-О, стохастичних моделей ПР Л-О в умовах впливу зовнішнього середовища тощо (табл. 3.1) дозволяють досліджувати закономірності діяльності операторів як в очікуваних умовах експлуатації ПК, так і в неочікуваних умовах експлуатації ПК, та попереджувати і прогнозувати розвиток польотних ситуацій.

Таблиця 3.1

**Детерміновані та стохастичні моделі ПР Л-О АНС**

№ з/п	Назва моделі	Вихід моделі
1	Детерміновані мережеві моделі ПР Л-О з детермінованим часом на виконання операційних процедур (дій) Л-О в ОВП відповідно до чіткого алгоритму дій, що прописані у нормативних та регламентуючих документах	Час на парировання ОВП
2	Детерміновані мережеві моделі ПР Л-О з детермінованим та імовірнісним часом на виконання операційних процедур (дій) Л-О в ОВП відповідно до технології робіт ЛПР	Середній, мінімальний і максимальний час на парировання ОВП
3	Стохастичні моделі ПР Л-О в ОВП в умовах ризику, які за допомогою структурно-логічного підходу (дерева рішень) враховують імовірнісні реалізації рішення в залежності від впливу зовнішнього середовища (метеоумов, технічних факторів тощо).	Очікуваний ризик ПР Л-О
4	Нечіткі моделі ПР Л-О	Рівень ризику, величина потенційного збитку
5	Стохастичні моделі ПР Л-О в ОВП в умовах невизначеності, в яких рішення обирається з множини альтернативних рішень, на які впливають фактори зовнішнього середовища (метеоумови, технічні характеристики аеродрому, місця посадки, ПК тощо)	Оптимальна альтернатива ПР в умовах невизначеності
6	Нейронні багатофакторні моделі ПР Л-О оптимального вибору	Альтернативні варіанти завершення польоту
7	Стохастичні моделі розвитку польотних ситуацій, які за допомогою альтернативного імовірнісного мережевого аналізу типу GERT, дозволяють прогнозувати розвиток польотних ситуацій в бік ускладнення і навпаки	Математичне очікування часу на перехід польотних ситуацій
8	Марковська мережа розвитку польотних ситуацій	Імовірності станів польотних ситуацій

Можливі переходи польотної ситуації у бік покращення чи погіршення залежать від дії умов навколишнього середовища, а також від факторів, що впливають на Л-О при ПР. Навколишні умови визначають реакцію Л-О, а його реакція, у свою чергу, змінює умови навколишнього середовища. Для дослідження закономірностей діяльності операторів і моделювання розвитку польотних ситуацій проведений системний аналіз і формалізація факторів, що впливають на Л-О, математичне моделювання діяльності операторів АНС як складної соціотехнічної системи.

Урахування впливу індивідуально-психологічних, психофізіологічних та суспільно-психологічних факторів зовнішнього середовища на ПР Л-О АНС [272; 273; 355; 356; 357; 390; 391] дозволяє прогнозувати його дії в ОВП, моделювати можливий розвиток польотної ситуації у бік ускладнення і навпаки.

Для визначення очікуваних ризиків ПР Л-О з урахуванням його концепції поведінки отримано системи переваг Л-О в АНС (пілота, диспетчера) значущості впливу факторів соціально-психологічного й індивідуально-психологічного характеру на ПР у разі виникнення аварійної польотної ситуації (табл. 1.4, 1.7 і 1.10):



1. Професійні фактори  $\bar{F}_p = \{F_{ed}, F_{exp}\}$ :

$F_{ed}$  – професійне навчання;

$F_{exp}$  – професійна діяльність.

Результатом оцінювання професійних факторів є відповідні знання; навички; вміння.

2. Непрофесійні фактори  $\bar{F}_{np} = \{F_{ip}, F_{pf}, F_{sp}\}$ :

$F_{ip}$  – індивідуально-психологічні якості Л-О;

$F_{pf}$  – психофізіологічні якості Л-О;

$F_{sp}$  – соціально-психологічні якості Л-О.

У процесі професійного навчання, професійної діяльності та набутого досвіду індивідуальні якості Л-О трансформуються в систему ПВЯ, які забезпечують успішне формування професійних навиків та їх надійність в екстремальних умовах діяльності. Для дослідження закономірностей діяльності Л-О в АНС, як СТС особливу значущість мають особистісні властивості Л-О. Вплив факторів непрофесійного характеру (соціально-психологічних) на професійну діяльність людини-оператора АНС розглянуто в працях [360–362; 272; 273; 355; 356; 357; 390; 391].

Для отримання моделей переваг Л-О під впливом навколишнього середовища визначені кількісні значення факторів соціально-психологічного ( $F_{sp}$ ) та індивідуально-психологічного ( $F_{ip}$ ) характеру у вигляді вагових коефіцієнтів, що являють систему переваг людини-оператора (пілота, диспетчера).

Значення психофізіологічних факторів ( $F_{sp}$ ) отримані за допомогою комп'ютерної програми «Діагностика емоційного стану людини-оператора», що призначена для збору даних про роботу екіпажу, аналізу дій Л-О і прогнозування його функціональної стійкості. Моніторинг поточного емоційного стану Л-О і діагностика деформацій емоційного досвіду у вигляді переходів до небезпечних типів діяльності Л-О (розсудливого чи 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 [373].

Респонденти з-поміж пілотів, диспетчерів різних вікових категорій, з різним професійним досвідом заповнили запропоновані анкети (дод. Ж) та визначили індивідуальні переваги щодо впливу факторів непрофесійного характеру на ПР у разі виникнення аварійної ситуації у польоті. Під виявленням переваги  $\rho$  ЛПП розуміють процес одержання інформації про пріоритети цієї людини відповідно до її раціональної поведінки  $\gamma$  на множині вибору і побудови на її основі моделі, яка описує ці переваги.

**Респонденти - пілоти і диспетчери цивільної авіації (ЦА).** Визначення ступеня важливості впливу соціально-психологічних факторів на Л-О, що ПР у разі виникнення аварійної ситуації в польоті здійснено методом експертних оцінок, шляхом оброблення анкет, що заповнили респонденти з числа пілотів і диспетчерів [355; 360–362].

Результати оброблення анкет, складених відповідно до змісту факторів непрофесійного характеру соціально-психологічного впливу (табл. 1.3) на особистості оператора, які окреслюють сфери взаємодії особистості в суспільстві, наведено в табл. 3.2. Отримані результати показали, що респонденти-пілоти приділяють найбільшу увагу соціальним показникам і найменшу – нормативно-правовим принципам. У свою чергу, респонденти-диспетчери максимум уваги приділяють економічним показникам і значно більше уваги, порівняно з пілотами, – нормативно-правовим принципам. Найменшими впливами із зазначених є духовно-релігійні та політичні (табл. 3.2, рис. 3.1).

Система переваг пілота ЦА:

$$S_p = f_{sps} \succ f_{spe} \succ f_{spp} \succ f_{spl} \succ f_{spm}.$$

Система переваг диспетчера ЦА:

$$S_p = f_{sps}, f_{spe} \succ f_{spl} \succ f_{spp} \succ f_{spm},$$

де  $f$  – ваговий коефіцієнт фактору відповідно до моделі переваг Л-О (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Система переваг Л-О (пілота, диспетчера ЦА) важливості впливу соціально-психологічних факторів при ПР у разі виникнення аварійної ситуації в польоті (5 факторів)

№ з/п	Соціально-психологічні фактори	Код	Пілот		Диспетчер	
			Ранг фактора	Вага фактора	Ранг фактора	Вага фактора
1	Духовні та культурні орієнтири особистості	$f_{spm}$	5	0,07	5	0,07
2	Економічні інтереси особистості	$f_{spe}$	2,5	0,23	1,5	0,30
3	Соціальні пріоритети особистості.	$f_{sps}$	1	0,33	1,5	0,30
4	Політичні погляди особистості	$f_{spp}$	2,5	0,23	4	0,13
5	Відношення до правових норм особистості	$f_{spl}$	4	0,14	3	0,20

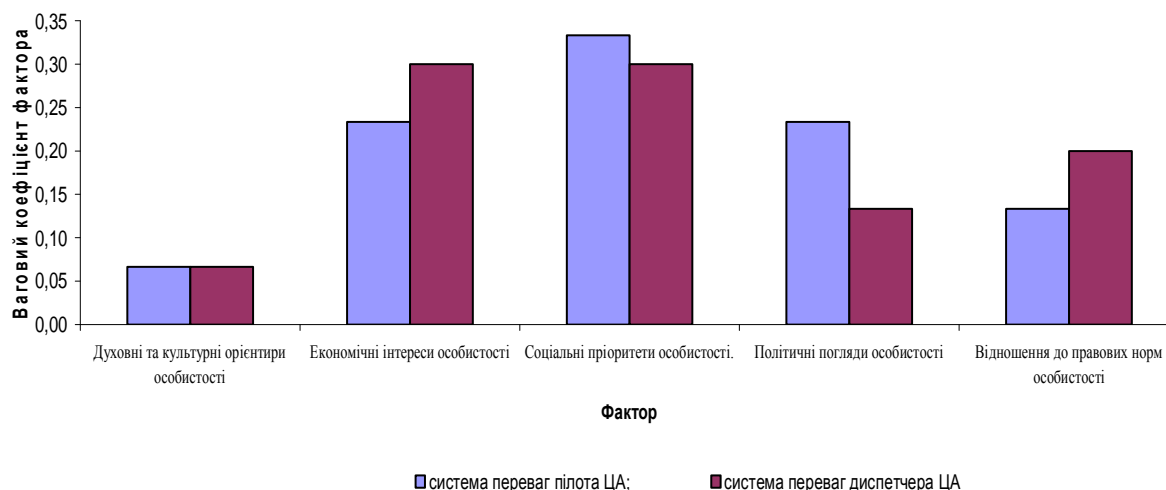


Рис. 3.1. Графік візуалізації системи переваг ЛПР (пілоти, диспетчери ЦА) щодо впливу на операторське рішення соціально-психологічних факторів (5 факторів)

Для більш детального аналізу впливу соціально-психологічних чинників було проведено декомпозицію факторів на підфактори [141; 157]:

**духовні та культурні орієнтири особистості:**

- 1) релігійні погляди;
- 2) філософські погляди;

**економічні інтереси особистості:**

- 3) поліпшення матеріального стану підприємства;
- 4) поліпшення матеріального стану особистості;
- 5) інтереси сім'ї;

**соціальні пріоритети особистості:**

- 6) особиста реалізація, створення передумов просування по службі (кар'єра);
- 7) суспільні сучасні норми, формування авторитету серед колег (авторитет);
- 8) забезпечення іміджу підприємства, корпоративні норми (імідж підприємства);
- 9) інтереси колег (колективу);
- 10) інтереси керівництва компанії;
- 11) визнання оточення, імідж особистості;

**політичні погляди особистості:**

- 12) задоволення (незадоволення) політичною ситуацією (політичні погляди);

**відношення до правових норм особистості:**

- 13) відповідність нормам чинного законодавства (правові норми).

Більш детальний аналіз впливу факторів соціально-психологічного характеру показав, що на діяльність пілотів, які брали участь в дослідженні, істотними виявилися впливи корпоративного інтересу, сімейних відносин та власного іміджу. Водночас респонденти-диспетчери істотну увагу приділяють кар'єрному росту, власному економічному становищу та сімейним відносинам. Слід зазначити, що другий етап досліджень визначив низький показник нормативно-правового аспекту, духовної та релігійної спрямованості обох опитуваних груп. Також як непопулярні фактори були відзначені: авторитет серед колег, економіка підприємства (працедавця), політичні реалії та вподобання (табл. 3.3, рис. 3.2).

Система переваг пілота ЦА:

$$S_p = f_{spf} \succ f_{spn} \succ f_{sps} \succ f_{spk} \succ f_{spa} \succ f_{spe} \succ f_{spm} \succ f_{spz} \succ f_{spl} \succ f_c \succ f_{spd} \succ f_{spr} \succ f_{spp}$$

Система переваг диспетчера ЦА:

$$S_p = f_{spf} \succ f_{spn} \succ f_{sps} \succ f_{spk} \succ f_{spa} \succ f_{spe} \succ f_{spm} \succ f_{spz} \succ f_{spl} \succ f_c \succ f_{spd} \succ f_{spp} \succ f_{spr}$$

де  $f$  – ваговий коефіцієнт фактора відповідно до моделі переваг (табл. 3.3)

Таблиця 3.3

**Система переваг Л-О (пілота, диспетчера ЦА) важливості впливу соціально-психологічних факторів для ПР у разі виникнення аварійної ситуації в польоті (13 факторів)**

№ з/п	Соціально-психологічні фактори	Код	Пілот		Диспетчер	
			Ранг фактора	Вага фактора	Ранг фактора	Вага фактора
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	0,05

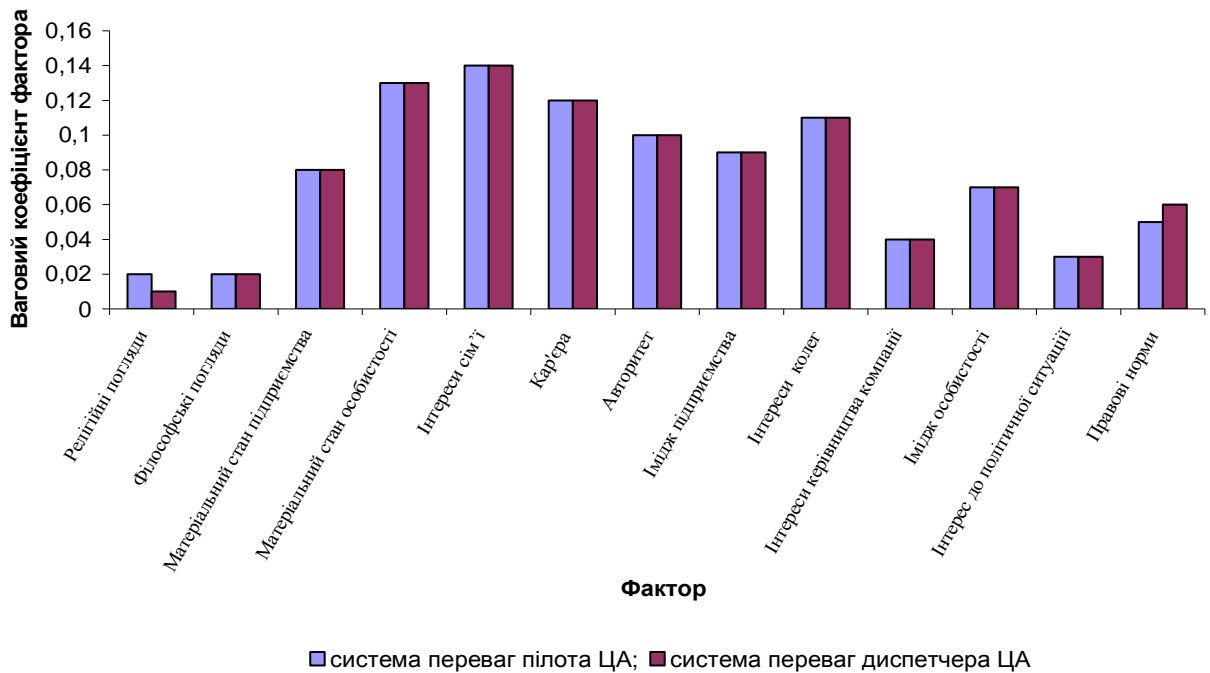


Рис. 3.2. Графік візуалізації системи переваг ЛПР (пілота, диспетчера ЦА) щодо впливу на операторське рішення соціально-психологічних факторів (13 факторів)

**Респонденти - пілоти і штурмани військової авіації (ВА).** Респонденти – військові штурмани і пілоти 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 і А0780 Повітряне командування «ЗАХІД» [357].

На відміну від ЦА, де, як відомо, більшість авіаційних подій відбуваються з вини льотної і диспетчерського складу і є результатом неправильних дій оператора, у військовій авіації події, в більшості випадків, відбуваються з вини відмови авіаційної техніки, викликані, у свою чергу, високим ступенем її зношеності. Але саме цей чинник змушує оператора системи «літак–пілот–диспетчер» частіше виявляти індивідуальні (соціально-психологічні, індивідуально-психологічні і психофізіологічні) якості, що становить вагому складову людського фактора. Зношеність парку призводить до збільшення ймовірності виникнення АП протягом не тільки однієї льотної зміни, а й на одному літаку за цей період. Тому на Л-О покладається велика частка відповідальності за безаварійне і безкатастрофічне завершення польоту. 75% авіаційних подій у військовій авіації відбувається через конструкційно-виробничий брак, під час виникнення яких правильними дії членів групи керівництва можна назвати тільки десяту частину, що, в свою чергу, складає до 8%. Особовий склад, який допустив функціональні помилки, є цілком здоровими і досить кваліфікованими людьми. Причини деяких таких помилок можуть бути зумовлені з конструктивними недоліками або моральною застарілістю обладнання, або з неадекватністю процедур, а також з похибками у підготовці та нерегулярністю практичних тренувань. Але які б не були конкретні причини, головними чинниками є людська діяльність, поведінка і межі можливостей людини [146].

У результаті порівняння вагових значень, були визначені системи переваг впливу соціально-психологічних факторів фахівців військової авіації. Отримані результати щодо системи переваг значущості соціально-психологічних факторів фахівців військової авіації показали, що респонденти – військові пілоти і штурмани – приділяють найбільшу увагу соціальним і економічним показникам (табл. 3.4, рис. 3.3).

Система переваг пілота ВА:

$$S_p = f_{sps} \succ f_{spe} \succ f_{spl} \succ f_{spp} \succ f_{spm}.$$

Система переваг штурмана ВА:

$$S_p = f_{sps} \succ f_{spe} \succ f_{spl} \succ f_{spp} \succ f_{spm}$$

де  $f$  – ваговий коефіцієнт фактора відповідно до моделі переваг (табл. 3.4)

Таблиця 3.4

**Система переваг Л-О (військових пілотів і штурманів) щодо важливості впливу соціально-психологічних факторів для ПР у разі виникнення аварійної ситуації в польоті (5 факторів)**

№ з/п	Соціально-психологічні фактори	Код	Пілот		Штурман	
			Ранг фактора	Вага фактора	Ранг фактора	Вага фактора
1	Духовні та культурні орієнтири особистості	$f_{spm}$	5	0,07	5	0,07
2	Економічні інтереси особистості	$f_{spe}$	2	0,27	2	0,27
3	Соціальні пріоритети особистості.	$f_{sps}$	1	0,33	1	0,33
4	Політичні погляди особистості	$f_{spp}$	4	0,13	4	0,13
5	Відношення до правових норм особистості	$f_{spl}$	3	0,20	3	0,20

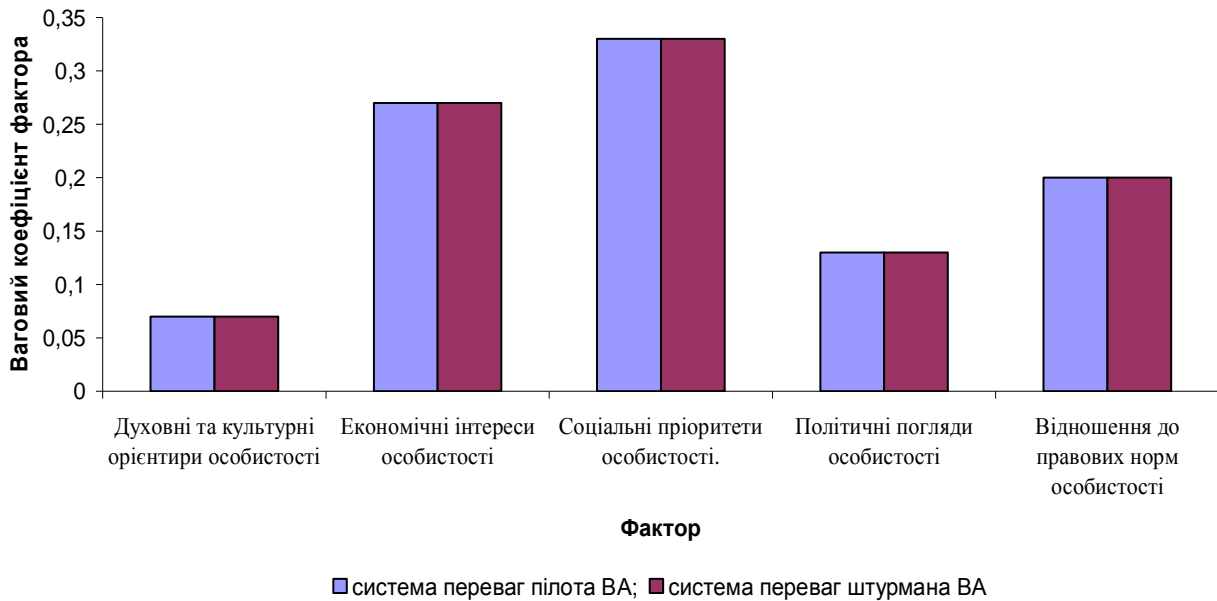


Рис. 3.3. Вплив соціально-психологічних факторів на професійну діяльність військових пілотів і штурманів

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. 3.5. 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, диспетчери ЦА та пілоти і штурмани ВА мають подібні моделі переваг відповідно до норм суспільства, тобто віддають перевагу соціальним і економічним інтересам особистості (рис.3.4).

Таблиця 3.5

Порівняльний аналіз систем переваг щодо важливості впливу соціально-психологічних факторів для ПР у разі виникнення аварійної ситуації в польоті на множині  $\bar{F}_{sp} = \{f_{spm}, f_{spe}, f_{sps}, f_{spp}, f_{spl}\}$

№ з/п	Соціально-психологічні фактори	Код	Пілот ЦА	Диспетчер ЦА	Пілот і диспетчер ЦА, разом	Пілот ВА	Штурман ВА
1	Духовні та культурні орієнтири особистості	$f_{spm}$	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
2	Економічні інтереси особистості	$f_{spe}$	0,23	0,30	0,27	0,27	0,27
3	Соціальні пріоритети особистості.	$f_{sps}$	0,33	0,30	0,33	0,33	0,33
4	Політичні погляди особистості	$f_{spp}$	0,23	0,13	0,20	0,13	0,13
5	Відношення до правових норм особистості	$f_{spl}$	0,14	0,20	0,13	0,20	0,20

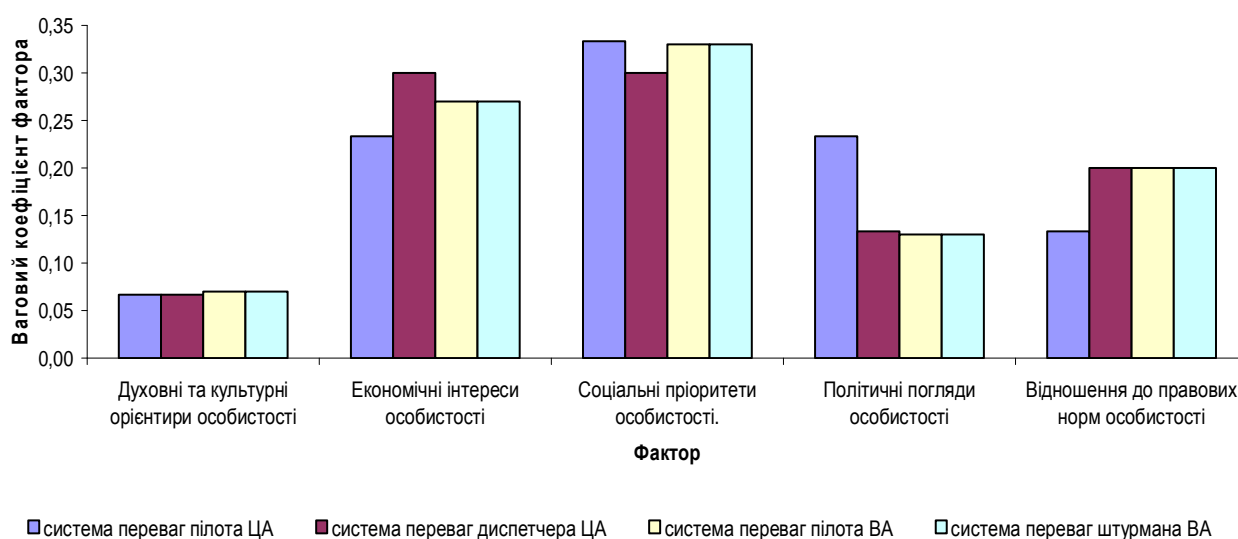


Рис. 3.4. Порівняльний аналіз систем переваг цивільних пілотів і диспетчерів та військових пілотів і штурманів щодо впливу соціально-психологічних факторів ЛПР

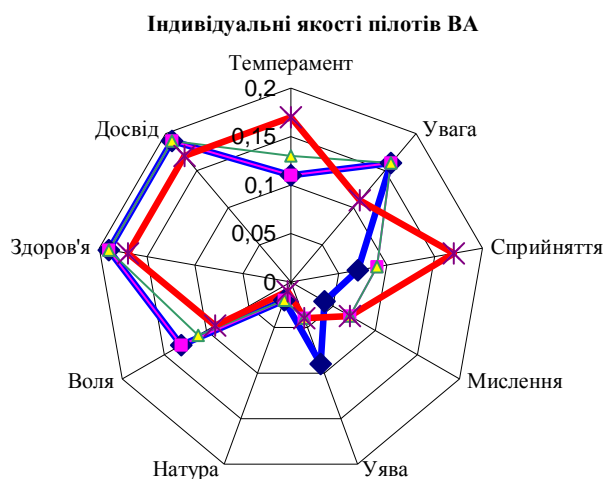
### 3.1.2. Моделі переваг людини-оператора для визначення впливу індивідуально-психологічних факторів

Були проведені дослідження з військовими пілотами і штурманами щодо значущості впливу індивідуально-психологічних факторів при розвитку польотної ситуації від нормальної до аварійної. Респонденти з-поміж військових штурманів і пілотів також визначили значущість впливу індивідуально-психологічних (табл. 3.6) факторів на ПР при розвитку польотної ситуації від нормальної до катастрофічної.

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

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

Графічну інтерпретація вагових коефіцієнтів факторів значущості індивідуально-психологічних факторів військових штурманів і пілотів в умовах розвитку польотних ситуацій подано на рис. 3.5а (індивідуальні якості штурманів) та рис. 3.5б (індивідуальні якості пілотів). Результати аналізу систем переваг пілотів і штурманів показали, що досвід, воля, здоров'я, сприйняття інформації є найбільш значущими в разі виникнення позаштатної польотної ситуації для штурманів; для пілотів ВА – це передусім здоров'я, досвід, темперамент, воля; темперамент більш важливий для пілота, ніж для штурмана, а для штурманів – більше мислення.



а

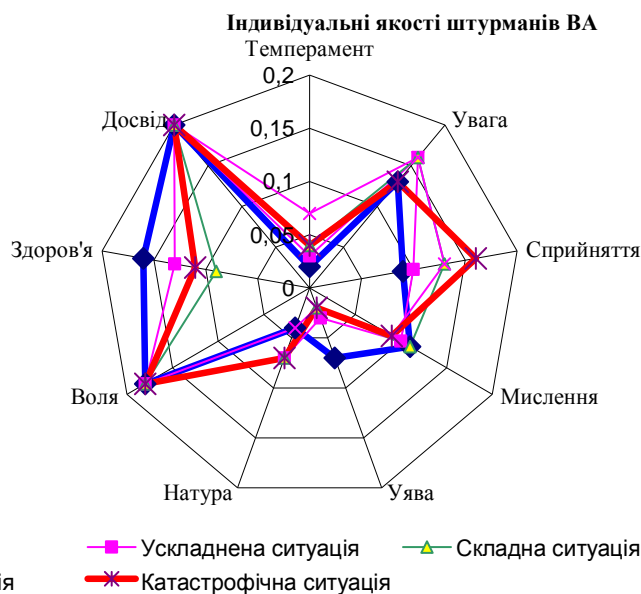


Рис.3.5. Графічна інтерпретація вагових коефіцієнтів факторів значущості індивідуально-психологічних факторів військових пілотів (а) і штурманів (б)

Визначені рейтингові значення індивідуально-психологічних факторів військових штурманів і пілотів в умовах розвитку польотних ситуацій наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

**Рейтингова таблиця значущості індивідуально-психологічних якостей пілота (штурмана) ВА в умовах розвитку польотної ситуації**

Пілоти			Штурмани		
Індивідуальні фактори	Ваговий коефіцієнт	Рейтингова шкала	Індивідуальні фактори	Ваговий коефіцієнт	Рейтингова шкала
<b>Проста польотна ситуація</b>					
Здоров'я	0,19	1	Досвід	0,2	1
Досвід	0,19	2	Воля	0,18	2
Увага	0,16	3	Здоров'я	0,16	3
Воля	0,13	4	Увага	0,13	4
Темперамент	0,11	5	Мислення	0,11	5
Уява	0,09	6	Сприйняття	0,09	6
Сприйняття	0,07	7	Уява	0,07	7
Мислення	0,04	8	Натура	0,04	8
Натура	0,02	9	Темперамент	0,02	9
<b>Ускладнена польотна ситуація</b>					
Здоров'я	0,19	1	Досвід	0,2	1
Досвід	0,19	2	Воля	0,18	2
Увага	0,16	3	Увага	0,16	3
Воля	0,13	4	Здоров'я	0,13	4
Темперамент	0,11	5	Сприйняття	0,1	5
Сприйняття	0,09	6	Мислення	0,1	6
Мислення	0,07	7	Натура	0,07	7
Уява	0,04	8	Темперамент	0,03	8
Натура	0,02	9	Уява	0,03	9
<b>Складна польотна ситуація</b>					
Здоров'я	0,19	1	Досвід	0,2	1
Досвід	0,19	2	Воля	0,18	2
Увага	0,16	3	Увага	0,16	3
Темперамент	0,13	4	Сприйняття	0,13	4
Воля	0,11	5	Мислення	0,11	5
Сприйняття	0,09	6	Здоров'я	0,09	6
Мислення	0,07	7	Натура	0,07	7



Пілоти			Штурмани		
Індивідуальні фактори	Ваговий коефіцієнт	Індивідуальні фактори	Ваговий коефіцієнт	Індивідуальні фактори	Ваговий коефіцієнт
Уява	0,04	8	Темперамент	0,04	8
Натура	0,02	9	Уява	0,02	9
<b>Аварійна польотна ситуація</b>					
Темперамент	0,17	1	Досвід	0,2	1
Сприйняття	0,17	2	Воля	0,18	2
Здоров'я	0,17	3	Увага	0,16	3
Досвід	0,17	4	Сприйняття	0,13	4
Увага	0,11	5	Здоров'я	0,11	5
Воля	0,09	6	Мислення	0,09	6
Мислення	0,07	7	Темперамент	0,07	7
Уява	0,04	8	Натура	0,04	8
Натура	0,01	9	Уява	0,02	9
<b>Катастрофічна ситуація</b>					
Темперамент	0,17	1	Досвід	0,2	1
Сприйняття	0,17	2	Воля	0,18	2
Здоров'я	0,17	3	Сприйняття	0,16	3
Досвід	0,17	4	Увага	0,13	4
Увага	0,11	5	Здоров'я	0,11	5
Воля	0,09	6	Мислення	0,09	6
Мислення	0,07	7	Натура	0,07	7
Уява	0,04	8	Темперамент	0,04	8
Натура	0,01	9	Уява	0,02	9

Під час аналізу індивідуально-психологічних факторів використовувались модифіковані коефіцієнти, які являють собою добуток вагових коефіцієнтів факторів і кількісних показників, що визначають якісні характеристики рівнів ризику польотних ситуацій залежно від їх складності [390] (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

## Рівні ризику польотної ситуації

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

Модифіковані коефіцієнти факторів, що отримані з урахуванням рівня ризику польотної ситуації, кількісні показники яких відповідають значенням лінгвістичної змінної «рівень ризику» наведено в табл. 3.9.

Таблиця 3.9

## Система переваг Л-О (військових пілотів і штурманів) значущості індивідуально-психологічних факторів для ПР в умовах розвитку польотних ситуацій

№ з/п	Індивідуально-психологічні фактори	Модифіковані коефіцієнти факторів									
		Проста ситуація		Ускладнена ситуація		Складна ситуація		Аварійна ситуація		Катастрофічна ситуація	
		Штурман	Пілот	Штурман	Пілот	Штурман	Пілот	Штурман	Пілот	Штурман	Пілот
1	Темперамент	0,2	1,1	0,9	3,3	2	6,5	5,6	13,6	4	17
2	Увага	1,3	1,6	4,8	4,8	8	8	12,8	8,8	13	11
3	Сприйняття	0,9	0,7	3	2,7	6,5	4,5	10,4	13,6	16	17
4	Мислення	1,1	0,4	3	2,1	5,5	3,5	7,2	5,6	9	7
5	Уява	0,7	0,9	0,9	1,2	1	2	1,6	2,4	2	3
6	Натура	0,4	0,2	2,1	0,6	3,5	1	3,2	1,6	7	2
7	Воля	1,8	1,3	5,4	3,9	9	5,5	14,4	7,2	18	9
8	Здоров'я	1,6	1,9	3,9	5,7	4,5	9,5	8,8	13,6	11	17
9	Досвід	2	1,9	6	5,7	10	9,5	16	13,6	20	17
	Рівень ризику, од.	10	10	30	30	50	50	80	80	100	100

Графіки, що показують зміни в системі переваг відповідно до значущості індивідуально-психологічних якостей пілота (штурмана) ВА з урахуванням рівня ризику польотної ситуації, наведено на рисунках 3.6 а і 3.6 б.

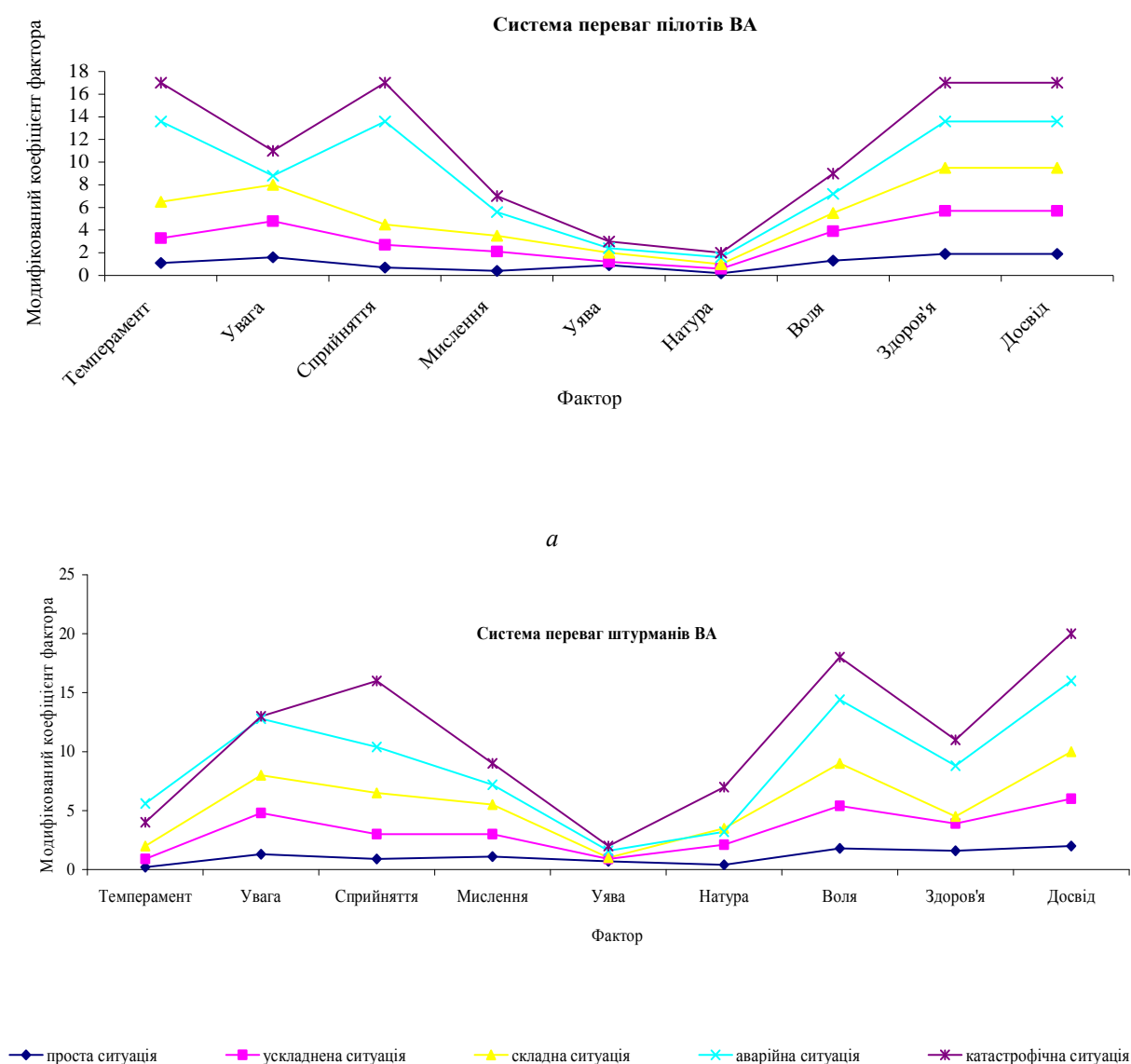


Рис. 3.6. Значущість індивідуально-психологічних факторів військових пілотів (а) і штурманів (б) в умовах розвитку польотних ситуацій з урахування рівня ризику польотної ситуації

Аналіз змін у системах переваг військових пілотів і штурманів (табл. 3.7 і 3.9, рис. 3.5 а, б та рис. 3.6 а, б) показує, що з розвитком польотної ситуації до аварійної у пілотів зростає значущість темпераменту, сприйняття інформації, здоров'я, за рахунок зменшення уваги, уяви, волі. Але в момент аварійної ситуації явними є пріоритети: темпераменту, сприйняття інформації, досвіду, здоров'я. У штурманів не залежно від розвитку польотної ситуації на першому місці – досвід, воля, а в разі погіршення польотної ситуації зростає значущість уваги, сприйняття інформації. На відміну від пілотів темперамент і уява для штурманів не мають такої значущості, як для пілотів.

Як результат – порівнянням вагових значень визначені системи переваг непрофесійних факторів (індивідуально-психологічних) у фахівців ВА (табл. 3.10–3.11). Для аналізу індивідуально-психологічних факторів використовувались модифіковані коефіцієнти, які

являють собою добуток вагових коефіцієнтів факторів і кількісних показників, що визначають якісні характеристики рівнів ризику польотних ситуацій в залежності від їх складності [390].

За допомогою табл. 3.10 визначаються 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  $\bar{G}_s = \{G_{s1}, G_{s2}, G_{s3}, G_{s4}, G_{s5}\}$ .

Таблиця 3.10

**Вагові коефіцієнти значущості індивідуально-психологічних якостей пілота і штурмана ВА**

№ з/п	Індивідуально-психологічні якості Л-О	Код	Проста ситуація $G_{s1}$	Ускладнена ситуація $G_{s2}$	Складна ситуація $G_{s3}$	Аварійна ситуація $G_{s4}$	Катастрофічна ситуація $G_{s5}$
<b>Вагові коефіцієнти значущості індивідуально-психологічних якостей пілота ВА</b>							
1	Темперамент	$f_{ipt}$	0,11	0,11	0,13	0,17	0,17
2	Увага	$f_{ipa}$	0,16	0,16	0,16	0,11	0,11
3	Сприйняття	$f_{ipp}$	0,07	0,09	0,09	0,17	0,17
4	Мислення	$f_{ipth}$	0,04	0,07	0,07	0,07	0,07
5	Уява	$f_{ipi}$	0,09	0,04	0,04	0,04	0,04
6	Натура	$f_{ipn}$	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
7	Воля	$f_{ipw}$	0,13	0,13	0,11	0,09	0,09
8	Здоров'я	$f_{iph}$	0,19	0,19	0,19	0,17	0,17
9	Досвід	$f_{exp}$	0,19	0,19	0,19	0,17	0,17
<b>Вагові коефіцієнти значущості індивідуально-психологічних якостей штурмана ВА</b>							
1	Темперамент	$f_{ipt}$	0,02	0,03	0,04	0,07	0,04
2	Увага	$f_{ipa}$	0,13	0,16	0,16	0,16	0,13
3	Сприйняття	$f_{ipp}$	0,09	0,1	0,13	0,13	0,16
4	Мислення	$f_{ipth}$	0,11	0,1	0,11	0,09	0,09
5	Уява	$f_{ipi}$	0,07	0,03	0,02	0,02	0,02
6	Натура	$f_{ipn}$	0,04	0,07	0,07	0,04	0,07
7	Воля	$f_{ipw}$	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
8	Здоров'я	$f_{iph}$	0,16	0,13	0,09	0,11	0,11
9	Досвід	$f_{exp}$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

### 3.2. Рефлексивні моделі біполярного вибору оператором аеронавігаційної системи

#### 3.2.1. Рефлексивна модель біполярного вибору оператором аеронавігаційної системи в разі виникнення особливого випадку в польоті

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) [148; 149]. Теорія швидкої рефлексії відрізняється від класичної рефлексії, за якою *рефлексія це здатність свідомості зосередитися на собі* [197]. Рефлексія В.О. Лефевра - рефлексія свідомості і 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; невилна любов до добра і істини; вроджена правда [88].

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. [148]. У книзі В.О. Лефевра «Алгебра совісті» [149] 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 [148; 149] 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 [148; 149]. 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 [256].

За допомогою теорії рефлексії [148; 149] отримано моделі поведінкової діяльності Л-О в польотних ситуаціях (штатних і позаштатних) – рефлексивні моделі біполярного вибору в бік позитивного чи негативного полюса. Модель являє 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. У простішому випадку, коли внутрішній світ суб'єкта не містить образів інших суб'єктів, згідно з теорією рефлексії, 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,  $x_3 \in [0, 1]$ .

В.О. Лефевр вводить поняття автоматичного і навмисного вибору, а рефлексивна модель дає змогу внести різницю між цими випадками. 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, 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  $x_3$  [148]. З основного рівняння теорії рефлексії [148] випливає, що при автоматичному виборі одна зі змінних ( $x_1, x_2$ ) приймає значення 1. У разі навмисного виборі  $x_1 = x_2 = 0$ .

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. і В.М. Шемаєв запропонували принцип рефлексивного управління за допомогою когнітивного моделювання [256]. Принцип рефлексивного управління [256] полягає в такому: щоб схилити суб'єкта до рішення, яке нав'яже йому зовнішнє середовище, необхідно, щоб суб'єкт мав неадекватно завищену самооцінку в момент вибору.

Пропонується дослідження авторів щодо розроблення моделей і методів рефлексивного управління, які враховують уявлення суб'єкта про динаміку розвитку польотної ситуації у разі виникнення ОВП.

Очікуваний ризик ПР Л-О в ОВП під впливом зовнішнього середовища  $x_1$ , попереднього досвіду Л-О  $x_2$  та вольового вибору Л-О  $x_3$ , становить:

$$R_{\text{ПР}} = \begin{cases} R_A = X(x_1, x_2, x_3), \gamma, \rho); \\ R_B = X(q_1, q_2, q_3), \bar{\gamma}, \rho); \\ R_{AB} = X(\gamma, \rho), \end{cases} \quad (3.1)$$

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 в момент вибору визначається системою переваг  $\gamma = \rho_n$ , отриманою в результаті проведеного експертного опитування респондентів різних вікових груп – пілотів, диспетчерів і пілотів ЦА, штурманів ВА, що на даний момент працюють в Україні (табл. 3.2–3.4).

Аналогічно, концепція нераціональної поведінки  $\bar{\gamma} = \rho$  відтворює значні відхилення в системі переваг Л-О, що призводить до неадекватної поведінки Л-О.

Якщо вибір у бік позитивного полюсу  $A$  визначається концепцією раціональної поведінки Л-О ( $\gamma = \rho_n$ ), очікуваний ризик під час ПР визначається за формулою:

$$R_A = X(x_1, x_2, x_3), \gamma, \rho) = \min\{R_{ij}\}, \quad (3.2)$$

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

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.

Модель виглядає як багат шарова модель у вигляді шарів – дерев рішень з вершинами-рішеннями та випадковими вершинами (рис. 3.7):

**I шар «Автоматичний вибір  $R^1$ »;**

**II шар «Навмисний (вольовий) вибір  $R^2$ »;**

*Вершини-рішення:*  $R_{\text{ПР}}^A, R_{\text{ПР}}^B$  – ПР Л-О у бік позитивного  $A$  або негативного  $B$  полюса.

*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.

**III шар «Вплив зовнішнього 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).

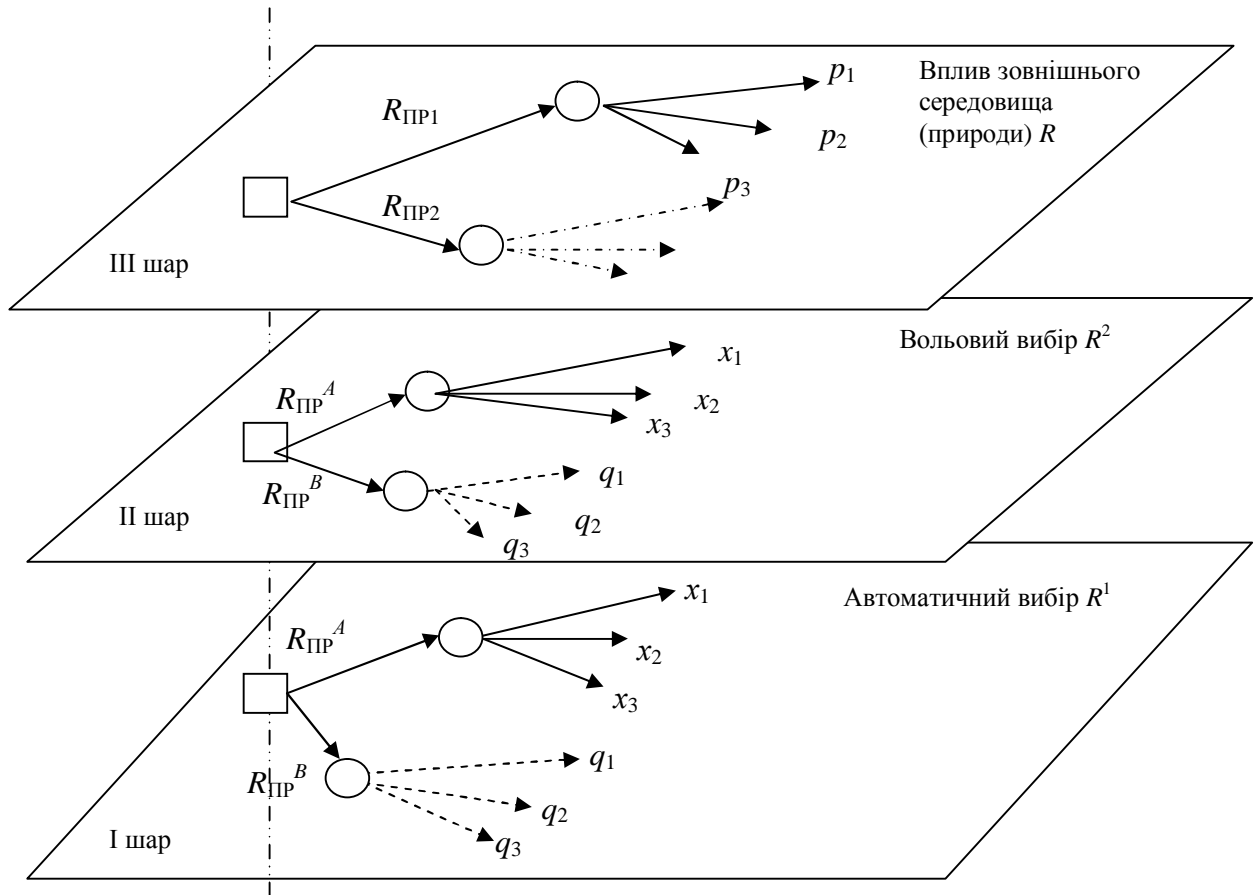


Рис. 3.7 Модель рефлексивного біполярного вибору:

$R^1$  – автоматичний вибір Л-О;  $R^2$  – вольовий вибір;  $R_{ПР}^A$  – вибір у бік позитивного полюса;

$R_{ПР}^B$  – вибір у бік негативного полюса;  $x_1, x_2, x_3$  – вибір під впливом зовнішнього середовища (суспільства), попереднього досвіду та вольового вибору в бік позитивного полюса;  $q_1, q_2, q_3$  – вибір під впливом зовнішнього середовища (суспільства), попереднього досвіду та вольового вибору у бік негативного полюса;

$p_1, p_2, p_3$  – імовірнісні реалізації вибору під впливом зовнішнього середовища (природи)

У простішому випадку, коли внутрішній світ суб'єкта не містить образів других суб'єктів, вибір Л-О описується функцією:

$$X_1 = f(x_1, x_2, x_3) = F(x_1, F(x_2, x_3)) = F(x_1, x_2), \quad (3.3)$$

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 виникнення 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. В 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.

### 3.2.2. Концепція раціональної поведінки оператора аеронавігаційної системи

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  $R^2$  [148].

**1 випадок. Автоматичний вибір  $R^1$ .** Автоматична поведінка це така, що не залежить від волі людини. Функція (3.1) 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 здійснюється інтуїтивно, 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:

$$X_1 = f(x_1, x_2, x_3) = x_1 + (1 - x_1)(1 - x_2) x_3. \quad (3.4)$$

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. 3.7 і 3.8). 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 (рис. 3.8).

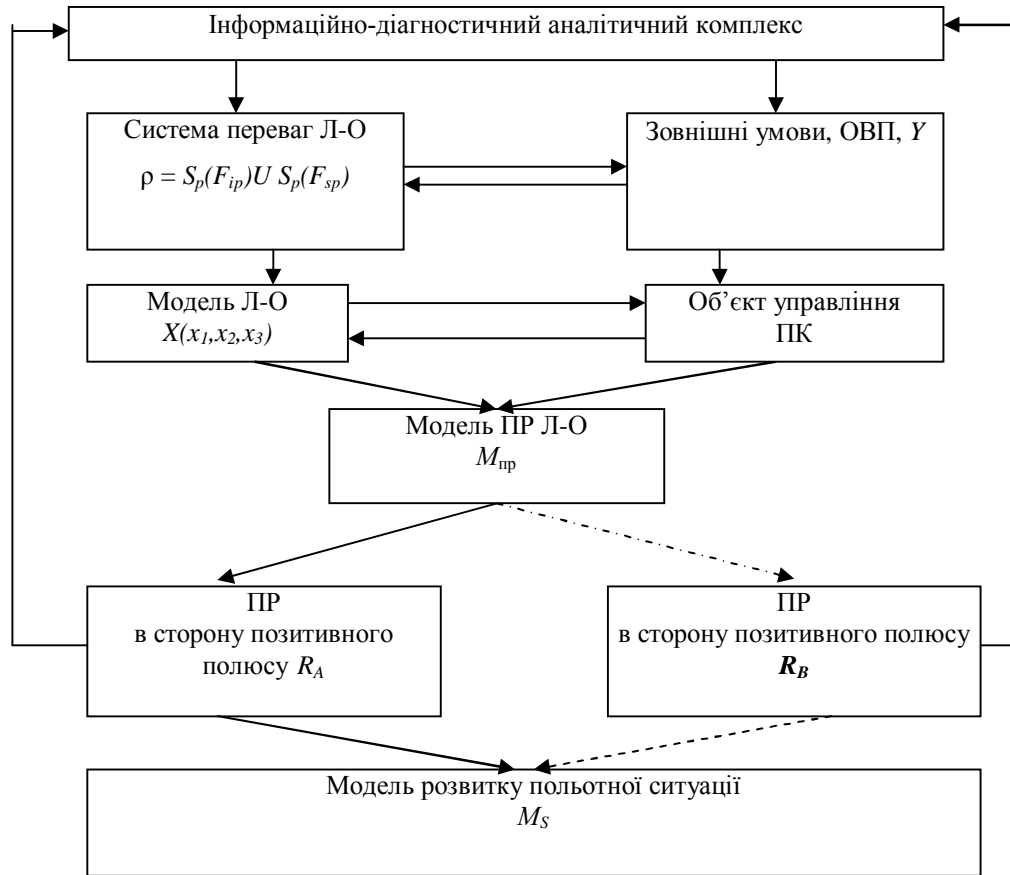


Рис. 3.8. Схема рефлексивного управління ПР Л-О в сторону позитивного чи негативного полюсу

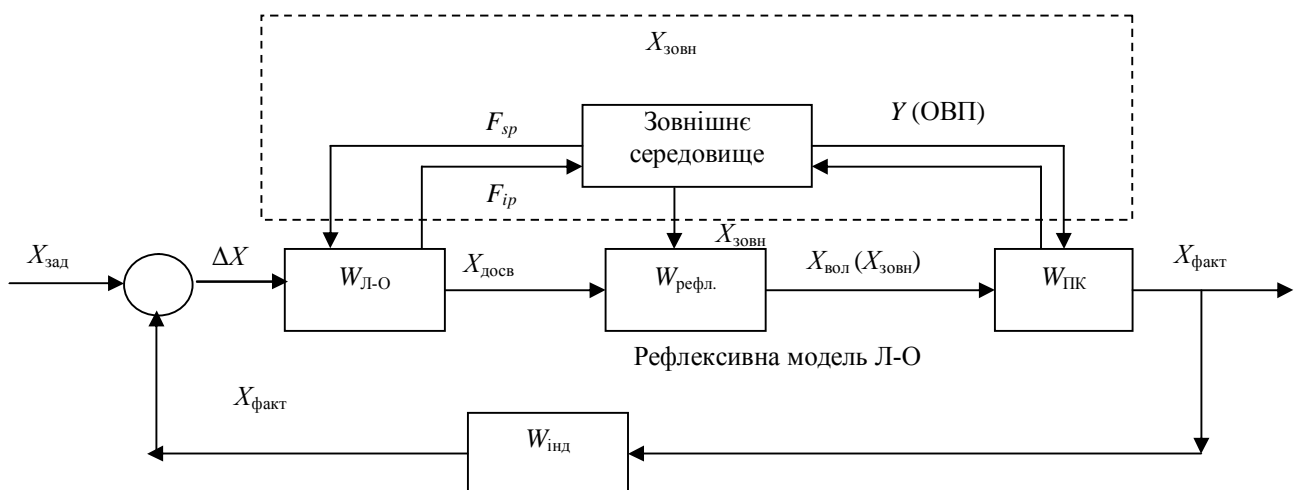


Рис. 3.9. Функціональна схема АЕС «Л-О – ПК», де Л-О представлена з точки зору теорії рефлексії

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 (3.4) виходить вираз:



$$X = \frac{1 + x_3}{2 + x_3}$$

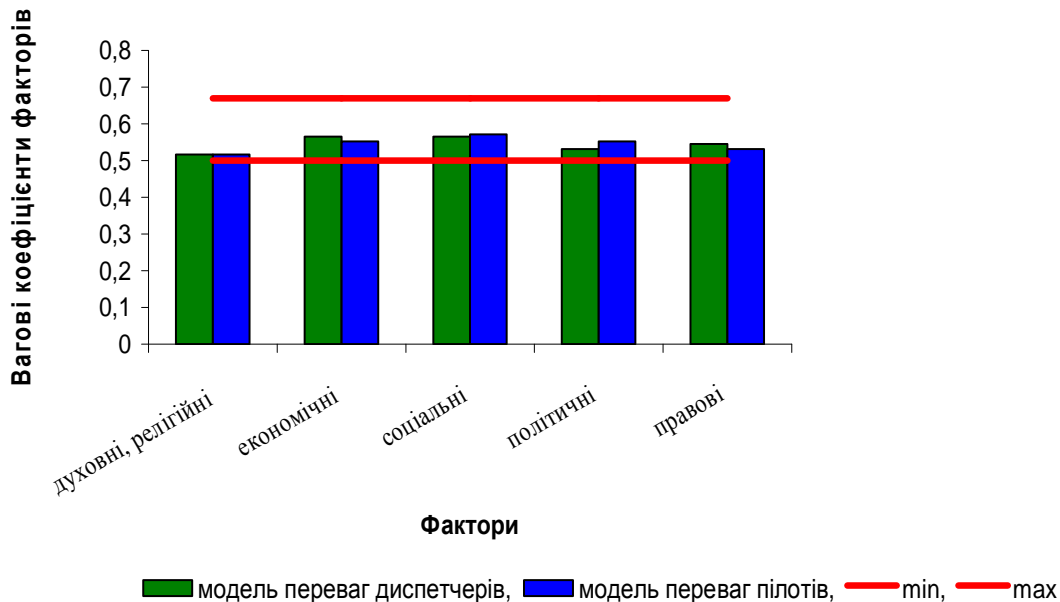
Моделі переваг Л-О у випадку однакового тиску в бік позитивного та негативного полюсів наведено в табл. 3.11 і на рис. 3.10.

Таблиця 3.11

**Моделі переваг Л-О у випадку однакового тиску в бік позитивного та негативного полюсів**

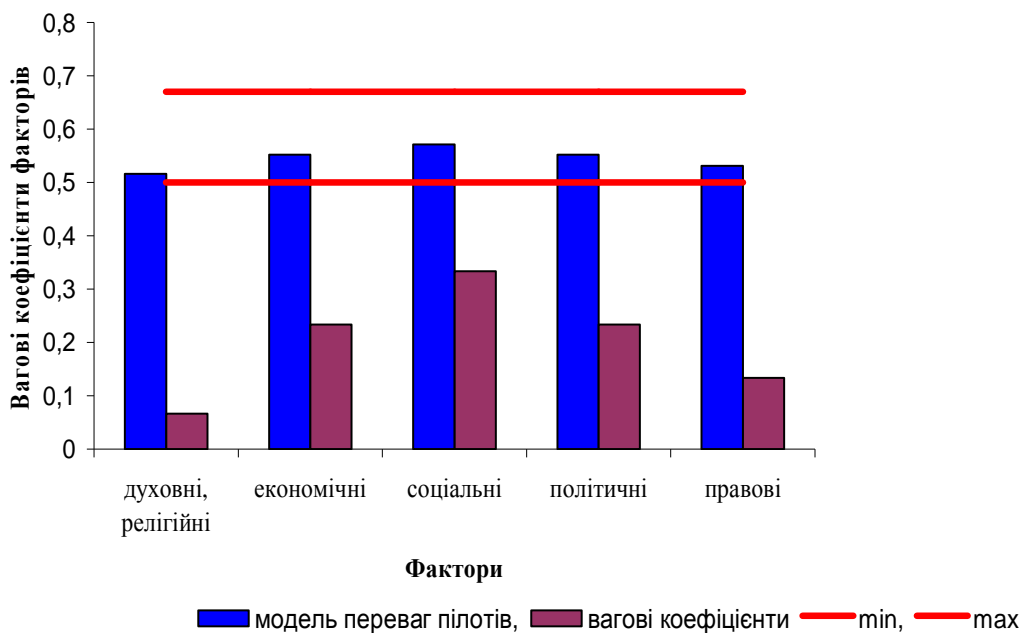
№ з/п	Моделі переваг	Соціально-психологічні фактори				
		Духовні, релігійні	Економічні	Соціальні	Політичні	Правові
1	<b>Модель переваг диспетчерів</b>					
	Ранги	5	1,5	1,5	4	3
	Вагові коефіцієнти	0,0667	0,3	0,3	0,1333	0,2
	A=B	0,5161	0,5652	0,5652	0,5313	0,5455
2	<b>Модель переваг пілотів</b>					
	Ранги	5	2,5	1	2,5	4
	Вагові коефіцієнти	0,0667	0,2333	0,3333	0,2333	0,1333
	A=B	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	0,0667	0,2667	0,3333	0,1333	0,2
	A=B	0,5161	0,5588	0,5714	0,5313	0,5455
4	Min	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
5	Max	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67

**Вибір у бік позитивного і негативного полюсів однаковий**



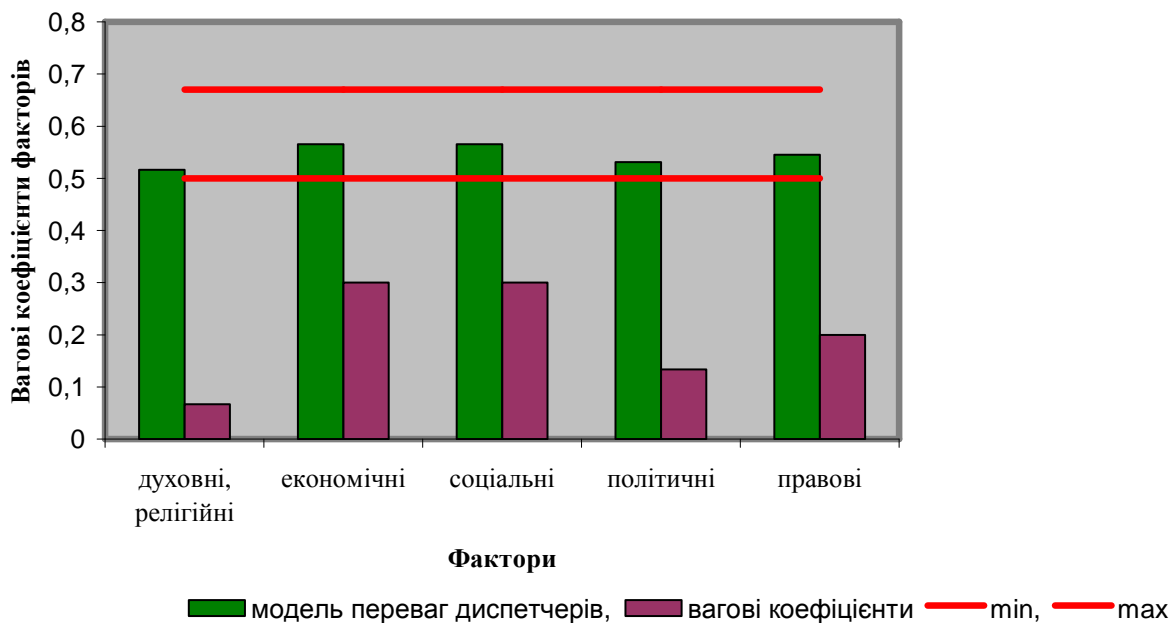
a

Вибір в сторону позитивного і негативного полюсу однаковий



б

Вибір в сторону позитивного і негативного полюсу однаковий



в

Рис. 3.10. Вибір, якщо тиск в сторону позитивного та негативного полюсів однаковий: пілоти і диспетчери разом (а); пілоти (б); диспетчери (в)

Якщо наміри суб'єкта не заздалегідь не відомі, тобто  $X = x_3$ , тоді з рівняння (3.3) 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 [148].

Розглянемо модель Л-О відповідно до функціональної схеми АЕС «Л-О – ПК» на рис. 3.9, де Л-О представлено з точки зору теорії рефлексії, і визначимо можливі випадки ПР Л-О (рис. 3.11).

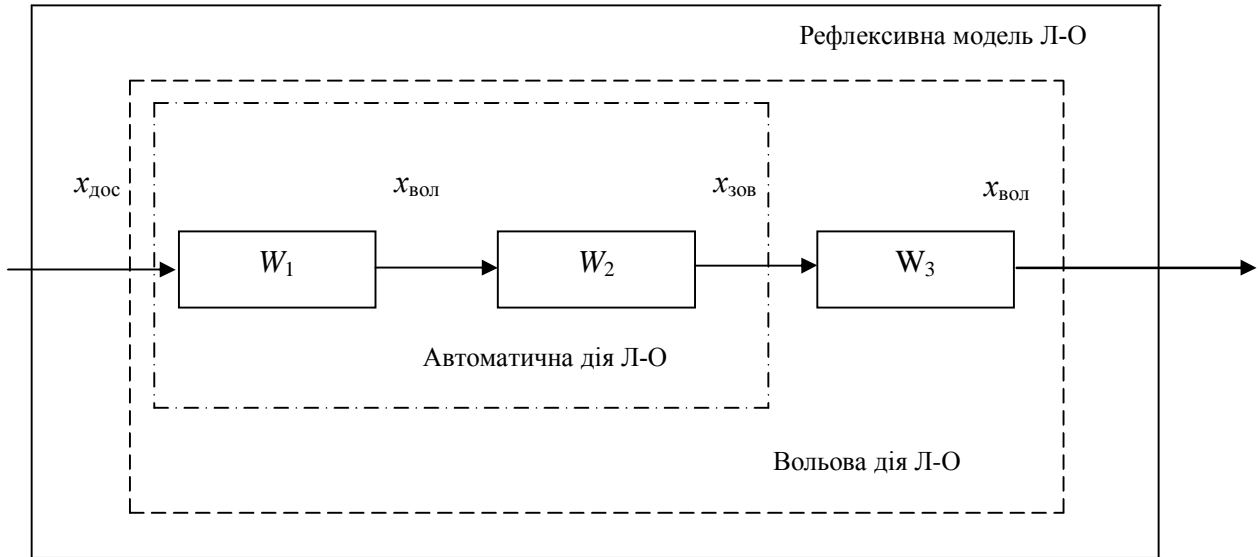


Рис. 3.11. Рефлексивна модель Л-О:  $x_{\text{дос}}$  – досвід;  $x_{\text{вол}}$  – воля;  $x_{\text{зов}}$  – зовнішнє середовище;  $W_1$  – функція впливу волі на Л-О, що керується досвідом;  $W_2$  – функція впливу зовнішнього середовища на Л-О, що керується волею;  $W_3$  – функція впливу волі на Л-О, на яку впливає зовнішнє середовище

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;  $W_2 = \frac{x_{\text{зовн}}}{x_{\text{вол}}}$  – функція впливу

зовнішнього середовища на Л-О, що керується волею;  $W_3 = \frac{x_{\text{вол}}}{x_{\text{зовн}}}$  – функція волі 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:

$$W = W(R^1) = M_{\text{ПР}}^A = f(x_1, x_2, x_3) = W_1 W_2 = \frac{x_{\text{вол}}}{x_{\text{досв}}} \frac{x_{\text{зовн}}}{x_{\text{вол}}} = \frac{x_{\text{зовн}}}{x_{\text{досв}}}.$$

Тобто, якщо Л-О діє автоматично, вибір здійснюється інтуїтивно, не залежить від волі  $x_{\text{вол}}$ , а залежить від попереднього досвіду  $x_{\text{досв}}$  і впливу зовнішнього середовища  $x_{\text{зовн}}$ . 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  $A$  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 ( $A$ ) чи негативний вибір ( $B$ ) 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. Якщо Л-О приймає вольове рішення, наприклад, в очікуваних умовах експлуатації ПК, зовнішнє середовище (соціальний фактор) не впливає на Л-О.

Відповідно до рефлексивної теорії біполярного вибору та рівнянь (3.1)–(3.3) 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):

$$R_{\text{ПР}}^1 = \begin{cases} R_A = X(x_1, x_2), \gamma, \rho); \\ R_B = X(q_1, q_2), \bar{\gamma}, \rho); \\ R_{AB} = X(\gamma, \rho), \end{cases} \quad (3.5)$$

де  $R_A$  – очікуваний ризик ПР Л-О в сторону позитивного полюсу  $A$ ;  $R_B$  – очікуваний ризик ПР Л-О в сторону негативного полюсу  $B$ ;  $\gamma$  – концепція раціональної поведінки індивіда;  $\bar{\gamma}$  – концепція нераціональної поведінки індивіда;  $\rho$  – система переваг індивіда в конкретній ситуації вибору;  $R_{AB}$  – змішаний вибір Л-О;  $x_1$  – 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 у разі ПР Л-О дорівнює (вольовий вибір):

$$R_{\text{ПР}}^2 = \begin{cases} R_A = X(x_3), \gamma, \rho); \\ R_B = X(q_3), \bar{\gamma}, \rho); \\ R_{AB} = X(\gamma, \rho), \end{cases} \quad (3.6)$$

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 визначається відповідно до табл. 3.2–3.4, 3.6, 3.10, то Л-О здійснює 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  $S_p(F_{sp}) = f_{sps} \succ f_{spe} \succ f_{spp} \succ f_{spl} \succ f_{spm}$  – система переваг Л-О значущості соціально-психологічних факторів у разі ПР в аварійній ситуації визначена експертним шляхом (табл. 3.2–3.4) 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 (табл. 3.6–3.10) визначено на множині індивідуально-психологічних якостей Л-О (темперамент, увага, сприйняття, мислення, уява, натура, воля, здоров'я, досвід) –  $\bar{F}_{ip} = \{f_{ipt}, f_{ipa}, f_{ipp}, f_{ipth}, f_{ipi}, f_{ipn}, f_{ipw}, f_{iph}, f_{exp}\}$ .

Якщо один з факторів множин  $\bar{F}_{sp}$  і  $\bar{F}_{ip}$  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,  $\{\gamma, \rho\} \rightarrow K$ .

Вибір Л-О в сторону позитивного полюсу  $A$  відповідає ваговим коефіцієнтам соціально-психологічних чинників в межах  $A \subset [1/2; 2/3]$ .

Наприклад, система переваг пілота ВА на множині індивідуально-психологічних факторів  $\bar{F}_{ip}$  (рис. 3.5 а) 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 переваг (рис. 3.3) визначають пріоритети військових пілотів і штурманів на множині соціально-психологічних факторів  $\bar{F}_{sp}$ :

$$f_{sps} \succ f_{spe} \succ f_{spl} \succ f_{spp} \succ f_{spm},$$

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

Можливий змішаний вибір Л-О ( $R_{AB}$ ), якщо Л-О ПР з ймовірностями в бік позитивного чи негативного полюсів.

### 3.3. Графоаналітичні моделі прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи в умовах розвитку польотних ситуацій

#### 3.3.1. Дослідження діяльності оператора аеронавігаційної системи в умовах розвитку польотних ситуацій

Метою аналізу аварійних ситуацій технічних об'єктів (ЛА, морського корабля, енергетичних установок тощо) 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, на жаль, 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 [224]: «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 [114], 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 льотної події не реалізуються. Катастрофічна ситуація – ненавмисне ускладнення польоту, під час якого екіпаж не може врятувати ПК і попередити АП" (рис. 2.11). 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. 3.12).

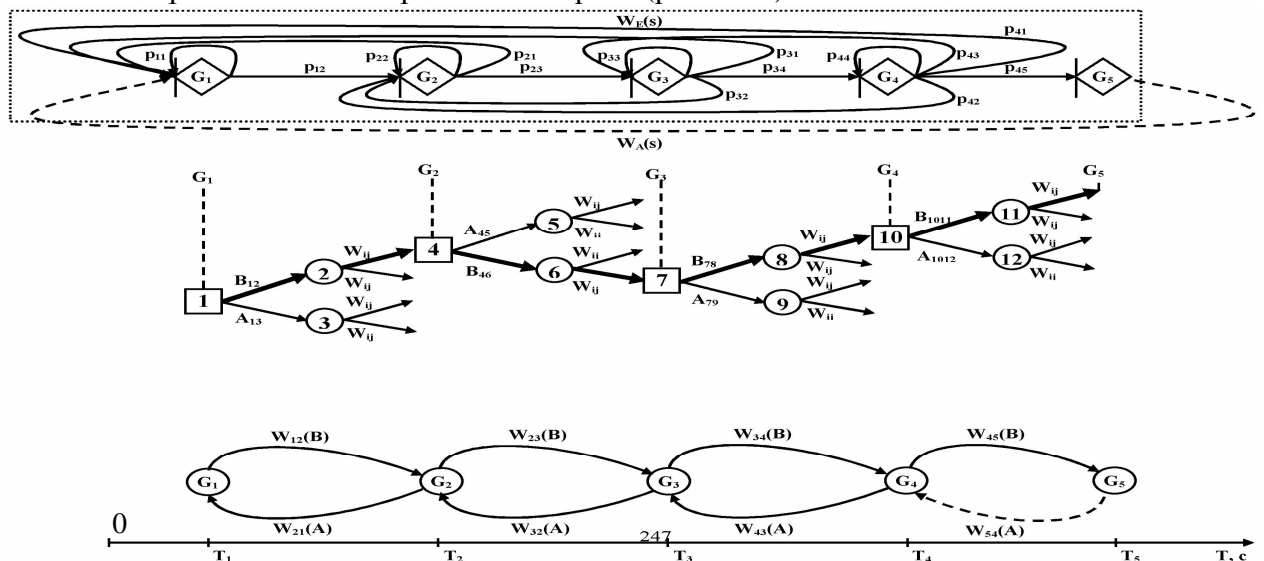


Рис. 3.12. Стохастичні моделі типу мережі GERT, дерева рішень та марковської мережі:  $W_{ij}$ ,  $W_E(s)$ ,  $W_A(s)$  – коефіцієнти пропускання  $(i, j)$ -дуги, відкритої мережі та фіктивної дуги;  $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5$  – нормальна, ускладнена, складна, аварійна, катастрофічна ситуації;  $A, B$  – вибір у бік позитивного (негативного) полюса;  $p_{ii}$  ( $p_{11}, p_{22}, p_{33}, p_{44}$ ) – імовірності стабілізації  $i$ -ї польотної ситуації,  $i = \overline{1; n-1}$ ;  $p_{i(i+1)}$  ( $p_{12}, p_{23}, p_{34}, p_{45}$ ) – 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 парирування ОВП,  $k = \overline{1; 3}$

За допомогою біполярної рефлексивної моделі поведінкової діяльності Л-О в екстремальних ситуаціях [148; 389] отримано  $W$ -функції вибору в бік позитивного (негативного) полюса. Розрахунок одного із сценаріїв розвитку польотної ситуації як приклад заходу на посадку в СМУ [274; 357; 390; 391] наведено на рис. 3.13.

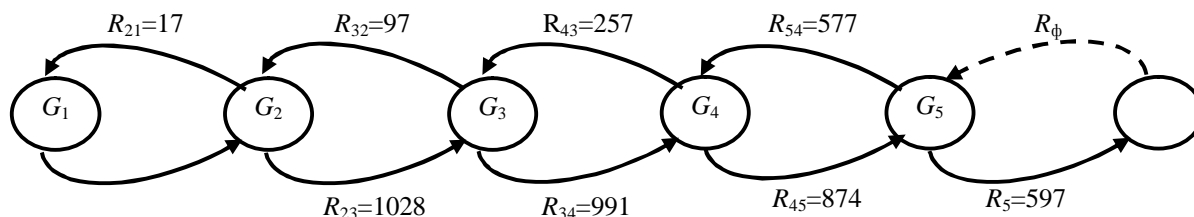


Рис. 3.13. Марковська мережа розвитку польотної ситуації:  $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5$  – нормальна, ускладнена, складна, аварійна, катастрофічна ситуації;  $R_{ij}$  – величина ризику при переході між польотними ситуаціями,  $R_\phi$  – величина ризику для фіктивної дуги

Результати розрахунку ризиків  $R_{ij}$  при переході між польотними ситуаціями за критерієм очікуваного значення методом динамічного програмування зведено в табл. 3.12.

Таблиця 3.12

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	

Приклад розрахунку очікуваних ризиків при переході між польотними ситуаціями наведено на рис. 3.14. Вибір у бік негативного полюса  $B$  за сценарієм  $S_{1-2-3-4B}$  приводить до максимального очікуваного ризику  $R = 1028$  у.о. Вибір у бік позитивного полюса  $A$  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.

### 3.3.2 Порівняв формалізація графоаналітичних моделей прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи

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 [355; 356; 372]. При моделюванні розвитку польотних ситуацій доцільно використовувати орієнтовані графи. Були отримані моделі розвитку польотної ситуації  $M_c$  і моделі ПР Л-О АНС  $M_{ПР}$  з урахуванням індивідуальних якостей Л-О, що ПР, у вигляді орієнтованого графу  $\bar{G}$  (рис. 3.15).

Подамо порівняв формалізацію графоаналітичної моделі ПР Л-О АНС.

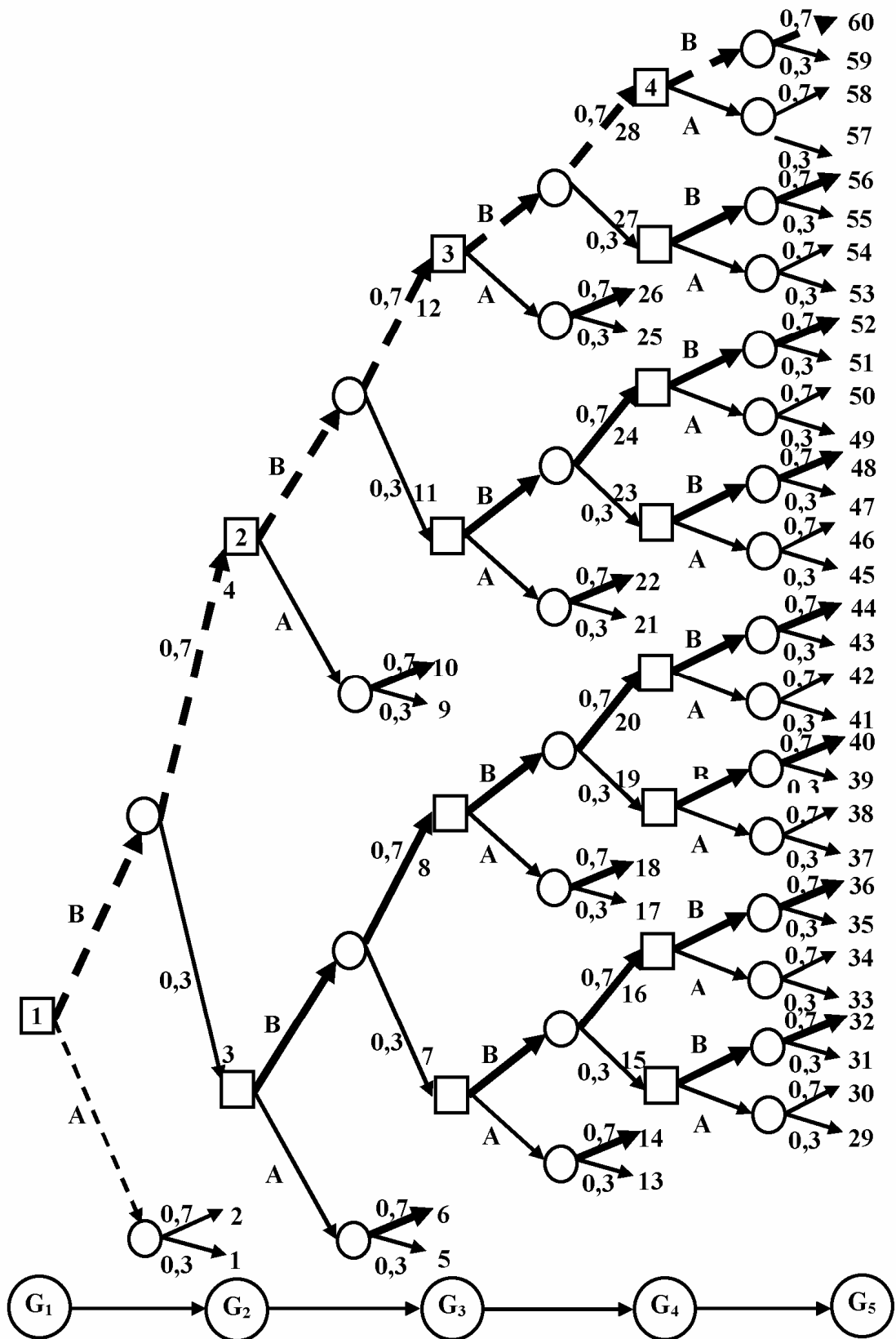


Рис. 3.14. Приклад розрахунку одного з сценаріїв розвитку польотної ситуації:  $A, B$  – вибір в бік позитивного або негативного полюса ;  $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5$  – нормальна, ускладнена, складна, аварійна, катастрофічна ситуації



**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;  $\bar{G}_{iint}^I$  – 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.

**Другий рівень (ідентифікація ситуації)** можна подати у вигляді множини:

$$\bar{G}_i^{II} = \left\{ \bar{G}_{pj}^{II}, \bar{G}_{sk}^{II}, \bar{G}_{cr}^{II} \right\},$$

де  $\bar{G}_{pj}^{II} = \left\{ \bar{G}_{p1}^{II}, \bar{G}_{p2}^{II}, \bar{G}_{p3}^{II}, \bar{G}_{p4}^{II}, \bar{G}_{p5}^{II} \right\}$  – 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;  $\bar{G}_{cr}^{II} = \left\{ \bar{G}_{c1}^{II}, \bar{G}_{c2}^{II} \right\}$  – підмножина умов експлуатації об'єкту управління (ПК):  $\bar{G}_{c1}^{II}$  – очікувані умови експлуатації ПК;  $\bar{G}_{c2}^{II}$  – неочікувані умови експлуатації ПК;  $\bar{G}_{sk}^{II} = \left\{ \bar{G}_{s1}^{II}, \bar{G}_{s2}^{II}, \bar{G}_{s3}^{II}, \bar{G}_{s4}^{II}, \bar{G}_{s5}^{II} \right\}$  – 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:

$$\bar{G}_i^{III} = \left\{ \bar{G}_{Mds}^{III}, \bar{G}_{Mdm}^{III} \right\},$$

де  $\bar{G}_{Mds}^{III} = \left\{ \bar{N}_{Mds}^{III}, \bar{M}_{Mds}^{III}, \bar{P}_{Mds}^{III}, \bar{C}_{Mds}^{III}, \bar{A}_{Mds}^{III} \right\}$  – підмножина стратегій розвитку ситуації:  $\bar{N}_{Mds}^{III}$  – множина нормативних послань;  $\bar{M}_{Mds}^{III}$  – 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;  $\bar{G}_{Mdm}^{III} = \left\{ \bar{N}_{Mdm}^{III}, \bar{M}_{Mdm}^{III}, \bar{P}_{Mdm}^{III}, \bar{C}_{Mdm}^{III}, \bar{A}_{Mdm}^{III} \right\}$  – підмножина стратегій прийняття рішень Л-О:  $\bar{N}_{Mdm}^{III}$  – множина нормативних послань;  $\bar{M}_{Mdm}^{III}$  – множина наслідків дій Л-О;  $\bar{P}_{Mdm}^{III}$  – множина ймовірних дій Л-О;  $\bar{C}_{Mdm}^{III}$  – множина якостей Л-О;  $\bar{A}_{Mdm}^{III}$  – множина стратегій дій Л-О.

Формалізацію третього рівня графоаналітичної моделі ПР Л-О АНС зображено функціональною схемою системи керування (рис. 3.15).

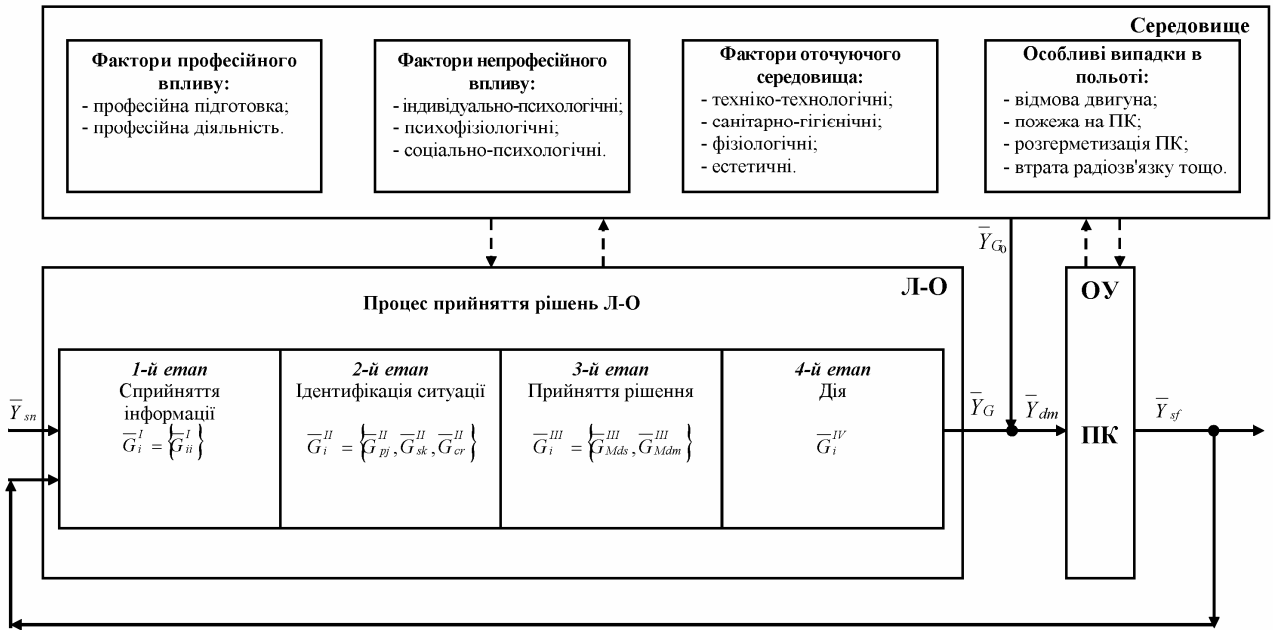


Рис.3.15 Система «Л-О – ПК – Середовище»:  $\bar{Y}_{sn}$  – вектор заданих нормативних значень розвитку польотної ситуації;  $\bar{Y}_G$ ,  $\bar{Y}_{G_0}$  – вектори керуючих дій Л-О без врахування та з врахуванням впливу середовища відповідно;  $\bar{Y}_{dm}$  – вектор прийняття рішення Л-О;  $\bar{Y}_{sf}$  – вектор фактичних значень розвитку польотної ситуації

**Четвертий рівень (дія Л-О)  $\bar{G}_i^{IV}$**  полягає у виборі оптимальної дії керувальним елементом (Л-О), і може бути поданий функцією:

$$\bar{Y}_G = F(\bar{G}_i^I, \bar{G}_i^{II}, \bar{G}_i^{III}, \bar{G}_i^{IV}),$$

де  $\bar{G}_i^I, \bar{G}_i^{II}, \bar{G}_i^{III}, \bar{G}_i^{IV}$  – 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  $\bar{G}_0$  (рис. 3.16 і 3.17).

Наприклад, очікуваний ризик ПР Л-О (3.5), якщо Л-О здійснює вибір в сторону негативного полюсу  $B$  під впливом економічних факторів  $f_{spe}$ :

$$R_{\text{ПР}} = R_B \left\{ \bar{\gamma}, \rho(f_{sps} \succ f_{spe} \succ f_{spl} \succ f_{spp} \succ f_{spm}) \right\} \left\{ \bar{\gamma}, \rho(f_{spe}) \right\},$$

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.

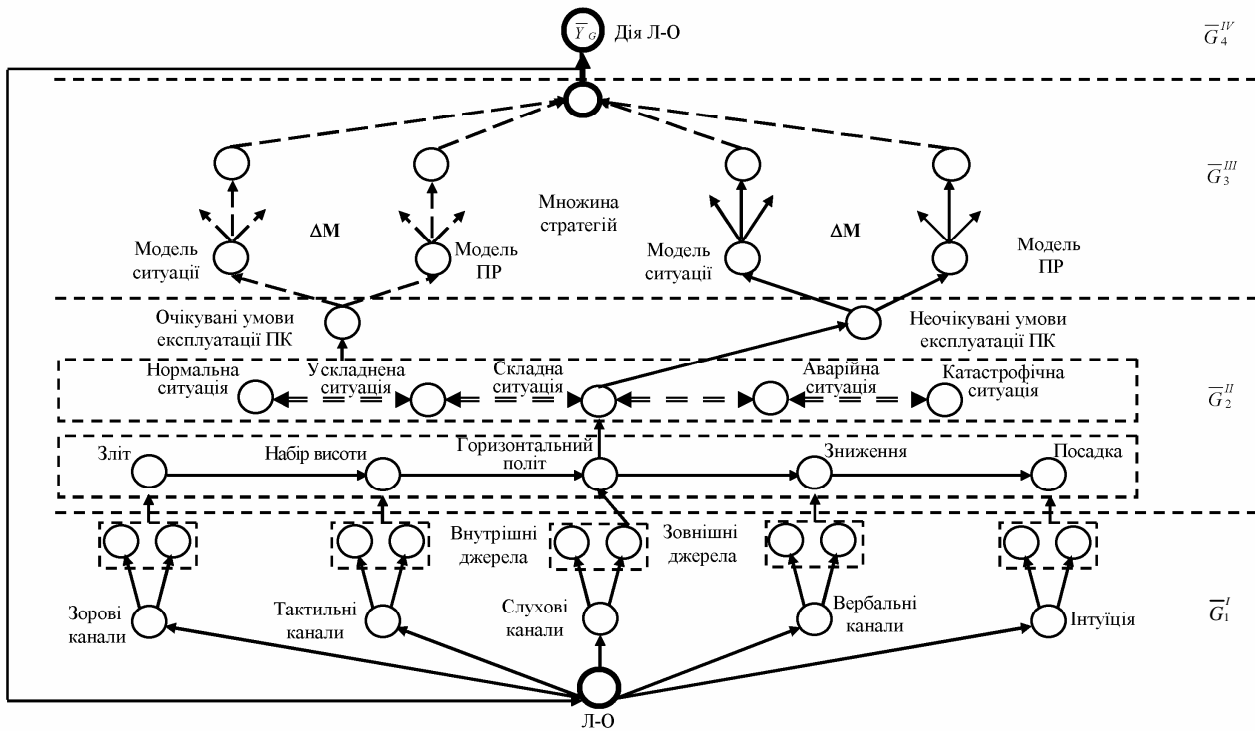


Рис. 3.15. Графоаналітична модель ПР Л-О  $\bar{Y}_G$

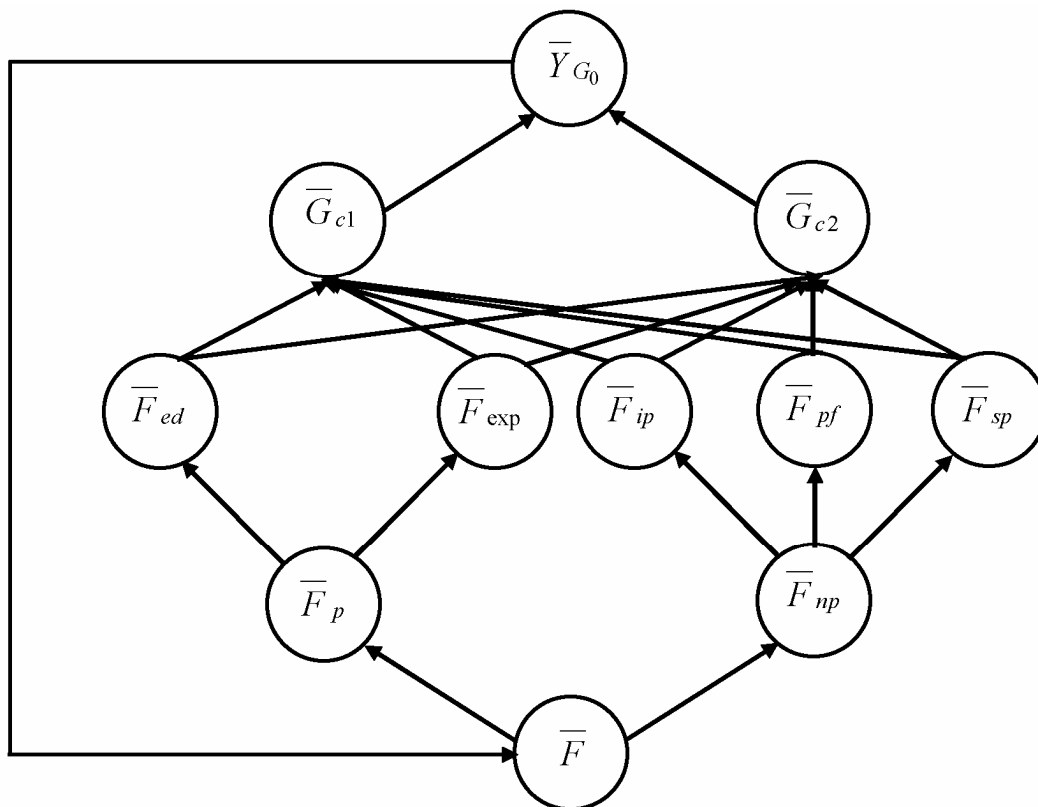


Рис. 3.16. Підграф  $\bar{G}_0$  факторів  $\bar{F} = \{\bar{F}_p, \bar{F}_{np}\}$ , що впливають на ПР Л-О:  $\bar{F}_p = \{\bar{F}_{ed}, \bar{F}_{exp}\}$  – фактори професійної діяльності Л-О;  $\bar{F}_{ed}, \bar{F}_{exp}$  – знання, навички, вміння, здобуті Л-О в процесі навчання і професійної діяльності 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

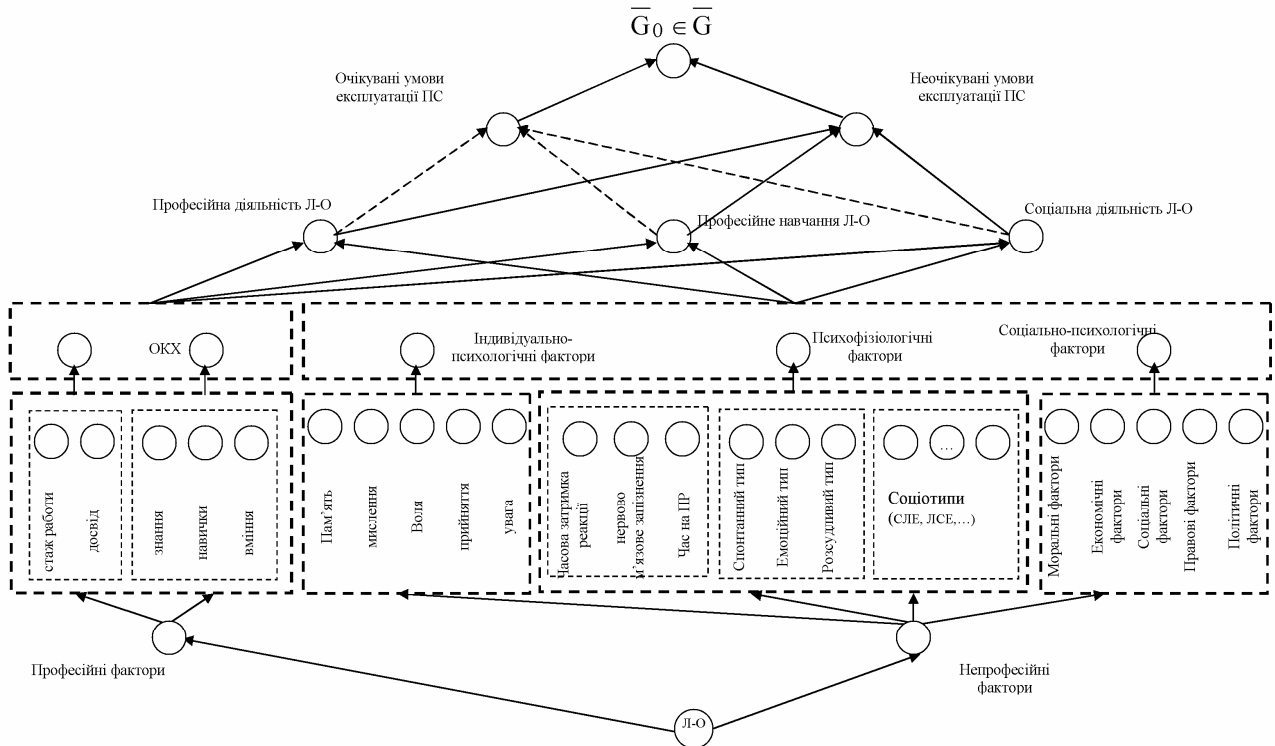


Рис. 3.17. Підграф  $\bar{Y}_{G_0}$  факторів  $\bar{F} = \{\bar{F}_p, \bar{F}_{np}\}$ , що впливають на ПР Л-О АНС

Приклад моделювання ПР Л-О АНС у разі виникнення складної ситуації в польоті на етапі горизонтального польоту в неочікуваних умовах експлуатації ПК наведено на рис. 3.18. 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  $\bar{G}_{c2}^{II}$ :

$$\bar{Y} = F(\bar{G}_y^I, \bar{G}_{p3}^{II}, \bar{G}_{s3}^{II}, \bar{G}_{c2}^{II}, \bar{G}_{Mdm}^{III}, \bar{G}_i^{IV} (F_{inp} \langle f_{ipt}, f_{ipa}, f_{ipp}, f_{ipth}, f_{ipi}, f_{ipn}, f_{ipw}, f_{iph}, f_{exp} \rangle, F_{ip})),$$

де етапи ПР Л-О наступні:

**I. Сприйняття інформації**  $\bar{G}_y^I = \{\bar{G}_y^I\}$  – слухове сприйняття інформації за допомогою зовнішніх джерел  $\bar{G}_y^I$ .

**II. Ідентифікація ситуації**  $\bar{G}_i^{II} = \{\bar{G}_{pi}^{II}, \bar{G}_{sk}^{II}, \bar{G}_{cr}^{II}\}$ :

– етап польоту ПК – горизонтальний політ  $\bar{G}_{p3}^{II}$ ;

– складна польотна ситуація  $\bar{G}_{s3}^{II}$ ;

– неочікувані умови експлуатації ПК –  $\bar{G}_{c2}^{II}$ .

**III. 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:

$$\begin{aligned} \bar{G}_i^{III} &= \{\bar{G}_{Mds}^{III}, \bar{G}_{Mdm}^{III}\} = \{\bar{G}_{Mdm}^{III}\} = F(\bar{N}_{Mdm}, \bar{M}_{Mdm}, \bar{P}_{Mdm}, \bar{G}_{Mdm}, \bar{A}_{Mdm}) = \\ &= \begin{cases} R_A = \min\{R_{ij}\} \\ R_B = \{\gamma, \rho\} \quad \bar{F}_{ip} \quad \{f_{ipt}, f_{ipa}, f_{ipp}, f_{ipth}, f_{ipi}, f_{ipn}, f_{ipw}, f_{iph}, f_{exp}\} \end{cases}, \end{aligned}$$

де  $\bar{N}_{Mdm}$  – нормативні посилання;  $\bar{M}_{Mdm}$  – 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» (рис. 3.15). 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)  $\bar{Y}_{dm}$ .

**IV. Дія Л-О** залежить від впливу зовнішнього середовища, дії факторів професійного і непрофесійного характеру:

$$G_i^{IV} = \{ \bar{F}_p, \bar{F}_{np} \},$$

де  $\bar{F}_p = \{ F_{ed}, F_{exp} \}$  – професійні фактори;  $\bar{F}_{np} = \{ F_{ip}, F_{pf}, F_{sp} \}$  – 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 (формули (3.1), (3.5), (3.6)). Зміст і формальний опис параметрів графоаналітичної моделі ПР Л-О АНС наведено в табл. 3.13.

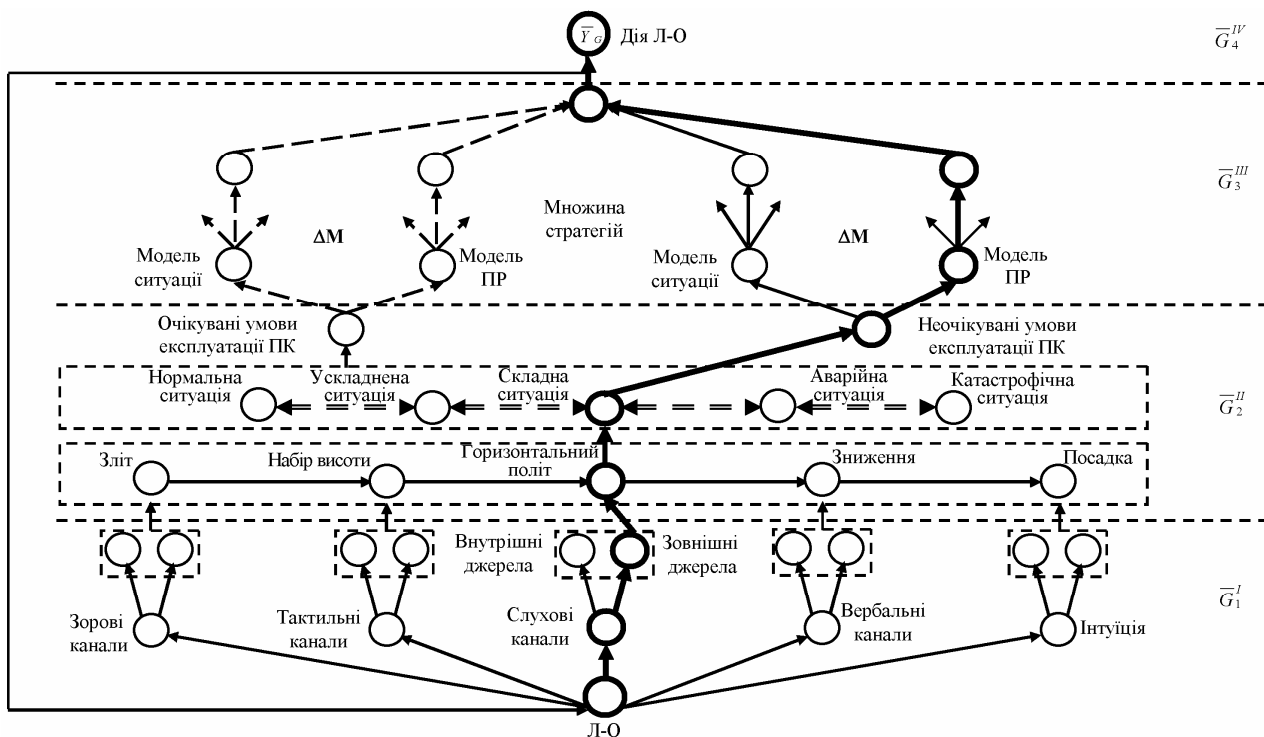


Рис. 3.18. Приклад графоаналітичної моделі ПР Л-О при виникненні складної ситуації в польоті на етапі горизонтального польоту в неочікуваних умовах експлуатації ПК

## Зміст і формальний опис параметрів графоаналітичної моделі ПР Л-О АНС

I. Сприйняття інформації $\overline{G}_i^I$	
$\overline{G}_i^I = \{ \overline{G}_y^I, \overline{G}_a^I, \overline{G}_t^I, \overline{G}_v^I, \overline{G}_i^I \}$	$\overline{G}_y^I$ – 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
II. Ідентифікація ситуації $\overline{G}_i^{II} = \{ \overline{G}_{pj}^{II}, \overline{G}_{sk}^{II}, \overline{G}_{cr}^{II} \}$	
$\overline{G}_{pj}^{II} = \{ \overline{G}_{p1}^{II}, \overline{G}_{p2}^{II}, \overline{G}_{p3}^{II}, \overline{G}_{p4}^{II}, \overline{G}_{p5}^{II} \}, j = \overline{1,5}$ $\overline{G}_{pj}^{II} = F(\psi, H, V, V_y, \beta, \gamma, \vartheta)$ – 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; $\overline{G}_{c2}^{II}$ – неочікувані умови експлуатації ПК
$\overline{G}_{c2}^{II} = F(\overline{N}_{d2}, \overline{M}_{d2}, \overline{P}_{d2}, \overline{G}_{0d2})$	
III. Прийняття рішень Л-О $\overline{G}_i^{III} = \{ \overline{G}_{Mds}^{III}, \overline{G}_{Mdm}^{III} \}$	
$\overline{G}_{M_c}^{III} = F(\overline{N}_{Mds}, \overline{M}_{Mds}, \overline{P}_{Mds}, \overline{G}_{Mds}, \overline{A}_{Mds})$ – модель розвитку ситуації	$\overline{N}_{Mds}$ – нормативні посилання; $\overline{M}_{Mds}$ – множина наслідків; $\overline{P}_{Mds}$ – множина ймовірностей розвитку ситуації; $\overline{G}_{Mds}$ – множина якостей Л-О; $\overline{A}_{Mds}$ – множина стратегій розвитку ситуації
$\overline{G}_{Mdm}^{III} = F(\overline{N}_{Mdm}, \overline{M}_{Mdm}, \overline{P}_{Mdm}, \overline{G}_{Mdm}, \overline{A}_{Mdm})$ – модель ПР Л-О	$\overline{N}_{Mdm}$ – нормативні посилання; $\overline{M}_{Mdm}$ – множина наслідків; $\overline{P}_{Mdm}$ – множина ймовірних дій Л-О; $\overline{G}_{Mdm}$ – множина якостей Л-О; $\overline{A}_{Mdm}$ – множина стратегій Л-О
IV. Дія ЛО $G_i^{IV} = \{ \overline{F}_p, \overline{F}_{np} \}$	
$\overline{F}_p = \{ \overline{F}_{ed}, \overline{F}_{exp} \}$ – фактори професійної діяльності Л-О; $\overline{F}_{np} = \{ \overline{F}_{ip}, \overline{F}_{pf}, \overline{F}_{sp} \}$ – фактори непрофесійної діяльності Л-О	$\overline{F}_{ed}, \overline{F}_{exp}$ – знання, навички, вміння, здобуті Л-О в процесі навчання і професійної діяльності; $\overline{F}_{ip}$ – множина індивідуально-психологічних якостей Л-О; $\overline{F}_{pf}$ – множина психофізіологічних якостей Л-О; $\overline{F}_{sp}$ – множина соціально-психологічних якостей Л-О
$\overline{Y} = F(\overline{G}_i^I, \overline{G}_i^{II}, \overline{G}_i^{III}, \overline{G}_i^{IV})$ $=  \overline{Y}_c - \overline{Y}_{np}  \rightarrow \min, i = \overline{1, m}$	$\overline{Y}_c = F(\overline{G})$ – вектор розвитку ситуації; $\overline{Y}_{np} = F(\overline{G}, \overline{G}_0)$ – вектор дії при ПР Л-О

Запропоновані моделі дозволяють 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.

### 3.3.3. Методологія аналізу прийняття рішень оператором аеронавігаційної системи у разі виникнення особливого випадку в польоті

Авторами розроблено методичні рекомендації для моделювання ПР Л-О в разі виникнення ОВП, СМУ, потенційно-конфліктних ситуацій (ПКС). Для аналізу ПР Л-О АНС у разі виникнення позаштатних ситуацій в польоті була розроблена методологія, представлена в табл. 3.14.

## 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 повітряного судна 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 ( $t_p, t_p'$ )
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 в ОВП, СМУ, ПКС 2. Мережевий графік виконання дій авіадиспетчером в ОВП, СМУ, ПКС 3. Критичний час виконання дій авіадиспетчером в ОВП, СМУ, ПКС 4. Критичний шлях виконання дій авіадиспетчером в ОВП, СМУ, ПКС 5. Етапи ПР Л-О з парирування ОВП, СМУ, ПКС
6	Розроблення стохастичних моделей ПР Л-О у разі виникнення ОВП, СМУ, ПКС	1. Структурний аналіз розвитку ОВП, СМУ, ПКС
		2. Аналіз невизначеності моделей
		3. Аналіз наслідків розвитку польотних ситуацій
		4. Аналіз ПР Л-О за допомогою дереві рішень
		5. Аналіз ПР Л-О за допомогою стохастичних мереж
		6. Знаходження мінімального ризику розвитку польотних ситуацій
		7. GERT- аналіз розвитку польотних ситуацій
7	Розроблення рефлексивних моделей біполярного вибору Л-О у разі виникнення ОВП, СМУ, ПКС	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: – моделі переваг Л-О значущості індивідуально-психологічних факторів – моделі переваг Л-О у разі впливу соціально-психологічних факторів – моделі психофізіологічних факторів
		2. Визначення очікуваних ризиків ПР Л-О на основі рефлексивної теорії біполярного вибору
8	Розроблення стохастичних моделей розвитку польотних ситуацій типу GERT	1. Визначення сценаріїв розвитку польотних ситуацій в сторону ускладнення і навпаки.
		2. Визначення ймовірностей розвитку ситуацій в сторону ускладнення і навпаки.
		3. Визначення дисперсії, математичного очікування часу $t_{ij}$ розвитку ситуацій в сторону ускладнення і навпаки

Продовження табл. 3.14

№ з/п	Етап аналізу	Результат
9	Побудова графів розвитку польотних ситуацій	1. Побудова стаціонарного процесу розвитку польотних ситуацій 2. Визначення коефіцієнтів інтенсивності (пропускання) $(i, j)$ -дуги в позитивному напрямку і зворотному напрямку 3. Марковська мережа розвитку польотних ситуацій 4. Укласти систему диференціальних рівнянь Колмогорова Визначення граничних ймовірностей стану польотних ситуацій
10	Модель розвитку польотної ситуації при ПР Л-О в ОВП	1. Очікуваний ризик розвитку польотних ситуацій – функціонал $F$ , що складається з ймовірностей: – розвитку польотних ситуацій – станів польотних ситуацій – наслідків розвитку польотних ситуацій – рівень ризику польотних ситуацій (нечіткі моделі) 2. Математичне очікування часу розвитку польотної ситуації 3. Мінімізація функціоналу $F$ – ризику розвитку польотних ситуацій

Вихідні параметри моделей ПР Л-О АНС в ОВП наводяться в табл.3.15.

Таблиця 3.15

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

№ з/п	Назва моделі	Вихід моделі	Параметри моделі
1	Детерміновані мережеві моделі ПР Л-О з детермінованим часом на виконання операційних процедур (дій) Л-О в ОВП відповідно до чіткого алгоритму дій, що прописані у нормативних та регламентуючих документах	Час на парировання ОВП	$T_{кр}$
2	Детерміновані мережеві моделі ПР Л-О з детермінованим та імовірнісним часом на виконання операційних процедур (дій) Л-О в ОВП відповідно до технології робіт авіаспеціаліста, що ПР	Середній, мінімальний і максимальний час на парировання ОВП	$T_{кр}, T_{сер}, T_{мін}, T_{макс}$
3	Стохастичні моделі ПР Л-О в ОВП, СМУ, ПКС в умовах ризику, які за допомогою структурно-логічного підходу (дерева рішень) враховують імовірнісні реалізації рішення в залежності від впливу зовнішнього середовища (метеумов, технічних факторів тощо)	Очікуваний ризик ПР Л-О	$M[t], R(A)$
4	Нечіткі моделі ПР Л-О в ОВП, СМУ, ПКС	Рівень ризику, величина потенційного збитку	$L_1, L_2, L_3, L_4, L_5$
5	Стохастичні моделі ПР Л-О в ОВП, СМУ, ПКС в умовах нестохастичної невизначеності (множина факторів зовнішнього середовища – метеумови, технічні характеристики аеродрому, місця посадки ПК, технічних характеристик ПК, помилкові дії Л-О тощо)	Оптимальна альтернатива ПР	$A^*$
6	Нейронні багатофакторні моделі ПР Л-О	Ймовірності альтернативних варіантів ПР Л-О	$\bar{P} = \{p_1, p_2, \dots\}$
7	Стохастичні моделі розвитку польотних ситуацій, які за допомогою альтернативного імовірнісного мережевого аналізу типу GERT, що допускає наявність циклів і петель, дозволяють прогнозувати розвиток польотних ситуацій в сторону ускладнення і навпаки	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	$p_{ij}(A), p_{ij}(B)$

**Висновки**

1. В рамках дослідження АНС як складної соціотехнічної системи проаналізовано значущість індивідуально-психологічних та вплив соціально-психологічних факторів на



професійну діяльність Л-О в умовах розвитку польотної ситуації від нормальної до катастрофічної.

2. На основі рефлексивної теорії біполярного вибору отримані очікувані ризики ПР Л-О АНС при впливі зовнішнього середовища, попереднього досвіду і вольового вибору Л-О.

3. Отримані сценарії розвитку польотної ситуації у разі ПР Л-О у бік позитивного або негативного полюса під тиском зовнішнього середовища, попереднього досвіду Л-О та вольового вибору (інтенції) відповідно до теорії рефлексії.

4. У результаті проведеної декомпозиції отримані графоаналітичні моделі:

- модель розвитку польотної ситуації з урахуванням індивідуальних якостей ЛПР;
- модель ПР Л-О АНС з урахуванням впливу соціально-психологічних факторів.

5. Розроблена методологія аналізу ПР Л-О АНС при виникненні ОВП, СМУ, ПКС.

#### **4. РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ОПЕРАТОРА АЕРОНАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ**

**4.1. Принципи побудови системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях**

**4.1.1. Основні задачі системи підтримки прийняття рішень людини авіадиспетчера у разі виникнення позаштатної польотної ситуації**

Як показали дослідження, вибір оптимального варіанта завершення польоту в позаштатних ситуаціях, які потребують вимушеної посадки ПК, вимагає від оператора аналізу значних обсягів різнопланової інформації.

Для комплексного обліку факторів, які впливають на вироблення авіадиспетчером керувальних рішень, необхідна побудова адаптивної системи підтримки прийняття рішень, що дозволяє враховувати динамічні характеристики стану ОК (ПК) і зовнішнього середовища (характеристик зони УПР).

*Основними задачами СППР авіадиспетчера в разі виникнення позаштатної польотної ситуації, яка потребує вимушеної посадки ПК, є [226; 237; 238; 241]:*

1. Збирання даних про стан ОК (ПК) і зовнішнього середовища (зони УПР).
2. Формування стратегії дій в такій ситуації (продовження польоту до аеродрому призначення (запасного) або виконання вимушеної посадки).
3. Прогнозування розвитку ситуації на борту і побудова області досяжності ПК за необхідності виконання вимушеної посадки.
4. Визначення характеристик альтернативних варіантів і формування множини допустимих альтернатив завершення польоту.
5. Оцінювання ефективності допустимих альтернатив та формування рекомендацій щодо визначення оптимального варіанта завершення польоту.

Задачі СППР пов'язані з необхідними даними, які можна розділити на дві категорії: *статичні та динамічні (оперативні).*

*До статичних даних про ПК належать 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 у стандартних умовах;
- допустимі складові вітру для посадки та планові дані, які система отримує з попередньо оформленого й поданого до служби руху плану польоту ПК:
- тип ПК;

- мінімум командира ПК для посадки.

*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.

*Статична інформація про аеродроми* містить такі дані:

- координати аеродрому;
- висоту аеродрому;
- мінімум аеродрому;
- кількість і тип ЗПС (штучну або ґрунтову);
- довжину ЗПС;
- посадковий шляховий кут ЗПС;
- нахил ЗПС.

*До оперативної інформації про аеродроми* належать:

- стан ЗПС (наявність ремонтних робіт, час звільнення ЗПС, коефіцієнт зчеплення, наявність снігу, сльоти, води, льоду, вологість і міцність ґрунту, міцність снігу);
- стан радіотехнічних засобів (РТЗ) посадки (працездатність або непрацездатність);
- метеорологічні умови (МУ) на аеродромі (небезпечні явища погоди, хмарність і видимість, напрямок і сила вітру, фактична температура).

*Дані статичної інформації про місцевість:*

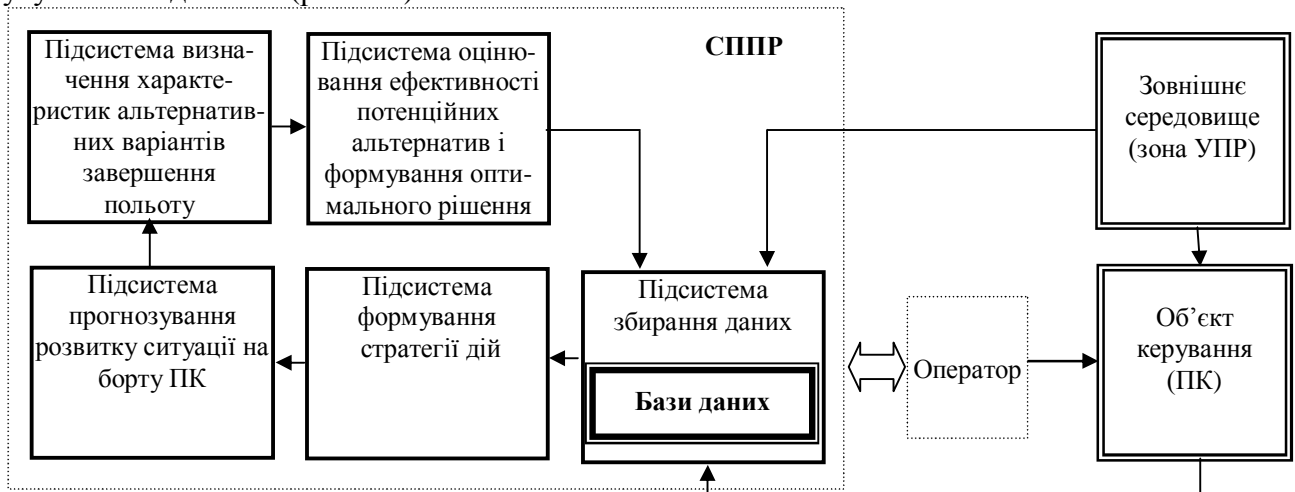
- тип майданчика для посадки;
- координати майданчика;
- наявність перешкод і населених пунктів;
- тип підстиляючої поверхні.

*Оперативна інформація про місцевість* включає метеорологічні дані: небезпечні явища погоди, хмарність і видимість, напрямок і силу вітру.

*Дані статичної інформації про Л-О:* параметри професійної діяльності Л-О, його індивідуально-психологічні і соціально-психологічні показники.

*До оперативної інформації щодо Л-О* належать його психофізіологічні показники.

Загальна концепція адаптивної системи інформаційної підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатній ситуації, що потребує вимушеної посадки ПК, подана у формі сукупності підсистем (рис. 4.1).



#### 4.1.2. Основні вимоги до систем підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях

З погляду на основні особливості, що пов'язані з виникненням позаштатних польотних ситуацій, визначимо принципи, за якими необхідно будувати СППР.

За основу візьмемо загальні принципи створення автоматизованої системи: системність, відкритість (розвиток), сумісність, стандартизація (уніфікація) та ефективність [164].

Дослідження у галузі створення СППР для авіаційної галузі показали, що ефективність отриманих рекомендацій в позаштатних ситуаціях знижується через:

- різке збільшення потоку інформації, яку отримує оператор в умовах ліміту часу й напруженого психофізіологічного стану;
- наявність психологічного дискомфорту, коли оператор відірваний від процедури вироблення рішення і тому змушений у більшості випадків ігнорувати навіть дуже корисні рекомендації через недовіру.

У зв'язку з цим сформулюємо основні вимоги до СППР авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях:

1. Застосування під час проектування СППР принципу оптимальної лаконічності (або необхідності й достатності інформації) [38; 68; 104], тобто усунення важливої, але непотрібної в конфліктній ситуації інформації й зорове виділення найбільш важливих елементів для концентрування на них уваги.

2. Наявність засобів, що створюють «комфортні» умови для оператора: діалог, видача рекомендацій у зручному вигляді, здатність системи пояснити людині своє рішення.

Враховуючи запропоновані в працях [99; 193; 194] рекомендації щодо форм подання інформації авіадиспетчеру в АС УПР щодо оптимального ПР, які пропонуються системою, і максимальної довіри до отриманих результатів Л-О, у СППР передбачається реалізація трьох режимів роботи системи залежно від складності позаштатної ситуації, яка характеризується часом на прийняття рішення, що є в розпорядженні оператора, і залежить від типу ситуації та стану ПК:

- пасивного режиму, в якому система лише видає нормативно-довідкову і оперативну інформацію: тактико-технічні характеристики ПК, характеристику аеродромів і місцевості, метеорологічну інформацію (застосовується в ситуаціях, у яких можливий політ до найближчого придатного аеродрому, наприклад, при ліквідованій пожежі на ПК);

- напівактивного режиму, в якому система пропонує декілька альтернативних варіантів завершення польоту з указанням величини потенційного збитку й значень основних факторів, що вплинули на оцінку, але вибір альтернативи залишається за диспетчером (застосовується, наприклад, в режимі планування у разі повної відмови двигунів на ПК);

- активного режиму, в якому система видає одну можливу альтернативу завершення польоту з мінімальним розміром потенційного збитку і вимагає від оператора її негайного виконання (застосовується в ситуаціях, які потребують екстреного завершення польоту, наприклад, при неліквідованій пожежі на борту ПК).

При цьому можливий перехід до будь-якої з форм інформаційної підтримки за бажанням диспетчера.

3. Можливість оброблення даних на основі методів логічного аналізу слабоформалізованої інформації, що закладена в знаннях та досвіді певного експерту.

Функції кожної з відокремлених концепцією підсистем (див. рис. 4.1) визначаються певним колом задач вимірювання. Конкретизуємо (у розумінні назви та місця в СППР авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях) в табл. 4.1, яка інформація буде виступати вхідними даними кожної підсистеми, а яка – вихідними.

Аналіз даних табл. 4.1 дозволяє зробити висновки про необхідність створення баз даних (БД), а також відокремлення двох їх основних груп. До першої групи належать бази, які являють собою стаціонарне джерело даних – вони створюються до початку роботи СППР; до другої – динамічне джерело даних – БД, які будуються самою системою у процесі оброблення динамічної інформації про ПК і зони УПР і надалі нею використовуються.

Виходячи з цього, визначимо, які саме БД становитимуть основу обох груп.

До першої групи увійдуть такі БД:

- тактико-технічні характеристики ПК;
- планова інформація щодо ПК;
- тип потенційного МП;
- характеристика аеродромів зони УПР;
- характеристика місцевості зони УПР;
- параметри професійної діяльності Л-О;
- індивідуально-психологічні показники Л-О;
- соціально-психологічні показники Л-О.

Основу другої групи складуть:

- моніторингові дані про ПК;
- технічна інформація про аеродроми;
- метеорологічна інформація про аеродроми;
- метеорологічна інформація про місцевість;
- психофізіологічні показники Л-О.

Таблиця 4.1

**Функції підсистем СППР авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях**

Підсистема	Вхідна інформація (джерело активізації)	Задачі (функції)	Вихідна інформація (результат)
Збирання даних	Динамічна інформація про ПК і зони УПР	Збирання та зберігання даних	Створення баз даних про стан ОК і зовнішнього середовища
Формування стратегії дій	Статична й динамічна інформація про ПК; модель формування стратегій	Оцінювання можливості подальшого продовження польоту	Рекомендації щодо можливості продовження польоту або необхідності виконання вимушеної посадки
Прогнозування розвитку ситуації	Статична й динамічна інформація про ПК; моделі розвитку ситуації та руху ПК	Оцінювання критичного часу польоту ПК	Побудова області досяжності ПК
Визначення характеристик альтернативних варіантів завершення польоту	Статична інформація щодо ПК; статична й динамічна інформація про зону УПР у межах області досяжності ПК; моделі й алгоритми оцінки	Оцінювання типу потенційного МП Оцінювання виду й придатності підстилаючої поверхні Оцінювання технічної придатності аеродромів Оцінювання метеорологічних умов потенційного МП	Множина допустимих альтернатив завершення польоту та їх характеристика
Оцінювання ефективності потенційних альтернатив і формування оптимального рішення	Характеристика допустимих альтернатив завершення польоту; модель оцінювання ефективності альтернативних варіантів; методи, моделі та критерії оптимізації рішень	Оцінювання ефективності потенційних альтернатив і формування оптимального варіанта завершення польоту	Рекомендації щодо оптимального варіанта завершення польоту

Таким чином, СППР авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях можна подати у вигляді структури (рис. 4.2).

Створюючи БД, особливо важливо дотримуватись принципу розвитку, що викликано специфікою ОК і зовнішніх умов – їх динамікою. Це повинно позначитись і на виборі програмної платформи будування, і на розробленні структури БД.

Автоматизоване робоче місце оператора

АД МЦ

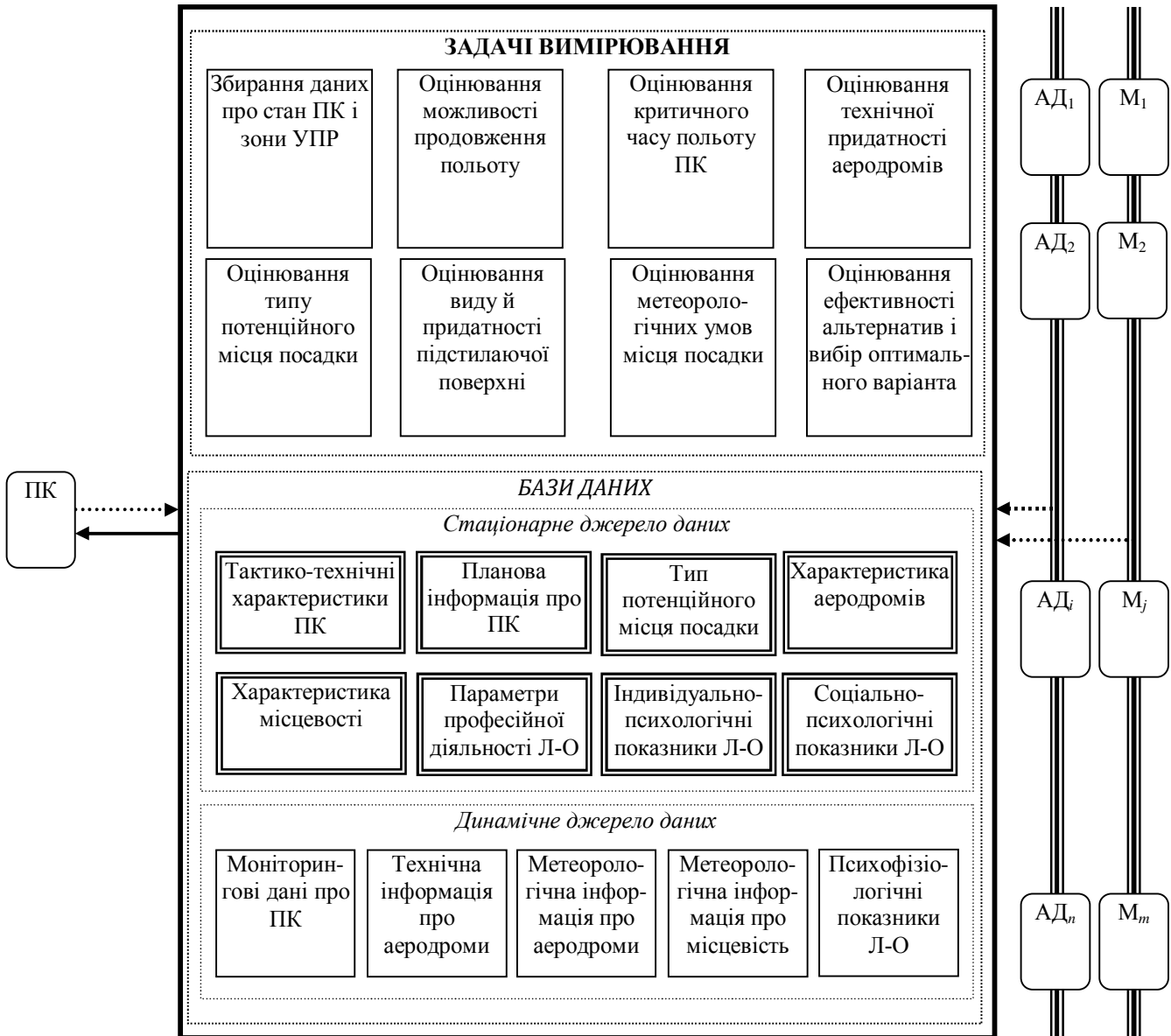


Рис. 4.2. Структура СППР авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки ПК: АД – аеродроми; МЦ – місцевість; М – майданчики; → – сигнали управління; •→ – потоки інформації

У побудові СППР необхідно реалізувати основні концепції інформаційних систем, таких як інтерактивність, потужність, доступність, гнучкість, надійність, робастність і керованість [202]. Урахування тенденцій розвитку програмного забезпечення, принципу стандартизації, специфіки організації праці в диспетчерській зміні і визначення оптимальної альтернативи завершення польоту в позаштатних ситуаціях зумовило вибір для експериментальної установки операційної

системи з інтегрованими мережевими засобами Windows XP Professional та системи управління БД dBase 4. Реалізація СППР авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях у складі АС УПР повинна здійснюватись на основі більш надійної операційної системи UNIX або її клонів (відкритої операційної системи Open BSD, операційної системи реального часу QNX) та сучасних потужних систем управління БД (MS SQL Server, Oracle), які здатні виконувати множинні транзакції.

На підставі проведених досліджень процесу прийняття рішень для вибору оптимального варіанта завершення польоту в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки ПК, та запропонованої структури СППР авіадиспетчера, простежується така логіка роботи системи (рис. 4.3).

Принцип системності визначається цілісністю СППР, яка забезпечується встановленими при декомпозиції зв'язками (інформаційними, логічними, програмними) між усіма структурними елементами. В систему доцільно вводити якомога більше точок санкціонованого доступу для досвідчених спеціалістів, які можуть оцінювати отримувані рекомендації, вносити в них корективи у разі потреби, робити вибір у випадку багатоваріантних пропозицій. З практичного погляду під час розроблення СППР авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях також важливо використовувати принцип модульності, який передбачає можливість виокремлення із загальної системи моделей та інформації самостійної частини, які можна розроблювати й впроваджувати.

Передбачається управління зі зворотним зв'язком за станом ОК (ПК) і навколишнього середовища (зони УПР).

У СППР, що розроблюється, можна виділити *три основні етапи функціонування* [79]: навчання на прикладах; безпосереднє функціонування з видачею рекомендацій оператору та донавчання, що складається з коригування моделей на основі об'єктивної інформації про результати вибору *i*-ї альтернативи завершення польоту, що характеризувалася певним набором факторів.

## **4.2. Структурна декомпозиція задачі вибору оптимального варіанта завершення польоту в позаштатних ситуаціях**

### **4.2.1. Підзадача оцінювання можливості продовження польоту**

Остаточне прийняття рішення щодо можливості подальшого продовження польоту в разі виникнення позаштатних ситуацій нормативними документами покладено на командира ПК [18; 21; 260], але авіадиспетчер повинен постійно бути готовим до видачі відповідної підказки, оскільки згідно зі статистикою [158] у подібних ситуаціях у 30–45% випадків пілоти не можуть прийняти ніякого рішення через психологічний стрес, або у 25–35% випадків приймають неадекватне рішення.

*Технологія дій екіпажу ПК* у разі виникнення позаштатної ситуації залежить від типу ситуації і стану ПК і визначається Керівництвом з льотної експлуатації для певного типу ПК і Наставлянням з виконання польотів у цивільній авіації. Таким чином, ці дані й повинні бути вхідними для моделі, що буде генерувати на вихід рекомендовані альтернативи завершення польоту (рис. 4.4).

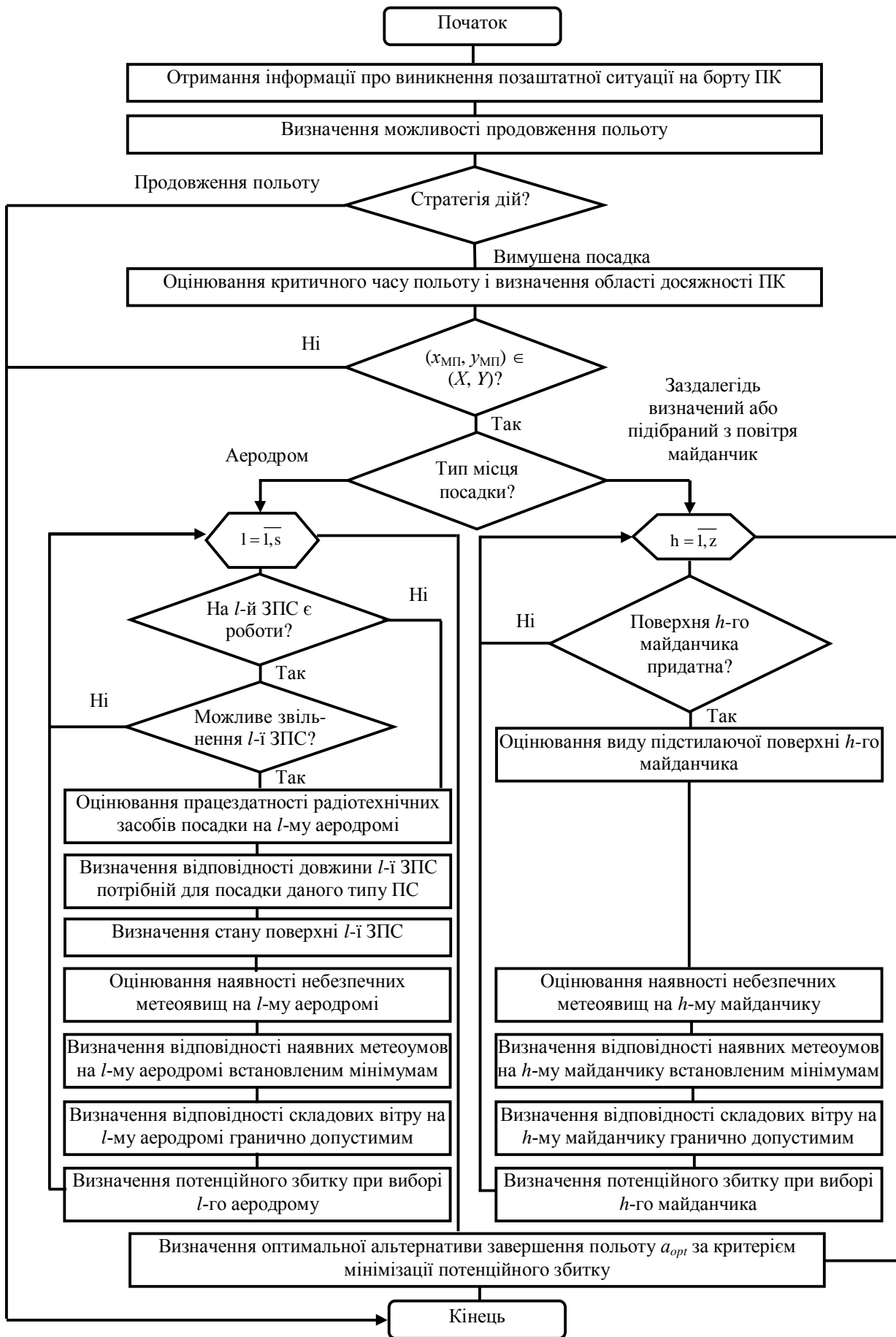


Рис. 4.3. Логіка роботи СППР авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях

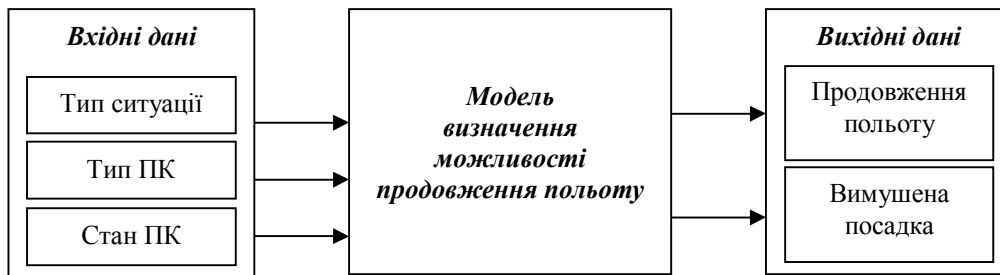


Рис. 4.4. Структура підзадачі оцінки можливості продовження польоту

У випадку прийняття рішення щодо необхідності виконання вимушеної посадки *критичний час польоту* ПК можна оцінити тільки в межах області досяжності ПК.

*Область досяжності* (ОД) – це геометричне місце точок на земній (водній) підстилаючий поверхні у вигляді кардіоїди, в межах якої ПК може виконати вимушену посадку [370].

Для кожного типу позаштатної ситуації використовується окрема математична модель побудови ОД.

Для випадку неліквідованої пожежі на ПК ОД будується, виходячи з мінімального часу, необхідного на виконання екстреного зниження й заходу на посадку  $t_{ек}$ . Критичний час розвитку пожежі  $t_{пож}$ , тобто час переходу ситуації на борту до катастрофічної, визначає максимальний розмір області досяжності ПК. Безпечно завершення польоту можливе лише за умови  $t_{ек} \leq t_{пож}$ . У разі повної втрати тяги на ПК ОД визначається максимальною відстанню планування з ешелону польоту  $t_{пл}$ .

Вид, розмір і розташування ОД ПК залежить від:

- типу ситуації;
- стану ПК;
- режиму зниження ПК;
- тактико-технічних характеристик (ТТХ) ПК (кількості та розташування двигунів, горизонтальних і вертикальних швидкостей, крену, аеродинамічної якості і т. ін.), які визначаються типом ПК;
- висоти польоту ПК;
- координат ПК;
- напрямку польоту ПК.

Проведені дослідження [188] виявили ідентичність процедур виконання вимушеної посадки ПК категорій *A, B, C, D*, тому для визначення ОД закордонних ПК, наявні відомості про яких включають лише їх категорію за ІСАО, використовуються відомі ТТХ ПК країн СНД, які належать до цієї категорії.

Результат виконання задачі – визначення аеродромів та майданчиків для виконання вимушеної посадки ПК, політ до яких можливий у такій ситуації. Надалі придатність оцінюється лише для місць посадки, які потрапили до ОД ПК.

Структуру підзадачі оцінювання критичного часу польоту ПК показано на рисунку 4.5.

#### 4.2.2. Підзадача оцінювання типу потенційного місця посадки

Трудомісткість виконання посадки та ефективність проведення пошуково-рятувальних робіт визначаються *типом потенційного місця посадки*.

На *трудомісткість* виконання посадки впливають такі фактори:

- поінформованість пілота ПК про місце посадки;
- складність процедур приземлення для екіпажу.

Під час посадки на аеродромі пілот отримує інформацію про його характеристики зі збірника аеронавігаційної інформації, який завжди є на борту ПК; у цій же збірці містяться й дані про заздалегідь визначені майданчики для вимушеної посадки.



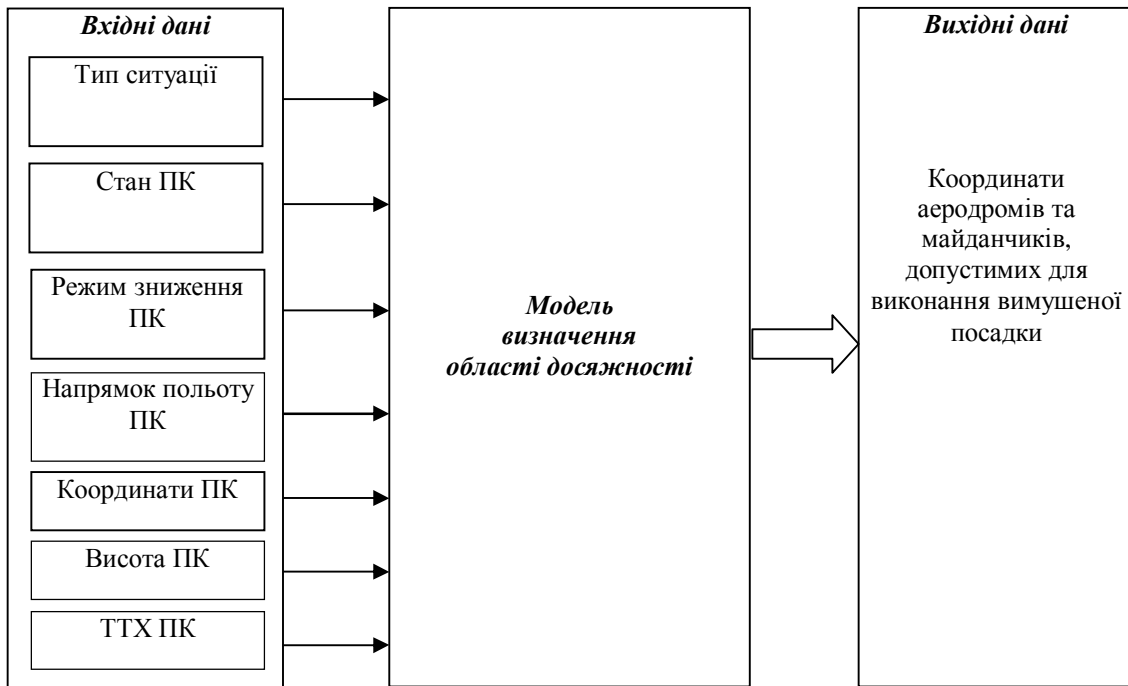


Рис. 4.5. Структура підзадачі оцінювання критичного часу польоту ПК

Процедура приземлення на ЗПС аеродрому також набагато легша, оскільки під час виконання вимушеної посадки на місцевості керівництвами з льотної експлуатації ПК рекомендується посадка з прибраними шасі (посадка «на живіт»).

В зоні УПР передбачаються заздалегідь визначені майданчики, відомі командирів ПК, з вільними від висотних перешкод підходами, з рівнинною поверхнею без штучних перешкод, на значній відстані від населених пунктів, конфігуративні розміри яких на менші за 300 × 2000 м, що забезпечує посадкову дистанцію для будь-якого типу ПК [195]. Трудомісткість посадки ПК на подібних майданчиках невисока.

Таким чином, найменш трудомісткою є посадка на аеродромі, найбільш трудомісткою – на підбраному з повітря майданчику.

На *ефективність проведення пошуково-рятувальних робіт (ПРР)* впливають такі фактори:

- точність визначення місця посадки;
- відстань від місця посадки до найближчої бази пошуково-рятувальних сил, які розміщені тільки на великих аеродромах, тобто часу, через який аварійний ПК зможе отримати допомогу;
- наявність під'їздів для прибуття пошуково-рятувальних сил на місце посадки.

Для посадки на аеродромі найбільш точно відоме місце посадки, до того ж кожний аеродром має на своєму балансі аварійно-рятувальні команди, які надають оперативну допомогу ПК, що виконує вимушену посадку на цьому аеродромі, тому за такого варіанта посадки ефективність проведення рятувальних робіт максимальна.

Для посадки на заздалегідь визначений майданчик точність визначення місця приземлення ПК значно зростає, до того ж подібні майданчики підбираються обов'язково з наявністю під'їздів і з близьким розташуванням бази пошуково-рятувальних сил.

Таким чином, для посадки на аеродромі або заздалегідь визначеному майданчику ПК напевне отримає оперативну допомогу, а для посадки на підбраному з повітря майданчику – залежно від його розташування, тому посадку на майданчик, підбраний з повітря, можна вважати найбільш неефективною з усіх позицій проведення операції пошуку і рятування.

Структуру підзадачі оцінювання типу для потенційних місць посадки, які потрапили до ОД ПК, показано на рис. 4.6.

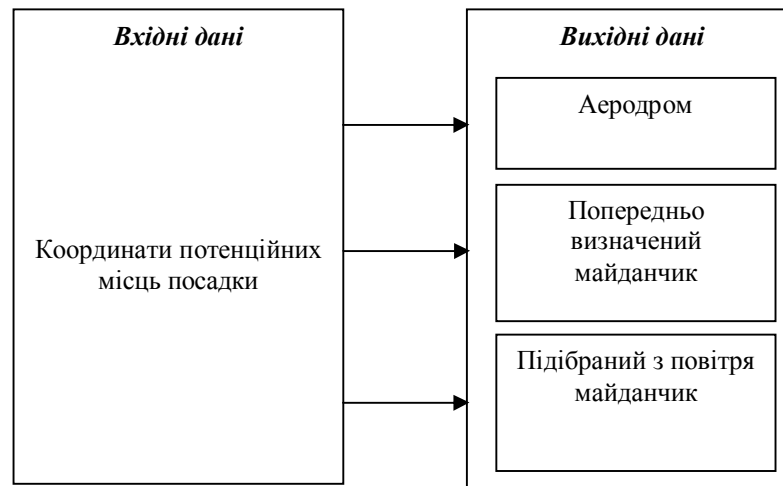


Рис. 4.6. Структура підзадачі оцінювання типу потенційного місця посадки

*Оцінювання виду й придатності підстилаючої поверхні.* З погляду на особливості виконання вимушеної посадки підстилаючу поверхню поділяють на п'ять видів [220] залежно від внутрішньої структури, наявності природних перешкод і екстремальних умов ( $k_{\text{сп}}$ ):

- рівнинна;
- лісна;
- горна;
- водна;
- пустельна.

Ділянки місцевості з однорідними характеристиками можна більш детально диференціювати за такими ознаками:

- наявність штучних перешкод (висотні перешкоди, трубопроводи, залізничні й автомобільні магістралі, високовольтні лінії електропередач і т. ін.) ( $k_{\text{пер}}$ );
- наявність населених пунктів ( $k_{\text{нп}}$ );
- зміна придатності підстилаючої поверхні залежно від пори року, погодних умов, виду сільськогосподарських культур, що вирощуються на полях, та інших факторів.

Для проведення класифікації поверхню певної зони УПР розбивають на ділянки розмірами  $2 \times 2$  км, які розрізняються коефіцієнтом придатності до посадки залежно від притаманних ознак. Заздалегідь визначені майданчики за своїми ознаками мають високу придатність до виконання вимушеної посадки.

Виконання посадки ближче, ніж за 5 км від населених пунктів, являє собою небезпеку для місцевих жителів, тому в цій зоні майданчики для вимушеної посадки не підбираються. Також вимушена посадка не виконується на майданчики з наявністю будь-яких штучних перешкод.

Структуру підзадачі оцінювання виду і придатності підстилаючої поверхні показано на рис. 4.7.

*Технічну придатність аеродромів* оцінюють за такими компонентами:

- наявністю робіт на ЗПС  $k_{\text{роб}}$  й можливістю її звільнення до моменту вимушеної посадки ПК;
- працездатністю РТЗ посадки на аеродромі;
- станом поверхні ЗПС;
- відповідністю фактичної довжини ЗПС  $L_{\text{ф}}$  потрібній довжині  $L_{\text{потр}}$  для посадки певного типу ПК.

Під час проведення довгочасних ремонтних робіт на ЗПС вона не може використовуватись для посадки. При короткочасних роботах на ЗПС, наприклад, її очищенні, необхідно розрахувати, чи встигне звільнитися ЗПС до приземлення ПК. Для цього час польоту ПК  $t_{\text{пол}}$  до аеродрому порівнюється з часом, потрібним для звільнення ЗПС  $t_{\text{зв}}$ , і при виконанні умови  $t_{\text{зв}} < t_{\text{пол}}$  аеродром може використовуватись для вимушеної посадки ПК.

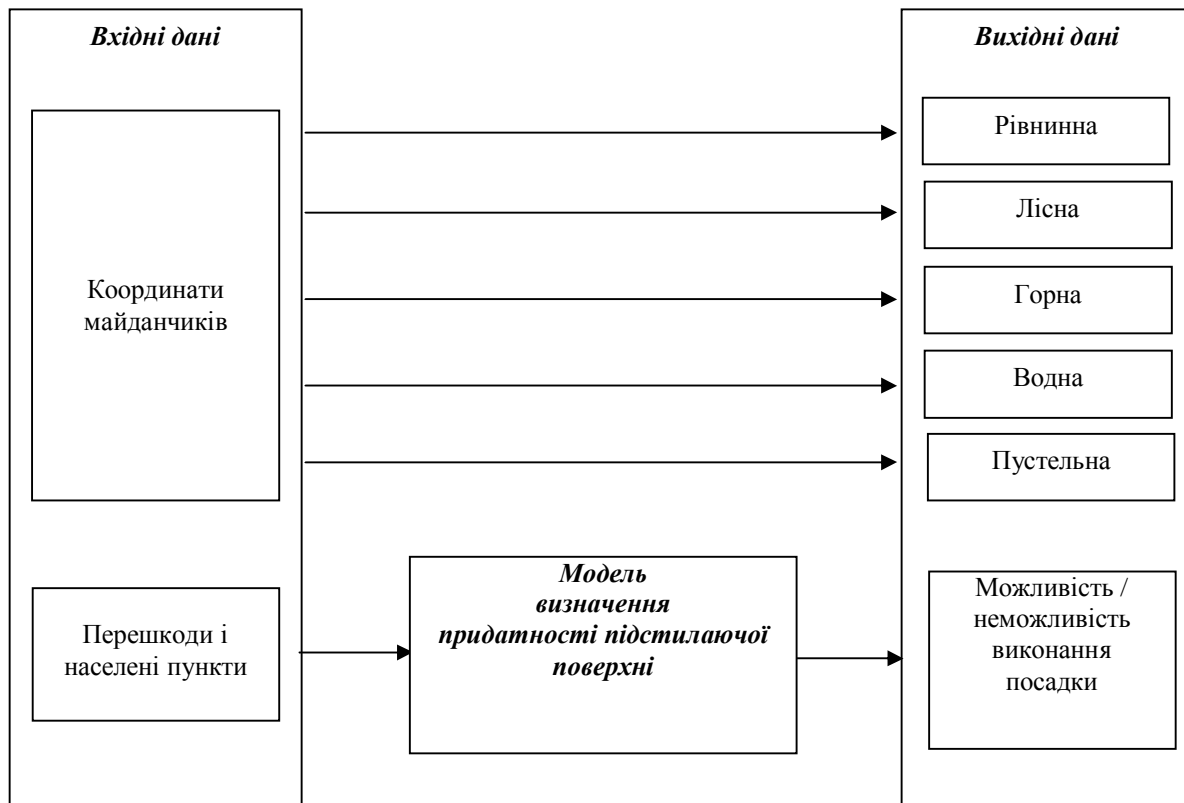


Рис. 4.7. Структура підзадачі оцінювання виду і придатності підстилаючої поверхні

Захід на посадку аварійного ПК рекомендується проводити за посадковим радіолокатором, або за посадковим радіолокатором з контролем по привідних радіостанціях (за умови справності устаткування) [18; 21; 260].

У разі відмови на аеродромі всіх РТЗ посадки в позаштатних польотних ситуаціях дозволяється візуальний захід на посадку [21].

Стан РТЗ ( $k_{ртз}$ ) визначається таким чином: працездатність РТЗ посадки ідентифікується логічною одиницею, непрацездатність – логічним нулем.

Наявність ремонтних робіт на ЗПС ( $k_{рем}$ ) кодується одиницею, відсутність – нулем.

Умови гальмування ПК на покриттях штучної ЗПС характеризується величиною коефіцієнта зчеплення, товщиною і видом атмосферних опадів (снігу, сльоти, води, ожеледиці) [21]. У разі відхилення від нормативних умов посадка на штучну ЗПС забороняється [21].

Можливість експлуатації ґрунтової ЗПС залежить від міцності ґрунту, міцності й товщини ущільненого і неуцільненого снігу, значення яких залежать від типу ПК. Посадка на ґрунтову ЗПС дозволяється, коли фактичні показники  $M_{гр.ф}$ ,  $M_{сн.ф}$ ,  $h_{сн.ф}$  не перевищують гранично допустимих показників  $M_{гр.доп}$ ,  $M_{сн.доп}$ ,  $h_{сн.доп}$ , установлених Керівництвом з льотної експлуатації для певного типу ПК.

Фактори, що визначають *потрібну для посадки довжину ЗПС*:

- тактико-технічні характеристики ПК (тип двигуна, посадкова маса);
- метеорологічні умови (температура повітря, напрямок і швидкість вітру, видимість);
- характеристики ЗПС (нахил, стан поверхні);
- розташування аеродрому (висота над рівнем моря).

Структуру підзадачі оцінювання технічної придатності аеродрому показано на рис. 4.8.

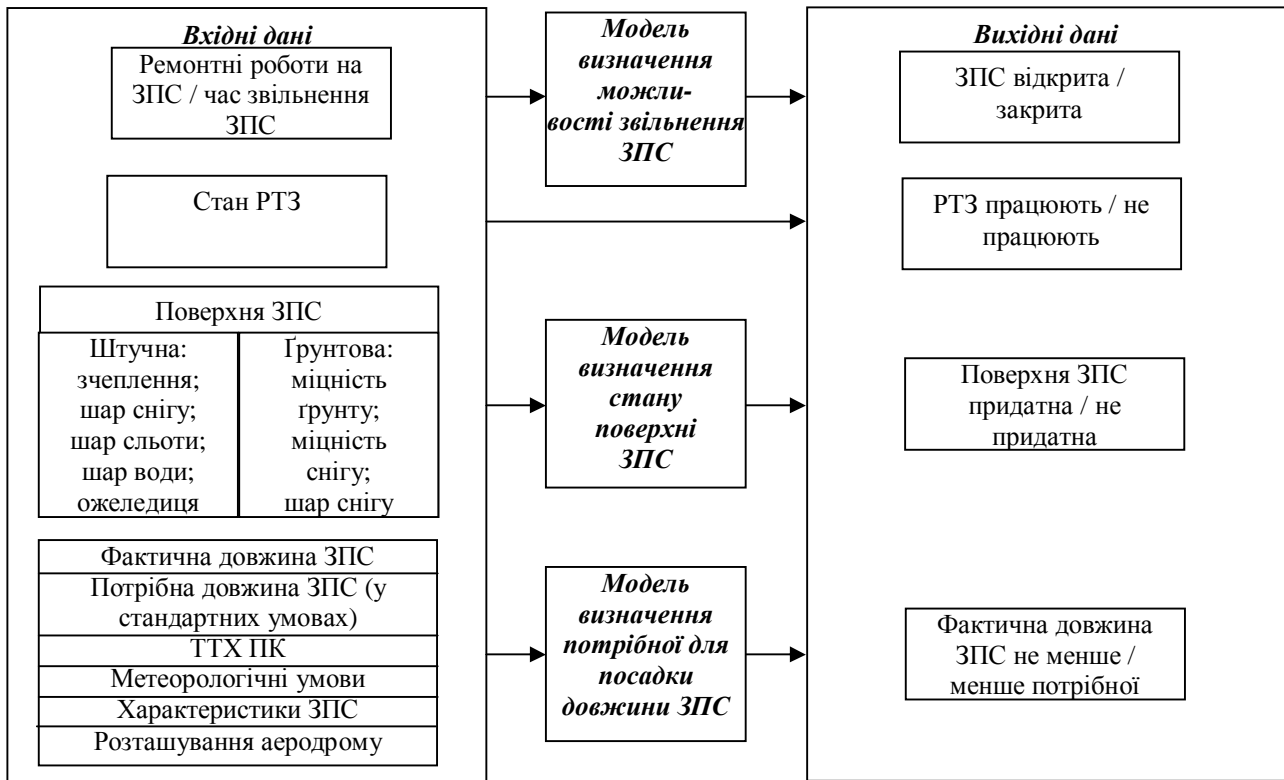


Рис. 4.8. Структура підзадачі оцінювання технічної придатності аеродрому

#### 4.2.3. Підзадача оцінювання метеорологічних умов потенційного місця посадки

Придатність потенційного місця посадки за метеорологічними умовами оцінюють за:

- наявністю небезпечних метеорологічних явищ ( $k_{\text{НМЯ}}$ ) (НМЯ);
- відповідністю висоти нижньої межі хмарності  $H_{\text{НМХ}}$  і видимості  $V$  установленим мінімумам;
- відповідністю фактичних попутної, зустрічної і бокової складових вітру установленим гранично допустимим.

До НМЯ, що впливають на можливість безпечного виконання посадки, належать [21]: гроза, град, сильна бовтанка, сильний зсув вітру, сильне обмерзання, смерч, буревій, сильна пильна буря, сильні зливові опади. Наявність будь-якого з указаних НМЯ відповідає логічній одиниці, відсутність – нулю. Наявність НМЯ дуже затрудняє виконання посадки.

Установлений мінімум аеродрому для посадки залежить від наявності на ньому і працездатності світлосигнальних та радіотехнічних систем посадки і типу ПК, що заходить на посадку; мінімум ПК – від типу ПК і системи заходу на посадку, яка ним використовується; мінімум командира ПК – від класу командира.

У разі виникнення позаштатних польотних ситуацій посадка в умовах, нижчих за метеорологічний мінімум, дозволяється [21].

Допустимі попутна  $U_{\text{п,доп}}$ , зустрічна  $U_{\text{з,доп}}$  і бокова  $U_{\text{б,доп}}$  складові вітру для виконання посадки залежать від типу ПК і стану посадкової поверхні.

Вхідними даними для моделі визначення відповідності метеорологічних умов установленим мінімумам є фактичні й мінімально допустимі висота нижньої межі хмарності й видимість, для моделі визначення відповідності складових вітру установленим гранично допустимим показникам – сила  $U$  й напрямлення  $\delta$  вітру і максимально допустимі складові вітру (рис. 4.9).

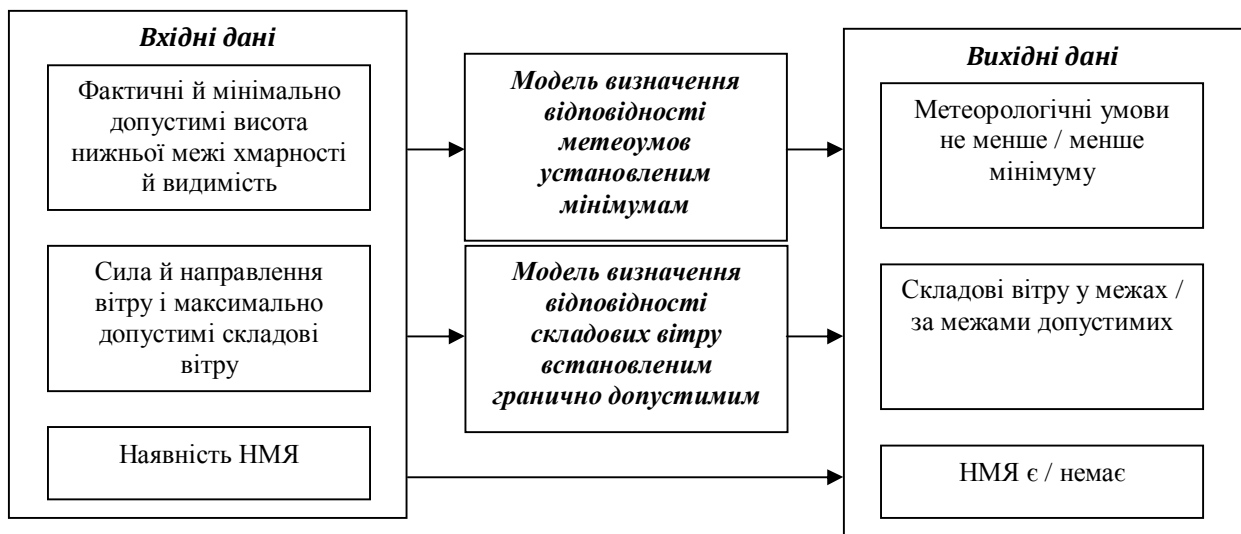


Рис. 4.9. Структура підзадачі оцінювання метеорологічних умов місця посадки

#### 4.2.4. Підзадача оцінювання ефективності потенційних альтернатив і формування оптимального варіанта завершення польоту

Підзадача оцінювання ефективності потенційних альтернатив і формування оптимального варіанта завершення польоту полягає в оцінюванні потенційного збитку в результаті реалізації певної альтернативи прийняття рішень і вибору оптимального варіанта за критерієм мінімізації потенційного збитку (рис. 4.10).

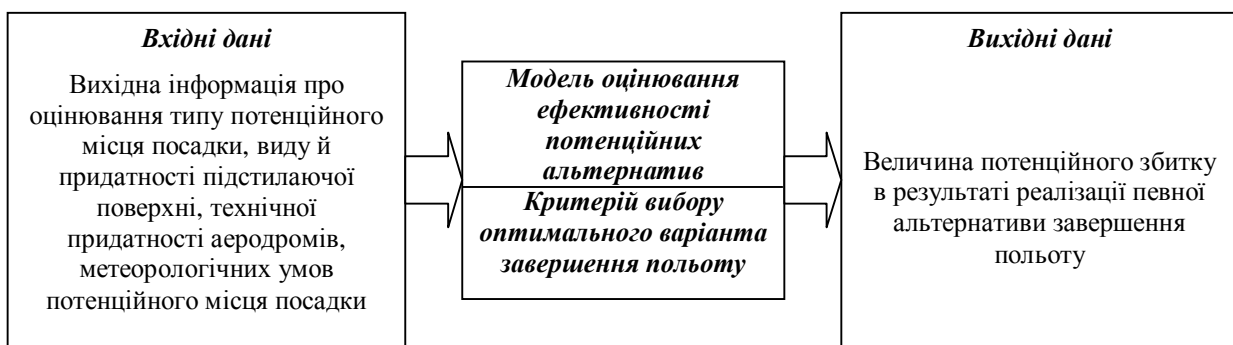


Рис. 4.10. Структура підзадачі оцінювання ефективності потенційних альтернатив і формування оптимального варіанта завершення польоту

### 4.3. Формування структури інформаційного забезпечення системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях

#### 4.3.1. Розроблення структури системи збору інформації, необхідної для вибору оптимальної альтернативи завершення польоту

Під час створення СППР будемо дотримуватися основних вимог, що ставляться до інформаційного забезпечення (ІЗ) [94]:

1. Методологічна єдність – досягається використанням системного підходу до ІЗ.

2. Інформаційна сумісність – досягається створенням у системі взаємозв'язку сукупності засобів та форм обміну інформацією у підсистемах.

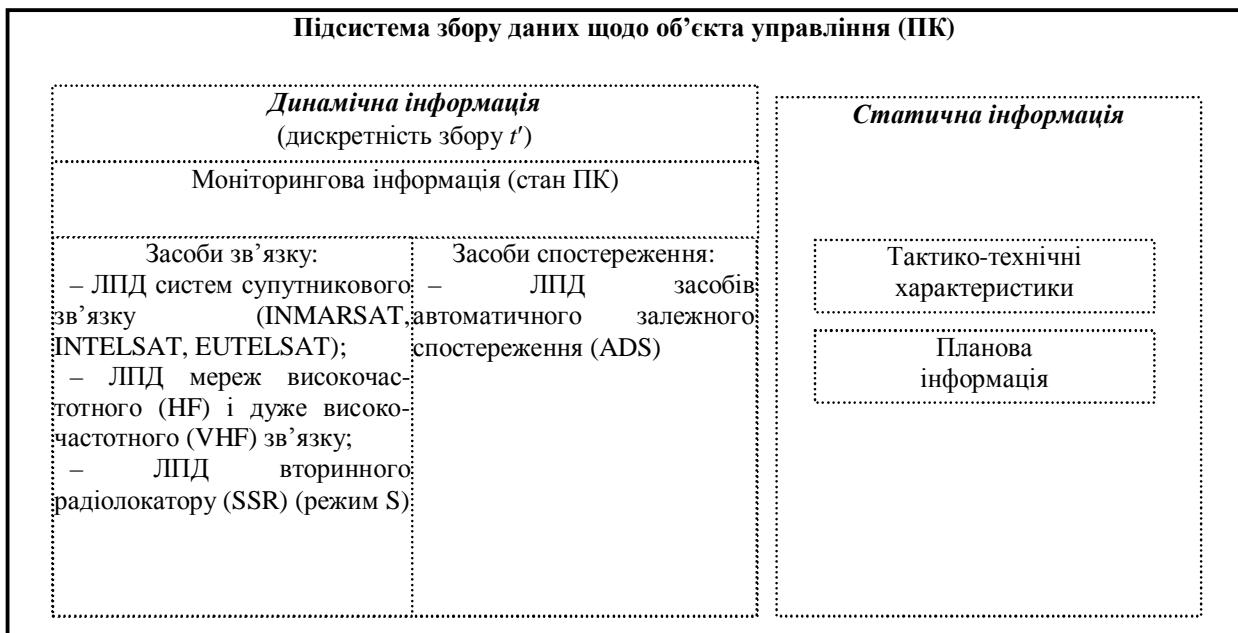
3. Інтеграція оброблення даних – однократне введення інформації та її наступне багатократне використання.

4. Гнучкість структури – дає можливість перебудовувати ІЗ відповідно до розвитку СППР.

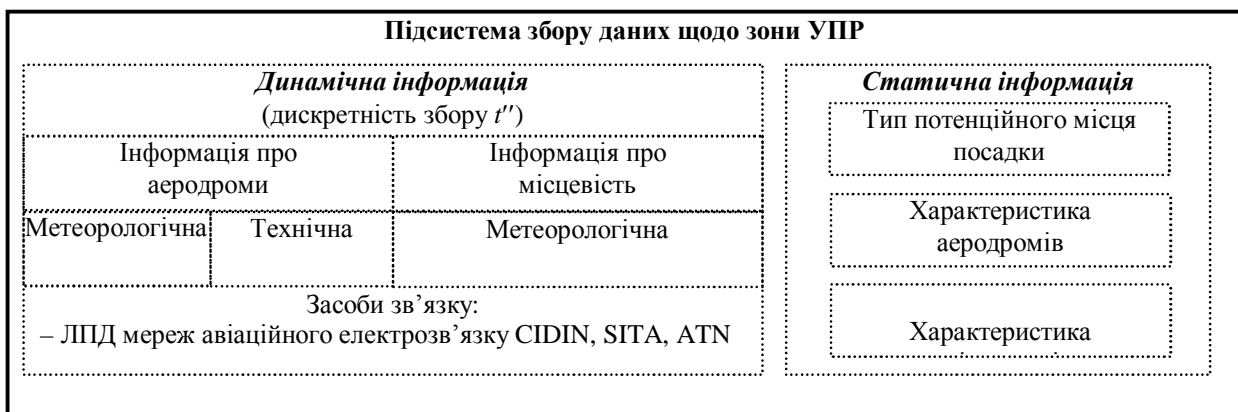
5. Можливість отримання необхідної інформації без посередників.

Необхідно розробити структуру отримання і збереження інформації про ПК і зони УПР.

Засоби отримання системою інформації про ОК (ПК) (рис. 4.11, а) і зони УПР (рис. 4.11, б) залежать від ступеня автоматизації диспетчерських пунктів і бортового обладнання ПК.



а



б

Рис. 4.11. Структура підсистем збору інформації про ПК (а) і зони УПР (б): ЛПД – лінії передавання даних

*Статична інформація про ПК* вводиться до початку роботи системи і зберігається в БД «Льотно-технічні характеристики ПК». Аналогічно *статична інформація про зону УПР* попередньо заноситься до БД «Тип потенційного місця посадки», «Характеристика аеродромів» і «Характеристика місцевості».

Передає через телеграфну авіаційну фіксовану мережу електрозв'язку AFTN *планова інформація про ПК* вводиться в систему з автоматизованого робочого місця асистентом-оператором або надходить до системи по лініях передавання даних авіаційних мереж електрозв'язку CIDIN, SITA, ATN до початку обслуговування певного польоту.

*Динамічна інформація про аеродроми і місцевість* в зоні УПР збирається по лініях передавання даних авіаційних мереж електрозв'язку CIDIN, SITA, ATN у моменти часу  $t'$ .

*Моніторингова інформація про ПК* збирається через засоби зв'язку і спостереження також дискретно в моменти часу  $t''$ .

У рамках концепції CNS/ATM припускається, що зв'язок з ПК буде являти собою в основному обмін цифровими даними. Передавання даних між автоматизованими бортовими й наземними системами може проходити навіть без втручання пілота або авіадиспетчера.

За допомогою *засобів зв'язку* можна отримати моніторингову інформацію про тип ситуації на ПК, стан ПК, рішення командира ПК про можливість подальшого продовження польоту і режим зниження у випадку вимушеної посадки, інформацію про фактичну посадкову масу для підбору місця посадки, а також координати, барометричну висоту і напрямок польоту ПК за відсутності наземної системи незалежного спостереження.

Зв'язок з ПК можливий за допомогою таких *радіоліній*:

1) супутникових систем зв'язку, які забезпечують аналогові й цифрові канали зв'язку (Міжнародна організація рухомого супутникового зв'язку INMARSAT, Міжнародна організація супутникового зв'язку INTELSAT та система для поліпшення зв'язку між країнами акваторій Чорного та Каспійського морів на основі супутників EUTELSAT, яка є найбільш економічно вигідною);

2) дуже високочастотних (VHF) ліній аналогового й цифрового (у режимі VDL) зв'язку;

3) високочастотних (HF) ліній аналогового й цифрового зв'язку;

4) ліній передавання даних режиму S вторинного радіолокатора (SSR).

Спостереження на основі *первинного радіолокатора (PSR)* надає інформацію про полярні координати ПК (азимут і дальність), напрямок польоту ПК і виникнення позаштатної ситуації на борту ПК (при ввімкненні сигналу «Лихо» апаратури розпізнавання). *Вторинний радіолокатор* при роботі прийомовідповідача ПК у режимі А надає інформацію про розпізнавальний індекс, азимут і дальність ПК, курс польоту ПК, виникнення певної позаштатної ситуації (при ввімкненні сигналу «Аварія» приймача-відповідача), у режимі С – про барометричну висоту ПК. Режим S дозволяє підвищити ефективність SSR за рахунок використання однозначної адреси кожного ПК, але ці засоби спостереження забезпечують тільки аналогові канали зв'язку.

*Автоматичне залежне спостереження (ADS)* полягає в автоматичній передачі по лінії передавання даних ПК інформації, яка видається бортовими навігаційними системами. Як мінімум ця інформація містить дані про місцезнаходження ПК у просторі та часі, але може вміщувати також додаткові дані, наприклад, про виникнення позаштатної ситуації на борту ПК.

#### **4.3.2. Розроблення структури даних, необхідних для вибору оптимальної альтернативи завершення польоту**

Визначено, що великий обсяг різнопланової статичної і динамічної інформації, необхідної для прийняття рішень про альтернативу завершення польоту, потребує певної систематизації. Зручною для збереження та використання даних у СППР авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях є *ієрархічна структура об'єктів* [44; 47]. Подамо необхідні дані про ПК і зони УПР у вигляді ієрархічної структури (рис. 4.12–4.13).

Декомпозицію факторів професійного та непрофесійного характеру, що впливають на ПР Л-О, проведено у розділі 1.

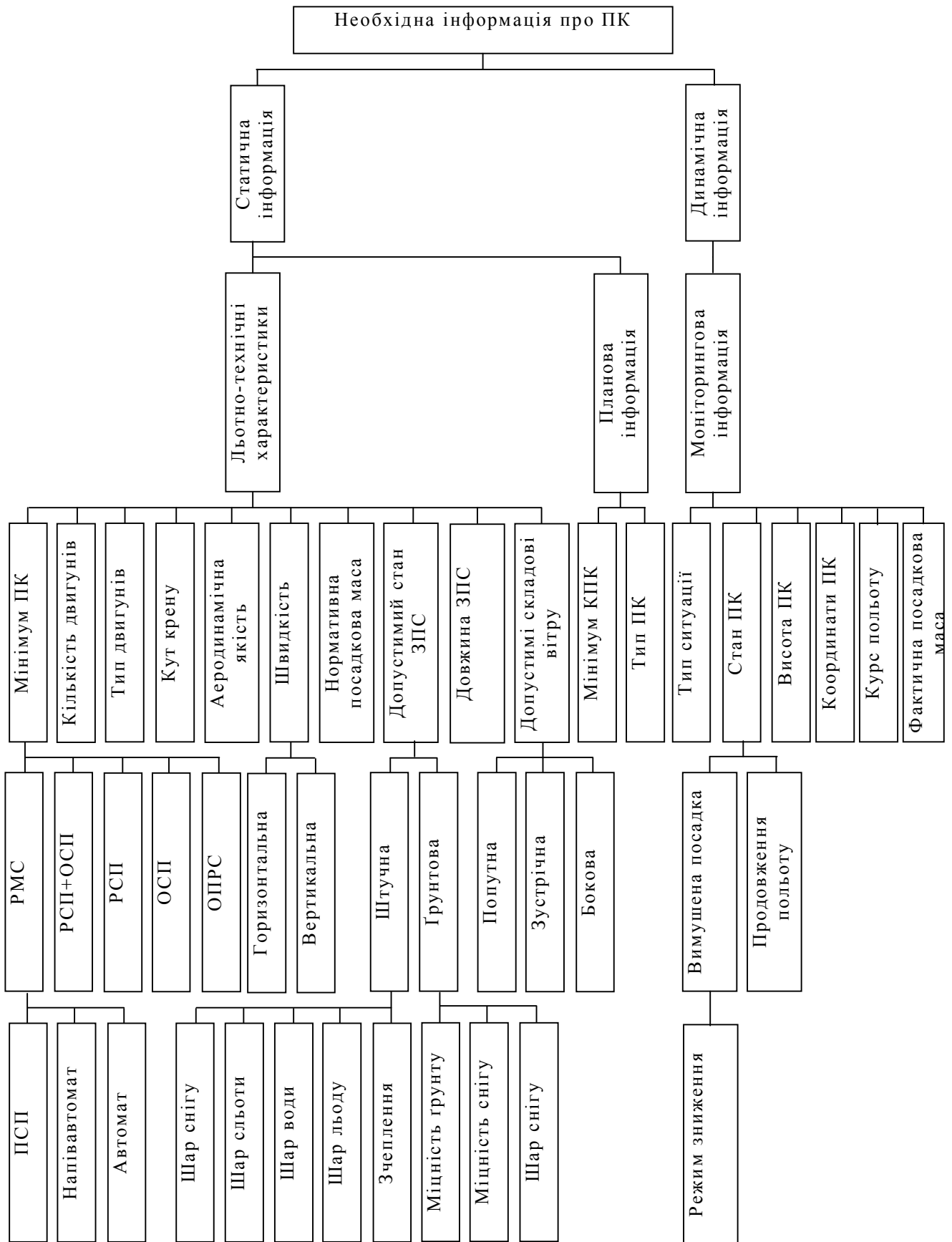


Рис. 4.12. Ієрархічна схема упорядкування інформації про ПК, необхідної для вибору оптимального варіанта завершення польоту: РМС – радіомаякова система; РСП – радіолокаційна система посадки; ОСП – обладнання системи посадки; ОПРС – окрема привідна радіостанція; ПСП – планки системи посадки



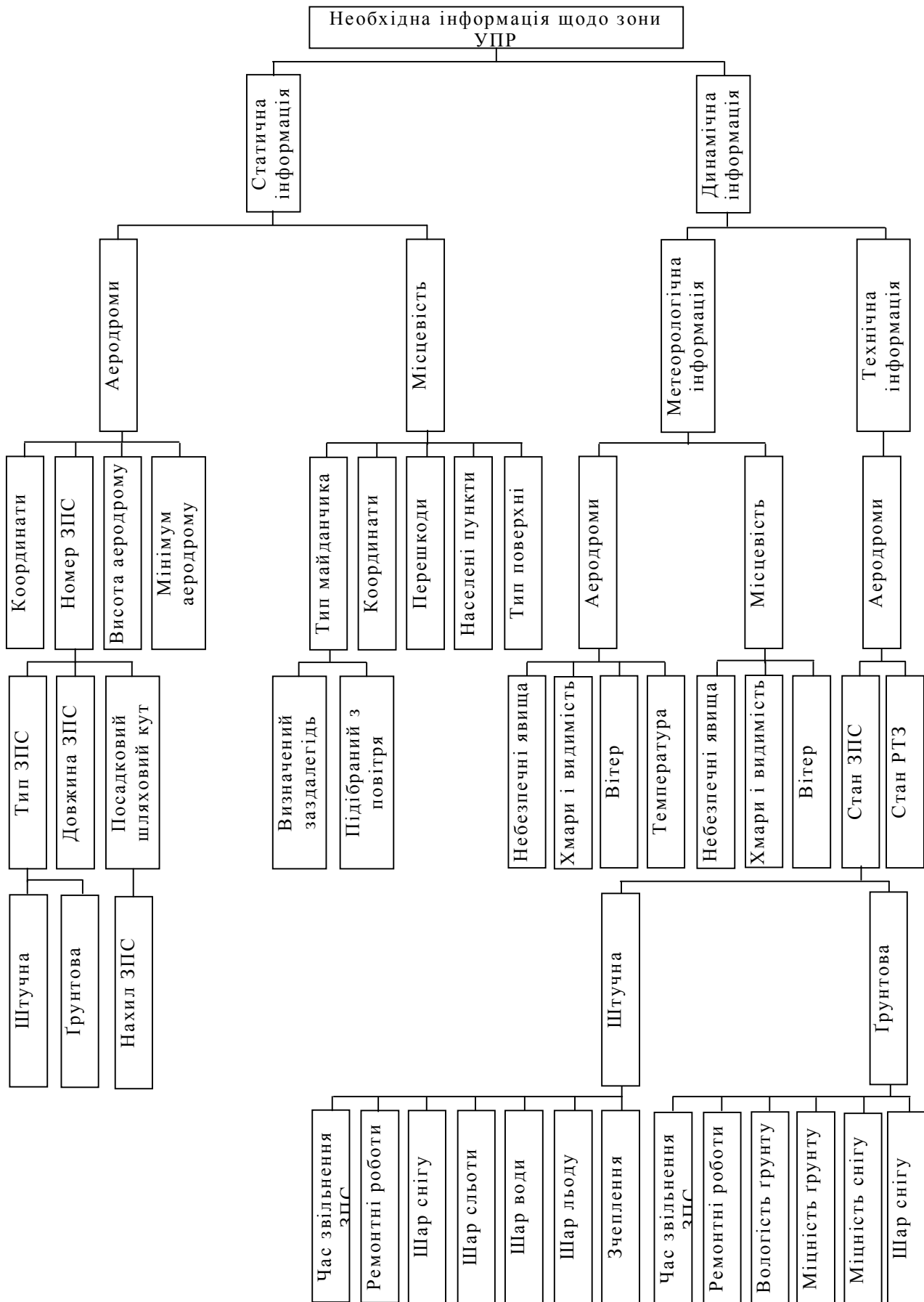


Рис. 4.13. Ієрархічна схема упорядкування інформації про зону УПР, необхідної для вибору оптимального варіанта завершення польоту

#### 4.4. Моделі та алгоритми формування рішень у системі підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях

Складність вибору оптимального варіанта завершення польоту в позаштатних ситуаціях зумовлюється високим рівнем неповноти й невизначеності необхідної інформації в умовах різкого ліміту часу на вироблення рішення й напруженого психофізіологічного стану оператора.

Щоб рішення було найбільш наближеним до потрібного, доцільно спростити складні вхідні моделі [187].

Для вибору оптимальних рішень відповідно до обраних критеріїв застосовують такі *підходи*:

1) оптимізаційний – в авіації використовується для розв’язання окремих задач. Реальній ситуації більше відповідають не оптимальні, а раціональні рішення;

2) евристичний – дозволяє формалізувати поведінку оператора в реальній ситуації та відтворити отриманий алгоритм на ЕОМ;

3) прагматичний – містить елементи оптимізаційного та евристичного підходів. Для вироблення рішення в цьому випадку поряд із формальними методами використовують досвід, знання та інтуїція експерту для коригування моделей.

Застосуємо ці принципи і підходи для розроблення моделі вибору оптимального варіанта завершення польоту в позаштатних ситуаціях.

##### 4.4.1. Визначення можливості продовження польоту

Розглянемо дві позаштатні ситуації: одну, найбільш поширену в авіації – відмову двигуна, і другу – найбільш небезпечну ситуацію – пожежу на ПК [12; 90].

*Технологія дії* у разі відмови двигуна залежить в основному від кількості двигунів ( $N_{\text{двиг}}$ ) на ПК, кількості двигунів, що відмовили ( $N_{\text{відм}}$ ), та причини відмови; у випадку виникнення пожежі – від стадії пожежі. Загальну модель визначення можливості продовження польоту в позаштатних ситуаціях доцільно будувати на основі продукційного підходу до виведення знань у вигляді сукупності лінгвістичних висловлювань типу «ЯКЩО <умова>, ТО <дія>» та подати у вигляді таблиці рішень [209] (для відмови двигуна – табл. 4.2, для пожежі – табл. 4.3).

Рекомендація щодо можливості продовження польоту в певній ситуації, визначена згідно з Керівництвом з льотної експлуатації різних типів ПК і Наставляння з виконання польотів, подається у вигляді повідомлень на моніторі СППР.

Таблиця 4.2

Модель визначення можливості продовження польоту в разі відмови двигуна

Кількість двигунів, які працюють, $N_{\text{пр}} = N_{\text{двиг}} - N_{\text{відм}}$ <b>IF</b>	Альтернативи <b>THEN</b>
$N_{\text{пр}} = 0$	Режим планування, посадка на аеродромі або майданчику в межах області досяжності ПК
$N_{\text{пр}} = 1$	Посадка на найближчому придатному аеродромі
$N_{\text{пр}} \geq 2$	Продовження польоту до аеродрому призначення або запасного

Таблиця 4.3

Модель визначення можливості продовження польоту в разі виникнення пожежі

Стан ПК <b>IF</b>	Альтернативи <b>THEN</b>
Пожежа загашена	Посадка на найближчому придатному аеродромі
Пожежа не загашена	Режим екстреного зниження, посадка на аеродромі або майданчику в межах області досяжності ПК

Вхідні дані для оцінювання можливості подальшого продовження польоту в разі відмови двигуна:

- тип ситуації  $T_{\text{сиг}}$  – відмова двигуна;
- кількість двигунів на даному типі ПК  $N_{\text{двиг}}$ ;
- кількість двигунів, що відмовили  $N_{\text{відм}}$ , і причина відмови  $S_{\text{ПК}}$ .

Вхідні дані для оцінювання можливості подальшого продовження польоту в разі пожежі на ПК:

- тип ситуації  $T_{\text{сиг}}$  – пожежа на ПК;
- стадія пожежі – загашена або не загашена  $S_{\text{ПК}}$ .

Блок-схему алгоритму оцінювання можливості подальшого продовження польоту у випадках відмови двигуна і пожежі на ПК показано на рис. 4.14.

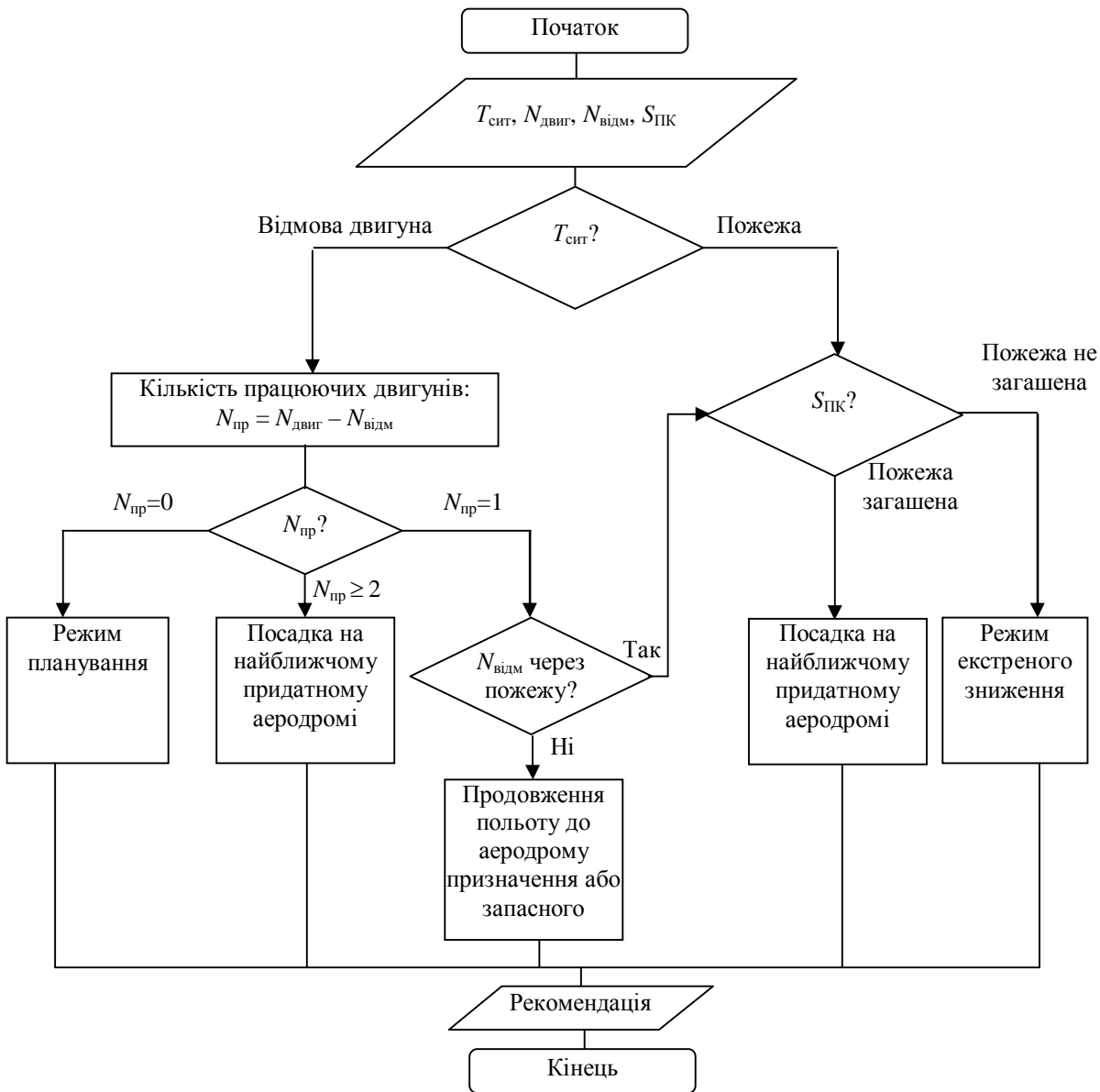


Рис. 4.14. Блок-схема алгоритму визначення можливості подальшого продовження польоту

Необхідна інформація для прийняття рішення щодо можливих стратегій продовження польоту збирається згідно з даними табл. 4.4.

Таблиця 4.4

**Отримання інформації, необхідної для визначення можливості подальшого продовження польоту**

Бази даних	Параметри
Тактико-технічні характеристики ПК	$N_{\text{двиг}}$
Планова інформація щодо ПК	$T_{\text{ПК}}$
Моніторингова інформація щодо ПК	$T_{\text{сиг}}, S_{\text{ПК}}$

Розглянемо два крайні випадки: *режим екстреного зниження ПК* у разі виникнення пожежі на борту і *режим планування* за повної відмови двигунів або повної виробки палива.

Для розрахунку мінімального часу, необхідного на виконання екстреного зниження й заходу на посадку  $t_{\text{ек}}$  у ситуації неліквідованої пожежі на борту та визначення області, в межах якої ПК може виконати посадку, виконуючи екстрене зниження з максимально можливою вертикальною швидкістю, застосовують модель екстреного зниження ПК. Для побудови області, яка обмежується критичним часом розвитку пожежі  $t_{\text{пож}}$ , використовують моделі розвитку пожеж. Безпечне завершення польоту можливе лише за умови  $t_{\text{ек}} \leq t_{\text{пож}}$ , тому  $t_{\text{пож}}$  є критичним часом польоту ПК. Для побудови області, яка визначається критичним часом, що характеризує максимальну відстань планування з ешелону польоту  $t_{\text{пл}} = t_{\text{кр}}$  у разі повної відмови двигунів на ПК, застосовують модель планування ПК.

Для розроблення *аналітичних моделей* визначення ОД ПК роблять такі допущення:

1. Повітряний корабель залишається під керуванням.
2. Радіус розвороту й середню швидкість ПК слід розраховувати без урахування впливу еквівалентного вітру  $U_{\text{екв}}$  через значну зміну його напрямку й сили по висоті. Таким чином, шляхова швидкість  $W$  дорівнює істинній  $V$ .

Якщо потрібно враховувати вплив вітру на політ ПК, розрахунки виконують на підставі шляхової швидкості [115]:

$$W = V + U_H \cos \gamma,$$

де  $U_H$  – вітер за висотами;  $\gamma$  – кут вітру:

$$\begin{aligned} \gamma &= \delta_{\phi} - 180^{\circ} - K_{\text{пол}}, \text{ якщо } \delta_{\phi} > 180^{\circ}; \\ \gamma &= \delta_{\phi} + 180^{\circ} - K_{\text{пол}}, \text{ якщо } \delta_{\phi} \leq 180^{\circ}, \end{aligned}$$

де  $\delta_{\phi}$  – напрямок вітру;  $K_{\text{пол}}$  – курс польоту ПК (на висотах, що менші або дорівнюють висоті кола, курс ПК відраховується від магнітного меридіана, на більших за висоту кола – від істинного меридіана).

3. Для розрахунків використано основні формули планіметрії, оскільки ОД вираховується у межах площі, розмір якої дозволяє не враховувати кривизну земної поверхні (радіус ОД звичайно лежить у межах 100 км) [313; 316; 317; 320; 391].

Вхідні дані для моделі екстреного зниження:

- режим зниження  $R_{\text{зн}}$  – екстрене зниження;
- координати ПК у прямокутній системі координат ( $x_{\text{ПК}}, y_{\text{ПК}}$ );
- висота польоту  $H_{\text{пол}}$ , км;
- курс польоту ПК  $\psi$ , град.;
- істинна швидкість зниження з ешелону польоту до мінімальної безпечної висоти (близько 800 м)  $V_1$ , км/год;

- істинна швидкість зниження з мінімальної безпечної висоти до  $H=400$  м  $V_2$ , км/год;
- вертикальна швидкість при екстремому зниженні  $V_B$ , м/с;
- кут крену  $\beta$ , град.

Розрахунок ОД у режимі екстремого зниження виконується за максимальними параметрами  $V_1, V_2, V_{\text{пос}}, V_B, \beta$ , що вказані у відповідному розділі Керівництва з льотної експлуатації для певного типу ПК (в умовах працездатності всіх двигунів і їх вимкнення через пожежу вказані параметри відрізняються).

Вхідні дані для моделі планування:

- режим зниження  $R_{\text{зн}}$  – планування;
- координати ПК у прямокутній системі координат ( $x_{\text{ПК}}, y_{\text{ПК}}$ );
- висота польоту  $H_{\text{пол}}$ , км;
- курс польоту ПК  $\psi$ , град.;
- істинна швидкість польоту в горизонті номінальна за висотами  $V_{\text{пол}}$ , км/год;
- аеродинамічна якість ПК  $k$ ;
- кут крену  $\beta$ , град.

Оскільки координати точок ОД залежать від випадкових вхідних величин ( $\psi, V_1, V_2, V_B, \beta, V_{\text{пол}}, k$ ), то множина можливих траєкторій визначається за допомогою *статистичного моделювання* [187] руху ПК для різних режимів зниження.

Якщо вхідні випадкові величини  $\psi, V_1, V_2, V_B, \beta, V_{\text{пол}}, k$  (позначимо їх  $\alpha$ ) розподілені згідно з нормальним законом, то їх  $i$ -ті значення можна вирахувати за формулою:

$$\alpha_i = \delta_\alpha \left( \sum_{j=1}^6 a_j - 3 \right) + m_\alpha,$$

де  $\delta_\alpha, m_\alpha$  – середньоквадратичне відхилення і математичне очікування випадкової величини  $\alpha$ ;  $a_j$  – випадкові числа, що рівномірно розподілені в діапазоні  $0 \div 1$ .

Кінцевою метою статистичного моделювання траєкторій польоту ПК є отримання *статистичних оцінок* математичного очікування і середньоквадратичного відхилення координат ОД:

$$\hat{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i;$$

$$\hat{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i;$$

$$\hat{\delta}_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x})^2}{n-1}};$$

$$\hat{\delta}_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{n-1}};$$

$$\hat{\delta} = \sqrt{\hat{\delta}_x^2 + \hat{\delta}_y^2},$$

де  $n$  – кількість реалізацій випадкового процесу ( $n \geq 30$ );  $x_i, y_i$  – значення координат ОД ( $X, Y$ ), отримане в результаті однієї реалізації процесу.

Блок-схему алгоритму розв'язання задачі визначення ОД ПК показано на рис. 4.15.

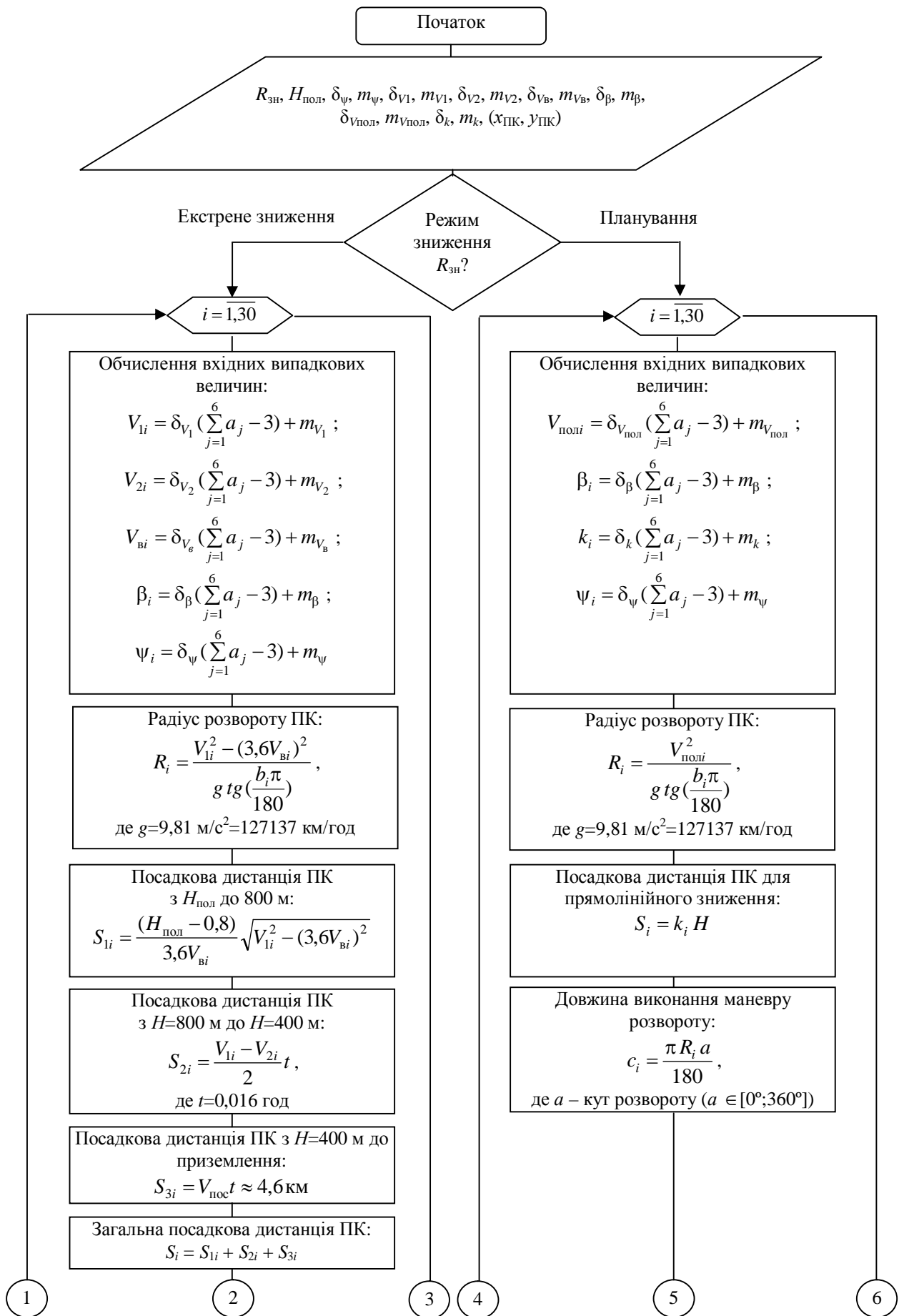


Рис. 4.15. Блок-схема алгоритму визначення ОД ПК (див. продовження на стор. 175)

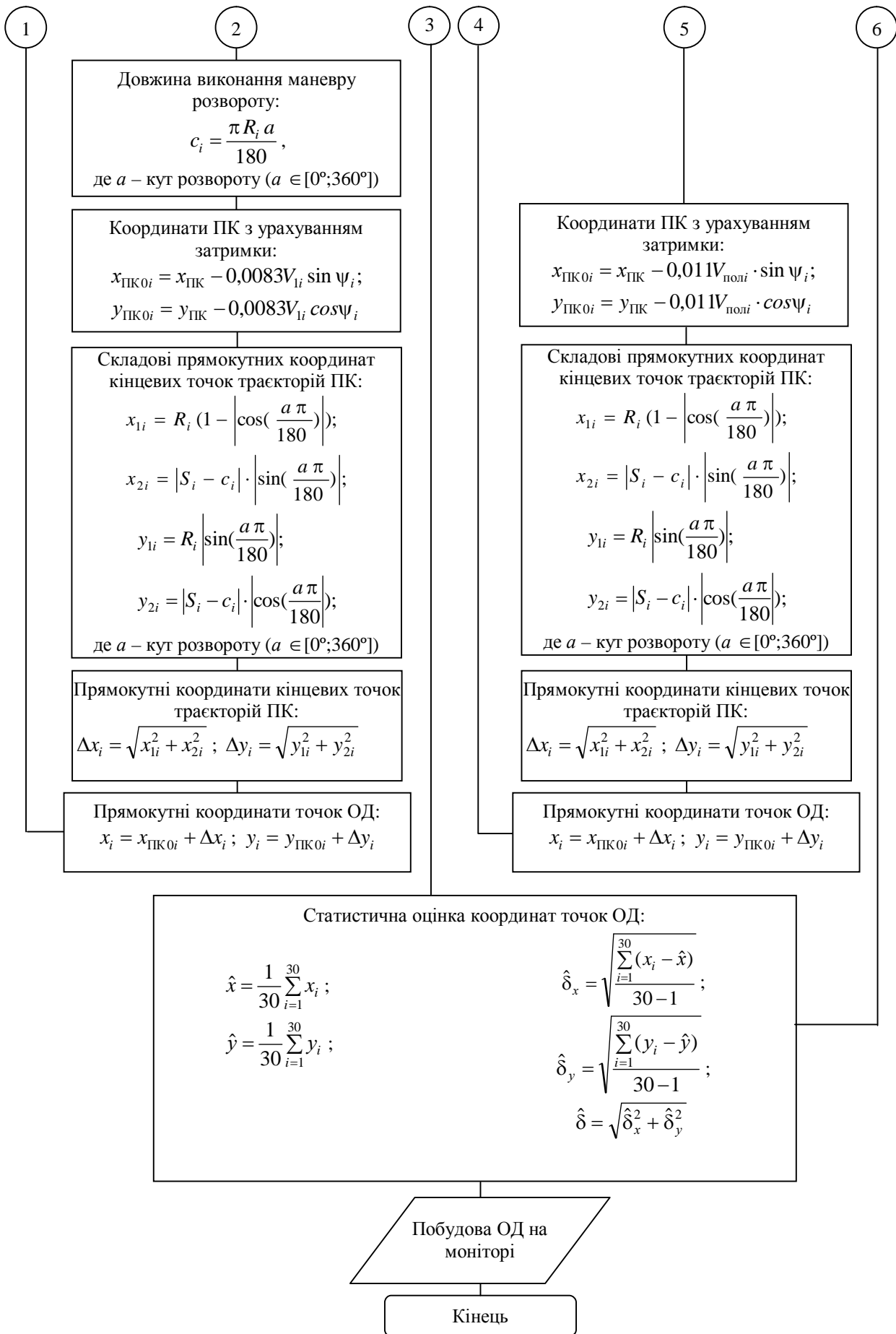


Рис. 4.15. Блок-схема алгоритму визначення ОД ПК (закінчення, див. також стор. 174)

Оновлення і виведення на монітор авіадиспетчера ОД ПК відбувається безперервно з кроком часу  $\Delta t$ .

Область досяжності будується з точки з координатами  $(x_{ПК0}, y_{ПК0})$ , яка відповідає координатам ПК, зменшеним на величину затримки  $S_{затр}$ , що враховує час затримки на оцінювання ситуації і прийняття рішення щодо можливості подальшого продовження польоту  $t_{оц}$  (близько 8 с), а також на ведення переговорів між пілотом і диспетчером  $t_{зв'яз}$  (близько 30 с).

Оскільки екстрене зниження починається після оцінювання ситуації, то для цього випадку  $S_{затр(екс.зн)} = V_1 t_{зв'яз}$ ; для випадку планування величина затримки  $S_{затр(пл)} = V_{пол} (t_{оц} + t_{зв'яз})$ .

Результатом розрахунків є визначення потенційних місць посадки ПК (аеродромів (контрольних точок аеродромів)  $(x_{аерl}, y_{аерl})$ ,  $l = \overline{1, s}$ , та майданчиків  $(x_{mh}, y_{mh})$ ,  $h = \overline{1, z}$ ), що входять до ОД ПК  $((x_{мп}, y_{мп}) \in (X, Y))$ .

Необхідна інформація для визначення ОД ПК в режимі екстреного зниження збирається згідно з даними табл. 4.5, у режимі планування – згідно з даними табл. 4.6.

Таблиця 4.5

**Отримання інформації, необхідної для визначення ОД ПК в режимі екстреного зниження**

Бази даних	Параметри
Тактико-технічні характеристики ПК	$V_1, V_2, V_B, \beta$
Планова інформація про ПК	$T_{ПК}$
Моніторингова інформація про ПК	$(x_{ПК}, y_{ПК}), H_{пол}, \psi$

Таблиця 4.6

**Отримання інформації, необхідної для визначення ОД ПК у режимі планування**

Бази даних	Параметри
Тактико-технічні характеристики ПК	$\beta, V_{пол}, k$
Планова інформація про ПК	$T_{ПК}$
Моніторингова інформація про ПК	$(x_{ПК}, y_{ПК}), H_{пол}, \psi$

Залежно від місця виникнення й характеру навантаження основної маси авіапалива на ПК розрізняють наступні такі *види пожеж*:

- пожежі у фюзеляжі (у відсіках, що герметизуються (кабіна екіпажу ПК, пасажирський салон) і не герметизуються (технічні відсіки));
- пожежі силових установок (горіння двигунів, паливної системи, масляної системи, системи запуску, агрегатів керування двигунами);
- пожежі органів приземлення (горіння резини пневматиків, гідрорідини у гідросистемі шасі, магнієвих сплавів у візку шасі);
- пожежі розлитого навколо ПК авіапалива (односторонні або двосторонні).

У реальних умовах можливе одночасне поєднання всіх або окремих видів пожеж.

Для пожеж у фюзеляжі характерні невеликі розміри зони горіння, велика щільність задимлення, високий температурний градієнт по висоті приміщення, відносно мала температура пожежі (порівняно із зовнішніми пожежами), наявність в продуктах згоряння значних концентрацій високотоксичних речовин.

Під час натурних випробувань за допомогою списаної з експлуатації техніки була отримана залежність температури в салоні ПК від часу пожежі (рис. 4.16). Під час горіння в пасажирському салоні визначено різке підвищення температури вже на другій хвилині з початку горіння.

Через дві-три хвилини після виникнення горіння концентрація оксиду вуглецю, синильної кислоти, акролеїну та інших токсичних речовин досягають смертельно небезпечних рівнів. До третьої хвилини вміст кисню в герметизованому салоні, що горить, знижується до 6%, а вміст двооксиду вуглецю досягає 12% об'єму, що є смертельним для людини (рис. 4.17).

Пожежі органів приземлення та розлитого навколо ПК авіапалива виникають уже під час посадки ПК і зумовлюються особливостями її виконання.





Рис. 4.16. Розподілення температури в пасажирському салоні в разі виникнення пожежі у фюзеляжі ПК

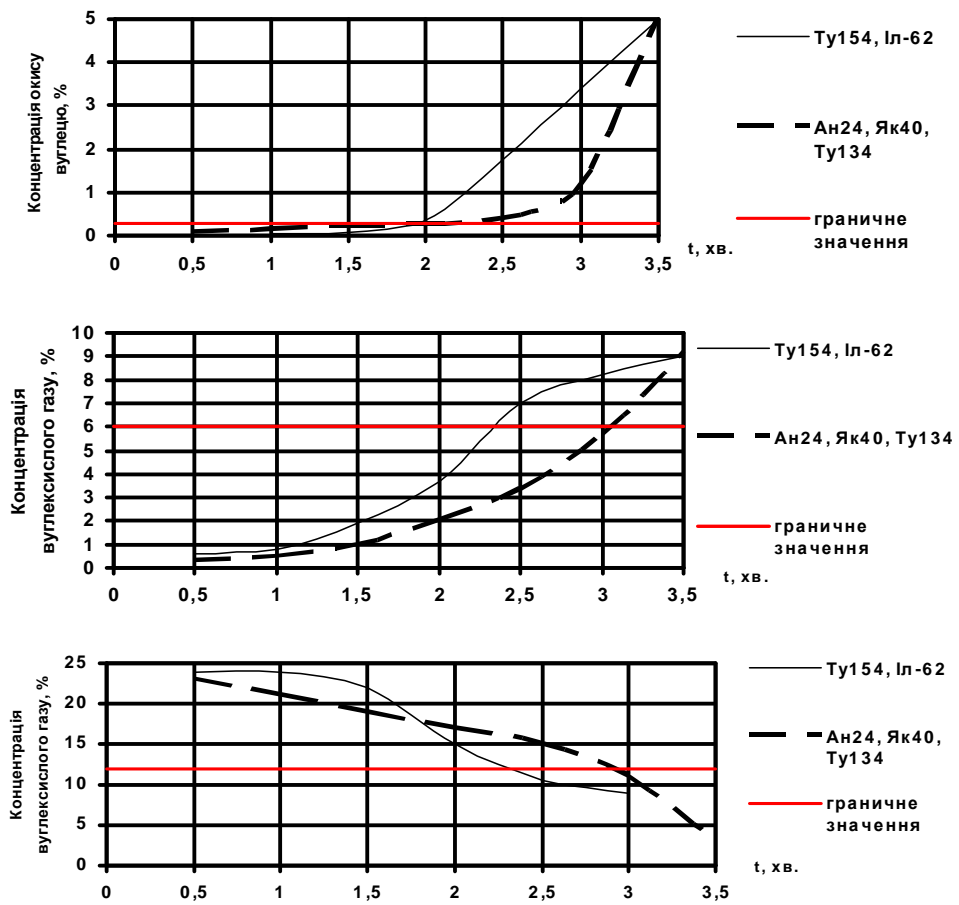


Рис. 4.17. Зміна концентрацій оксиду вуглецю  $CO$ , вуглекислогазугазу  $CO_2$  і кисню  $O_2$  в об'ємі пасажирського салону

#### 4.4.2. Визначення придатності стану поверхні посадки

**Визначення придатності підстиляючої поверхні.** Підстиляючу поверхню можна використовувати для виконання вимушеної посадки за відсутності на ній *штучних перешкод*  $k_{пер}$  і за межами 5 км від *населених пунктів*  $k_{НП}$ , що ідентифікується логічним нулем. В інших випадках стан поверхні кодується логічною одиницею.

Для кожної отриманої комбінації одиниць і нулів формується певний висновок за схемою, поданою у вигляді табл. 4.7.

Таблиця 4.7

**Модель визначення придатності підстиляючої поверхні до виконання вимушеної посадки**

Так Є перешкоди? Ні	Так Є населені пункти? Ні	Висновок
1	1	
1	0	
0	1	
0	0	
1		Поверхня непридатна до посадки
0		Поверхня придатна до посадки

Необхідна інформація для визначення придатності підстиляючої поверхні збирається згідно з даними табл. 4.8.

Таблиця 4.8

**Параметри, які збираються для визначення придатності підстиляючої поверхні**

Бази даних	Параметри
Характеристика місцевості	$k_{пер}, k_{НП}$

**Визначення можливості звільнення злітно-посадкової смуги.** При проведенні *довгочасних ремонтних робіт*  $k_{роб}$  на ЗПС вона не може використовуватись для посадки. При проведенні *короткочасних робіт* на ЗПС виконується розрахунок, чи встигне звільнитися ЗПС до моменту приземлення ПК.

Час польоту ПК до  $l$ -го аеродрому посадки визначається за формулою:

$$t_{пол} = \frac{S_{аерl}}{V},$$

де  $S_{аерl}$  – відстань від ПК до  $l$ -го аеродрому,  $l = \overline{1, s}$ ;  $V$  – швидкість польоту ПК.

Відстань до аеродрому визначається за формулою:

$$S_{аерl} = \sqrt{|x_{аерl} - x_{ПК0}|^2 + |y_{аерl} - y_{ПК0}|^2},$$

де  $(x_{аерl}, y_{аерl})$  – координати  $l$ -го аеродрому,  $l = \overline{1, s}$ ;  $(x_{ПК0}, y_{ПК0})$  – координати ПК з урахуванням величини затримки  $S_{затр}$ .

У режимі планування для розрахунків беруть істинну швидкість польоту в горизонті номінальну  $V_{пол}$ , у режимі екстреного зниження швидкість ПК становить:

$$V = \frac{V_1 + V_2 + V_{пос}}{3},$$

де  $V_1$  – істинна швидкість зниження з ешелону польоту до мінімальної безпечної висоти (близько 800 м);  $V_2$  – істинна швидкість зниження з мінімальної безпечної висоти до висоти 400 м;  $V_{пос}$  – посадкова швидкість ПК.

Оскільки час польоту ПК  $t_{\text{пол}}$  залежить від випадкових вхідних величин ( $V_1, V_2, V_{\text{пос}}, V_{\text{пол}}$ ), то його визначають за допомогою *статистичного моделювання* [106; 108; 109] (рис. 4.18).

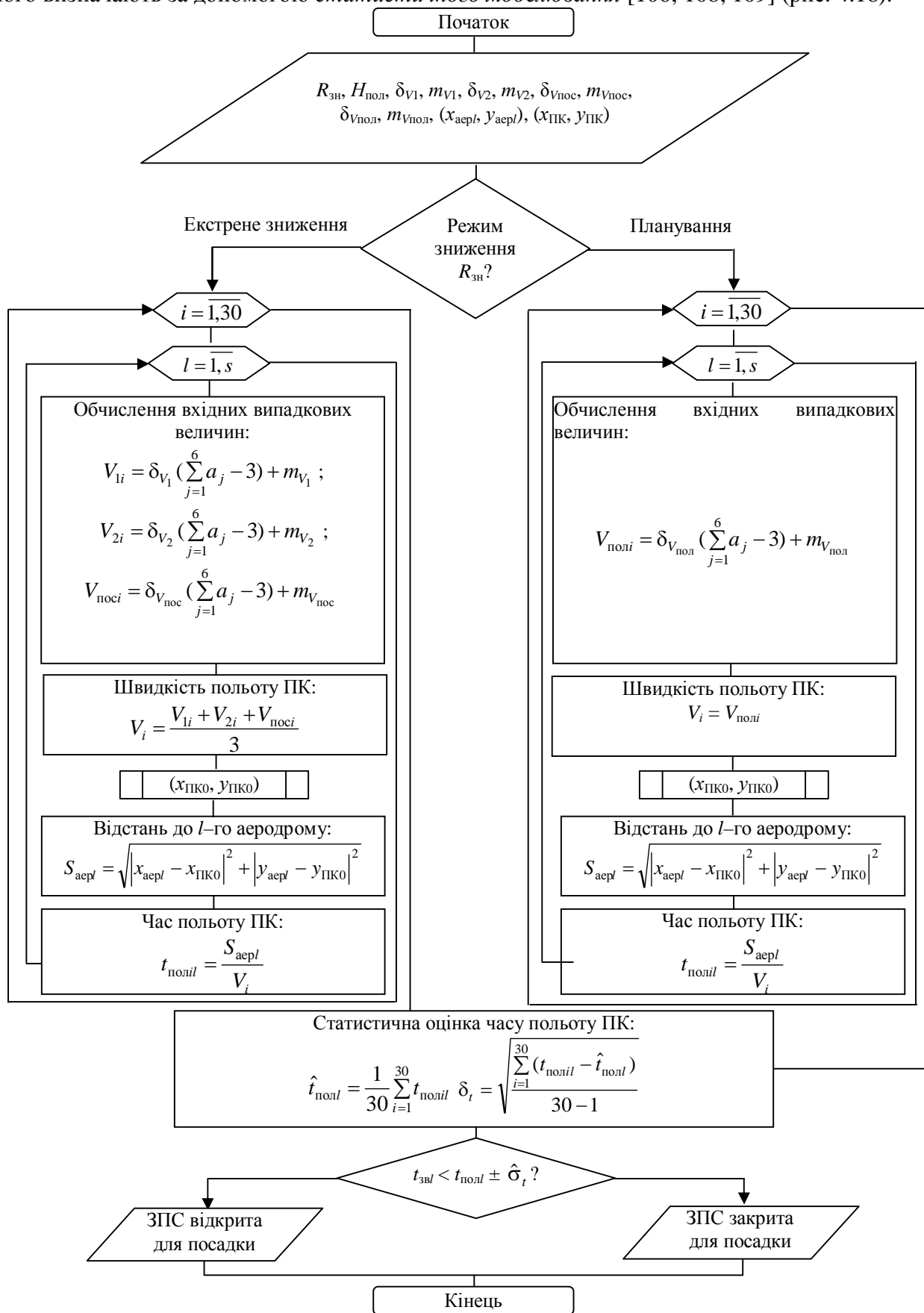


Рис. 4.18. Блок-схема алгоритму визначення можливості звільнення ЗПС до моменту виконання посадки ПК

Якщо необхідно враховувати вплив вітру на політ ПК, замість істинної швидкості  $V$  для розрахунків використовують шляхову швидкість  $W$ . Час польоту ПК  $t_{\text{пол}}$  до  $l$ -го аеродрому порівнюється з часом, потрібним для звільнення наявної на цьому аеродромі ЗПС  $t_{\text{звл}}$ , і в разі виконання умови  $t_{\text{звл}} < t_{\text{пол}} \pm \hat{\sigma}_t$  ЗПС вважається відкритою для посадки ПК.

Необхідну інформацію для визначення можливості звільнення ЗПС збирають згідно з даними табл. 4.9.

Таблиця 4.9

Параметри, які збираються для визначення можливості звільнення ЗПС

Бази даних	Параметри
Тактико-технічні характеристики ПК	$V_1, V_2, V_{\text{пос}}, V_{\text{пол}}$
Планова інформація про ПК	$T_{\text{ПК}}$
Моніторингова інформація про ПК	$(x_{\text{ПК}}, y_{\text{ПК}})$
Характеристика аеродромів	$(x_{\text{аер}}, y_{\text{аер}})$
Технічна інформація про аеродроми	$k_{\text{роб}}$

**Визначення стану поверхні злітно-посадкової смуги.** Задовільним стан *штучної ЗПС* признається за таких умов:

- товщина шару атмосферних опадів:
  - товщина шару снігу  $h_{\text{сн.ф}}$  не більше допустимої  $h_{\text{сн.доп}} = 50$  мм;
  - товщина шару сльоти  $h_{\text{сл.ф}}$  не більше допустимої  $h_{\text{сл.доп}} = 12$  мм;
  - товщина шару води  $h_{\text{в.ф}}$  не більше допустимої  $h_{\text{в.доп}} = 10$  мм;
  - шар льоду  $h_{\text{л.ф}}$  відсутній  $h_{\text{л.доп}}$ ;
- для ПК з газотурбінними двигунами коефіцієнт зчеплення  $k_{\text{зч.ф}}$  не менший за  $k_{\text{зч.доп}} = 0,3$  або ефективність гальмування  $E_{\text{г.ф}}$  не нижча від допустимої ( $E_{\text{г.доп}} = \text{„незадовільна“}$ ).

Показниками, які впливають на експлуатацію *грунтової ЗПС*, є міцність ґрунту ( $M_{\text{гр}}$ ), а також міцність ( $M_{\text{сн}}$ ) і товщина ( $h_{\text{сн}}$ ) ущільненого й неущільненого снігу, значення яких залежать від типу ПК ( $T_{\text{ПК}}$ ) [102].

Блок-схему алгоритму визначення стану поверхні ЗПС показано на рис. 4.19.

Необхідну інформацію для визначення стану поверхні ЗПС збирають згідно з даними табл. 4.10.

Таблиця 4.10

Параметри, які збираються для визначення стану поверхні ЗПС

Бази даних	Параметри
Тактико-технічні характеристики ПК	$T_{\text{дв}}, h_{\text{сн.доп}}, h_{\text{сл.доп}}, h_{\text{в.доп}}, h_{\text{л.доп}}, k_{\text{зч.доп}}, E_{\text{г.доп}}, M_{\text{гр.доп}}, M_{\text{сн.доп}}$
Характеристика аеродромів	$T_{\text{ЗПС}}$ (штучна або ґрунтова)
Планова інформація про ПК	$T_{\text{ПК}}$
Технічна інформація про аеродроми	$h_{\text{сн.ф}}, h_{\text{сл.ф}}, h_{\text{в.ф}}, h_{\text{л.ф}}, k_{\text{зч.ф}}, E_{\text{г.ф}}, M_{\text{гр.ф}}, M_{\text{сн.ф}}$

**Визначення відповідності довжини злітно-посадкової смуги потрібній для виконання посадки.** Потрібна довжина ЗПС для посадки  $L_{\text{потр}}$  збільшується відносно стандартної  $L_{\text{ст}}$  у таких випадках [267]:

- зі збільшенням посадкової маси ПК  $G_{\text{пос.ф}}$  на одну тону відносно нормативної  $G_{\text{пос.н}}$  – на 100 м;
- з підвищенням температури повітря  $t_{\text{ф}}$  на  $1^\circ\text{C}$  відносно стандартної ( $t_{\text{ст}}=15^\circ\text{C}$ ) – на 1%;
- у разі вітру попутного напрямку  $\delta_{\text{ф}}$  зі швидкістю  $U_{\text{ф}}=1\text{м/с}$  – на 30 м;
- за фактичній видимості  $V_{\text{ф}}$  рівній або меншій за 1000 м – на 15%;
- в умовах мокрої ЗПС – на 15%;
- $L_{\text{потр}}$  збільшується на 3% на кожний 1% нахилу смуги  $N_{\text{ЗПС}}$  вниз у напрямку магнітного шляхового кута посадки  $M_{\text{ПКпос}}$ ;
- за висоти аеродрому  $H_{\text{аер}}$  над рівнем моря ( $H_{\text{рм}} = 0$ ) 1 м – на 0,00233%.

Для врахування можливих відхилень ПК від установленної схеми заходу на посадку і встановлених на певних етапах заходу швидкостей потрібна довжина ЗПС  $L_{\text{потр}}$  повинна перевищувати встановлену при сертифікаційних випробуваннях  $L_{\text{ст}}$  в 1,67 разів.

Блок-схему алгоритму визначення довжини ЗПС, потрібної для посадки, показано на рис. 4.20.

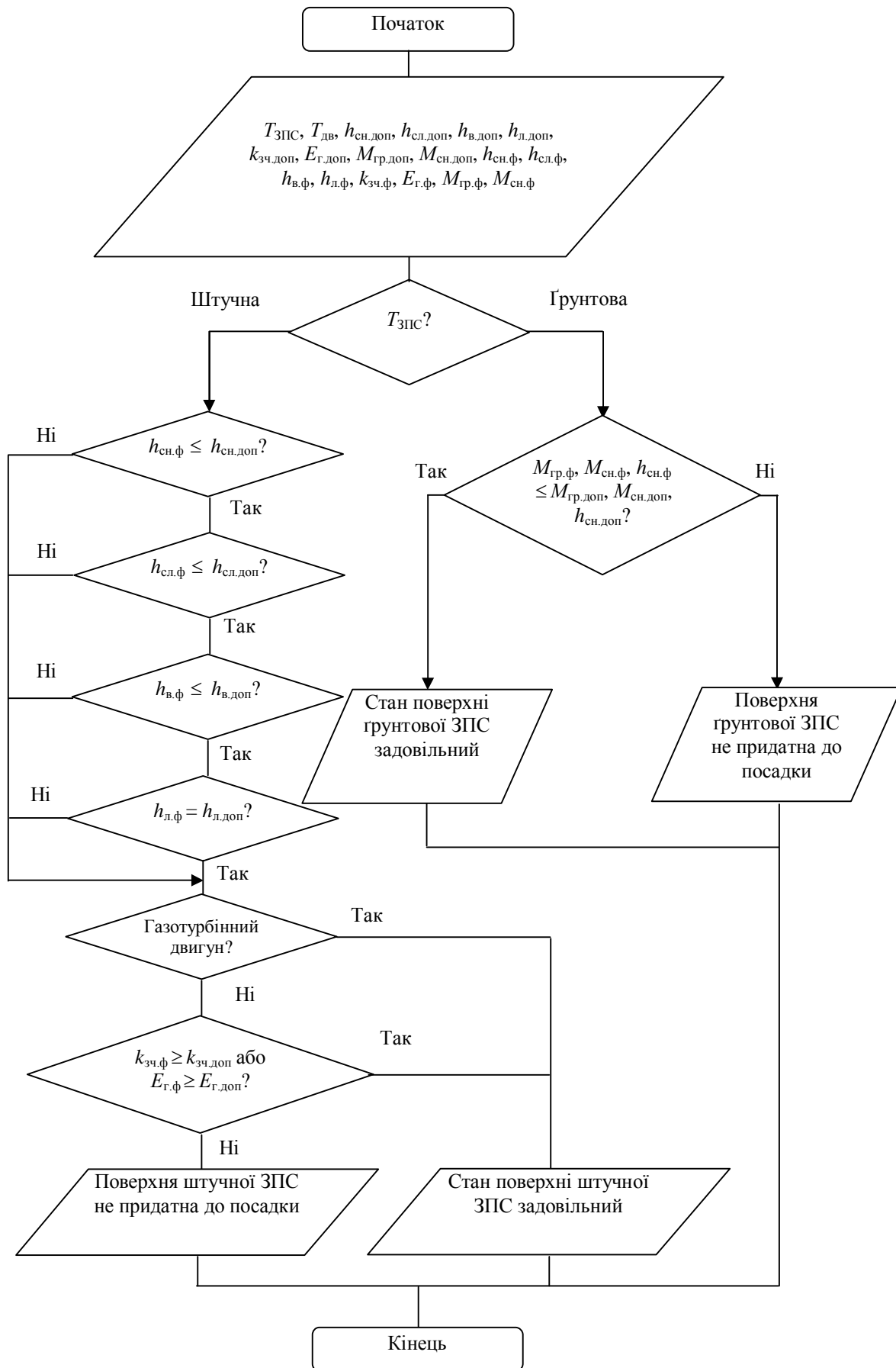


Рис. 4.19. Блок-схема алгоритму визначення придатності поверхні ЗПС до посадки

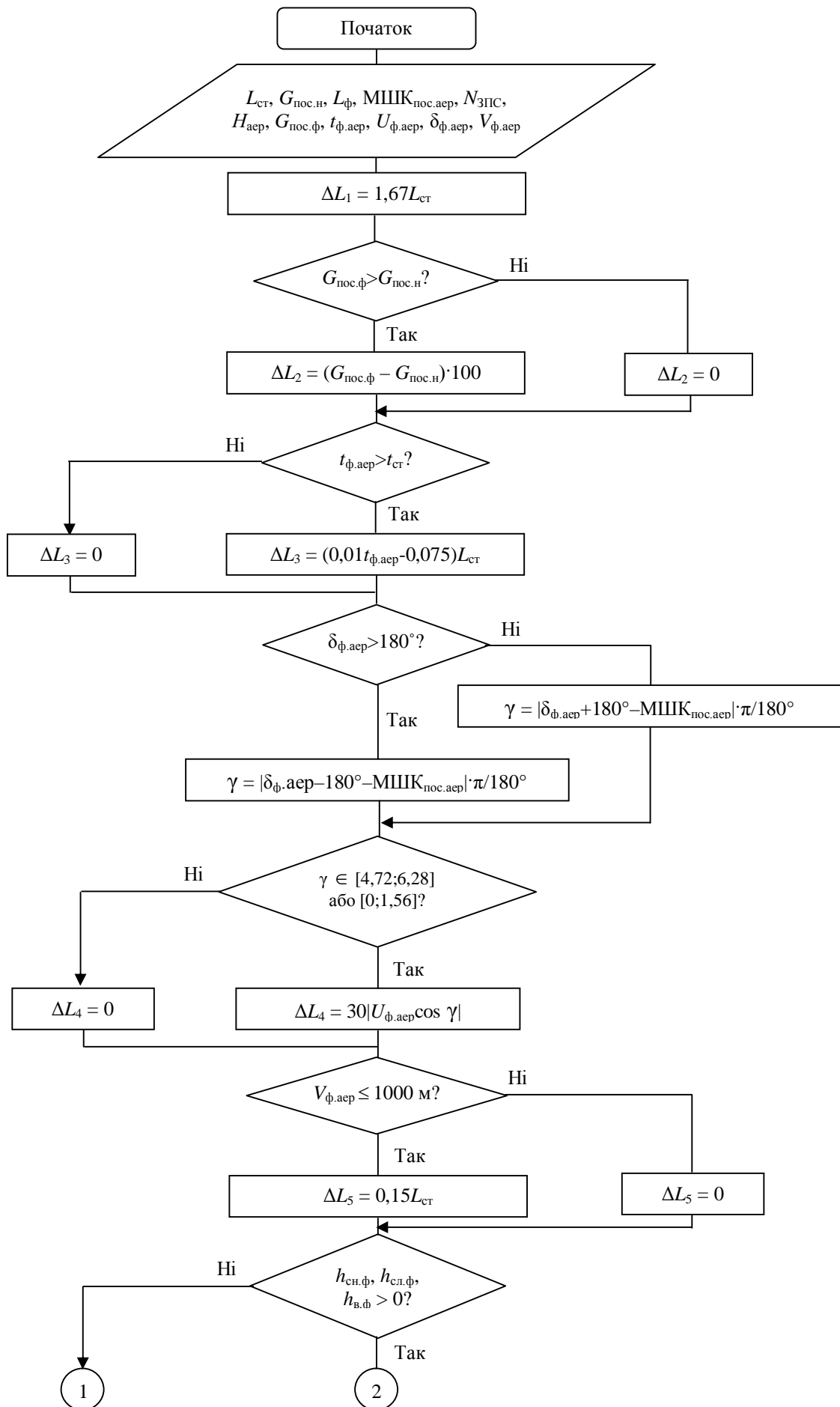


Рис. 4.20. Блок-схема алгоритму визначення потрібної для посадки довжини ЗПС (див. продовження на стор. 183)

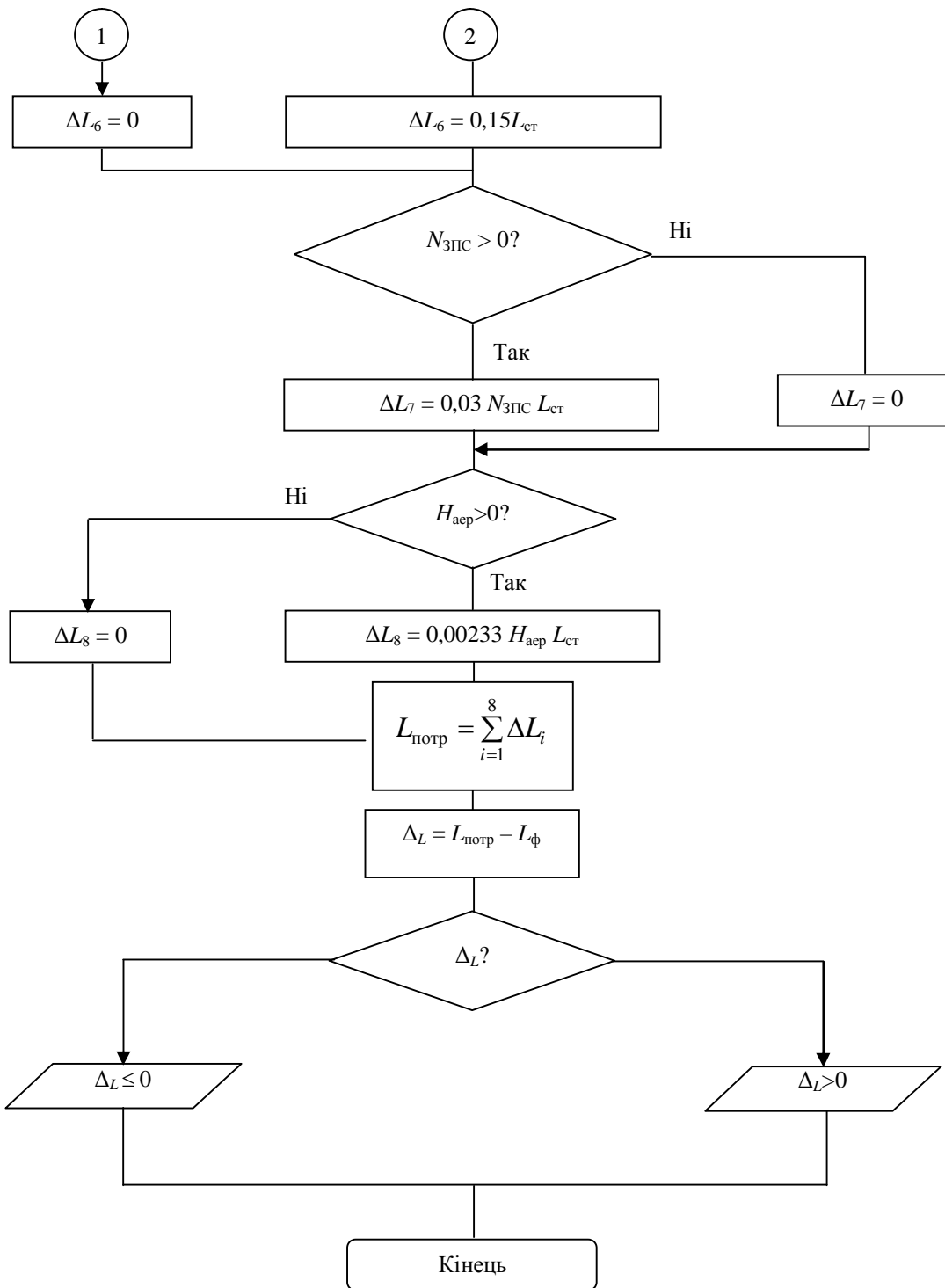


Рис. 4.20. Блок-схема алгоритму визначення потрібної для посадки довжини ЗПС (закінчення, див. також стор. 182)

Необхідну інформацію для визначення потрібної для посадки довжини ЗПС збирають згідно з даними табл. 4.11.

Таблиця 4.11

**Параметри, які збираються для визначення потрібної для посадки довжини ЗПС**

Бази даних	Параметри
Тактико-технічні характеристики ПК	$L_{ст}, G_{пос.н}$
Характеристика аеродромів	$L_{ф}, МШК_{пос.аер}, N_{ЗПС}, H_{аер}$
Планова інформація про ПК	$T_{ПК}$
Моніторингова інформація про ПК	$G_{пос.ф}$
Метеорологічна інформація про аеродроми	$t_{ф.аер}, U_{ф.аер}, \delta_{ф.аер}, V_{ф.аер}$

#### 4.4.3. Визначення відповідності метеорологічних умов установленим мінімумам для посадки

**Аеродром** можна вважати придатним до посадки у випадку, коли фактичні висота нижньої межі хмарності  $H_{\text{НМХ}\phi}$  і видимість  $V_{\phi}$  на ньому не менші за встановлені метеорологічні мінімуми аеродрому, ПК і командира ПК, що ідентифікується логічною одиницею. В усіх інших випадках метеорологічні умови на аеродромі кодуються логічним нулем.

Для кожної отриманої комбінації одиниць і нулів формується певний висновок за схемою табл. 4.12, який в разі потреби може використовуватись для пояснення системою рішення.

Таблиця 4.12

Модель визначення відповідності метеорологічних умов на аеродромі встановленим мінімумам для посадки

Так 1	Ні 0	Так 1	Ні 0	Так 1	Ні 0	Висновок												
$  \begin{array}{ c } \hline \text{Так} \\ \hline H_{\text{НМХ}\phi, \text{аер}} \times \\ V_{\phi, \text{аер}} \geq \\ H_{\text{НМХ}\text{min}\text{аер}} \times \\ V_{\text{min}\text{аер}}? \\ \hline \text{Ні} \\ \hline \end{array}  $						$  \begin{array}{ c } \hline \text{Так} \\ \hline H_{\text{НМХ}\phi, \text{ПК}} \times \\ V_{\phi, \text{ПК}} \geq \\ H_{\text{НМХ}\text{min}\text{ПК}} \times \\ V_{\text{min}\text{ПК}}? \\ \hline \text{Ні} \\ \hline \end{array}  $						$  \begin{array}{ c } \hline \text{Так} \\ \hline H_{\text{НМХ}\phi, \text{КПК}} \times \\ V_{\phi, \text{КПК}} \geq \\ H_{\text{НМХ}\text{min}\text{КПК}} \times \\ V_{\text{min}\text{КПК}}? \\ \hline \text{Ні} \\ \hline \end{array}  $						
1		1		1		Метеорологічні умови допустимі												
1		0		0		Метеорологічні умови недопустимі												
1		0	1	1														
0		1	1	1														
0		1	0	0														
0		0	1	1														
0		0	0	0														

**Майданчик** вважається придатним за однієї умови:  $H_{\text{НМХ}\phi, \text{м}} \times V_{\phi, \text{м}} \geq H_{\text{НМХ}\text{min}\text{КПК}} \times V_{\text{min}\text{КПК}}$ .

Необхідна інформація для визначення відповідності метеорологічних умов установленим мінімумам збирається згідно з даними табл. 4.13.

Таблиця 4.13

Параметри, які збираються для визначення відповідності метеорологічних умов установленим мінімумам

Бази даних	Параметри
Тактико-технічні характеристики ПК	$H_{\text{НМХ}\text{min}\text{ПК}} \times V_{\text{min}\text{ПК}}$
Характеристика аеродромів	$H_{\text{НМХ}\text{min}\text{аер}} \times V_{\text{min}\text{аер}}$
Планова інформація про ПК	$T_{\text{ПК}}, H_{\text{НМХ}\text{min}\text{КПК}} \times V_{\text{min}\text{КПК}}$
Метеорологічна інформація про аеродроми	$H_{\text{НМХ}\phi, \text{аер}} \times V_{\phi, \text{аер}}$
Метеорологічна інформація про місцевість	$H_{\text{НМХ}\phi, \text{м}} \times V_{\phi, \text{м}}$

**Модель визначення відповідності складових вітру встановленим гранично допустимим.** Блок-схему алгоритму визначення відповідності фактичних складових вітру ( $U_{\text{п}, \phi}, U_{\text{з}, \phi}, U_{\text{б}, \phi}$ ) встановленим гранично допустимим ( $U_{\text{п}, \text{доп}}, U_{\text{з}, \text{доп}}, U_{\text{б}, \text{доп}}$ ) показано на рис. 4.21.

Необхідна інформація для визначення відповідності складових вітру встановленим гранично допустимим збирається згідно з даними табл. 4.14.

Таблиця 4.14

Параметри, які збираються для визначення відповідності складових вітру встановленим гранично допустимим

Бази даних	Параметри, що збираються
Тактико-технічні характеристики ПК	$U_{\text{п}, \text{доп}}, U_{\text{з}, \text{доп}}, U_{\text{б}, \text{доп}}$
Характеристика аеродромів	МШК <sub>пос. аер</sub>
Планова інформація про ПК	$T_{\text{ПК}}$
Метеорологічна інформація про аеродроми	$U_{\phi, \text{аер}}, \delta_{\phi, \text{аер}}$
Метеорологічна інформація про місцевість	МШК <sub>пос. м}, <math>U_{\phi, \text{м}}, \delta_{\phi, \text{м}}</math></sub>



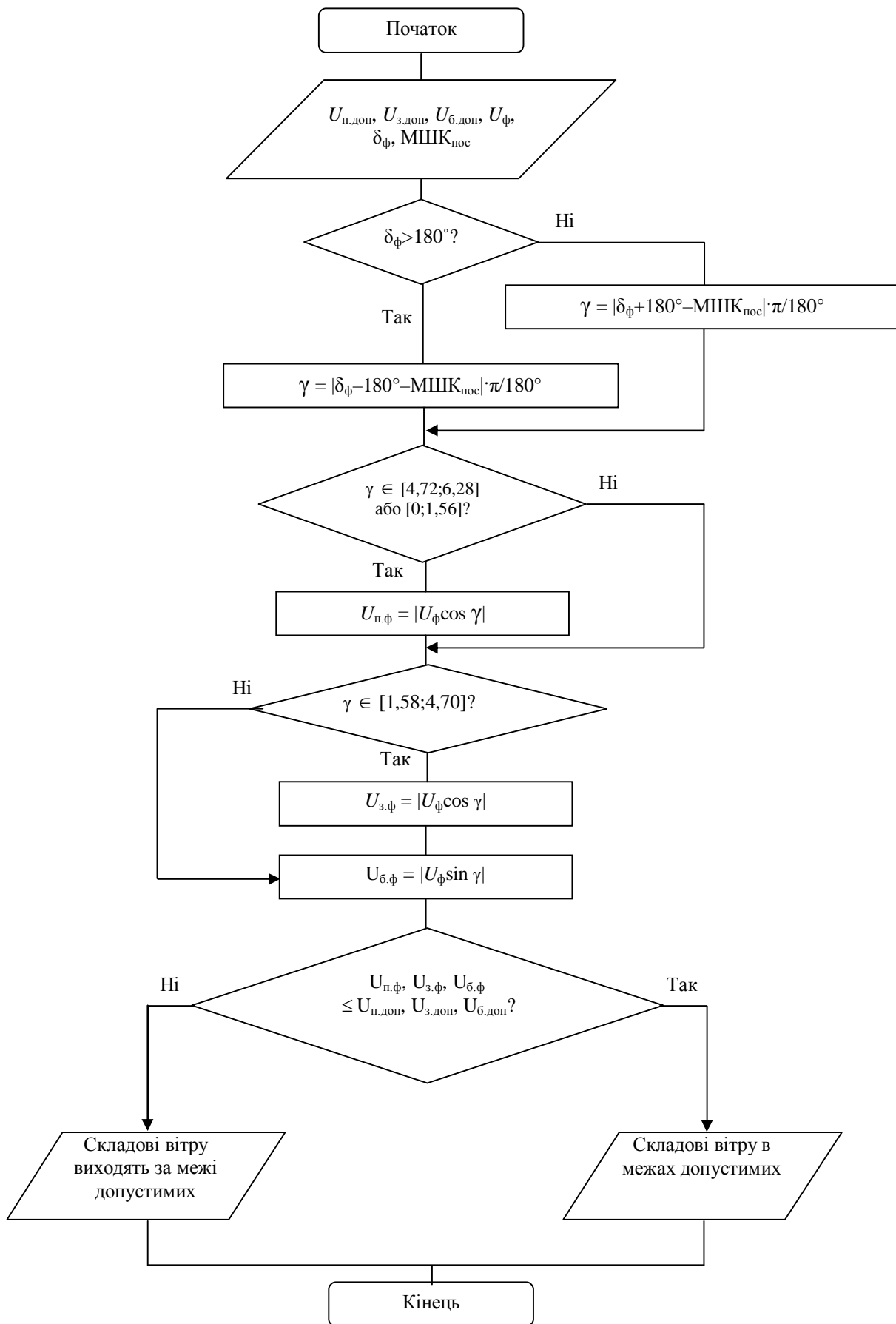


Рис. 4.21. Блок-схема алгоритму визначення відповідності фактичних складових вітру гранично допустимим

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

Поєднаємо всі структурні елементи, які були розглянуті на етапі декомпозиції, в інформаційній моделі СППР авіадиспетчера в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки ПК.

Завдяки дотриманню висунутих принципів та вимог до розроблення системи, її інформаційного забезпечення, між усіма підсистемами встановлено логічні та інформаційні зв'язки, зображені на рис. 4.22. Умовні позначення моделі зведено в табл. 4.15.

Розроблена інформаційна модель СППР дозволяє:

- створити методологічну єдність інформаційного забезпечення;
- контролювати процес розв'язання задачі;
- перебудовувати структуру інформаційного забезпечення у разі потреби;
- безпосередньо спілкуватися з інформацією.

З отриманням підсистемою збирання інформації про ПК даних про виникнення певної позаштатної ситуації активізується підсистема формування стратегії дій. У разі потреби виконати вимушену посадку ПК у роботу системи включається підсистема прогнозування розвитку ситуації, яка отримує дані від підсистеми збирання інформації про ПК, та підсистема визначення характеристик альтернативних варіантів завершення польоту, що отримує дані як від підсистеми збирання інформації про ПК, так і від підсистеми збирання інформації про зону УПР. Ураховуючи визначений в підсистемі прогнозування розвитку ситуації критичний час польоту ПК, на основі інформаційних характеристик груп факторів, які впливають на вибір альтернатив, отриманих від підсистеми збору інформації про зону УПР і розрахованих у підсистемі визначення характеристик альтернативних варіантів завершення польоту, підсистема оцінювання ефективності потенційних альтернатив і формування оптимального рішення визначає можливі витрати в результаті вибору певної альтернативи та обирає оптимальну стратегію завершення польоту на основі критерію мінімізації потенційного збитку.

Доступність складних моделей задачі вибору оптимального варіанта завершення польоту в поєднанні з математичним підходом до прийняття рішень дає змогу уникнути психологічного дискомфорту авіадиспетчера, який користується «підказкою» СППР.

Систематизація структурних складових системи інформаційної підтримки та взаємозв'язків між ними дозволяє комплексно реалізувати цілі вимірювання для вибору оптимальної альтернативи завершення польоту в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки ПК.

Розроблено інформаційні моделі СППР льотного диспетчера на прикладі задач вибору оптимального аеродрому посадки [34; 298; 324] та оптимального маршруту [329], за допомогою співробітник із забезпечення польотів має змогу здійснювати допомогу командирі ПК шляхом видачі: необхідних вказівок і рекомендацій щодо перегляду планів використання ПК, якщо відбувається ухід на запасний аеродром, затримується або відмінюється політ і маршрути. Система підтримки прийняття рішень є складовою частиною програмних та апаратних засобів автоматизованої системи управління реального часу – АС планування та забезпечення польотів [34; 298; 324].

Умовні позначення інформаційної моделі СППР

Інформаційні характеристики	Умовне математичне позначення (змінна)	Код інформаційної характеристики
Тип ситуації	$T_{\text{сиг}}$	01
Стан ПК	$S_{\text{ПК}}$	02
Тип ПК	$T_{\text{ПК}}$	03
Висота польоту ПК	$H_{\text{пол}}$	04
Курс польоту ПК	$\psi$	05
Кількість двигунів	$N_{\text{двиг}}$	06
Кут крену	$\beta$	07
Аеродинамічна якість	$k$	08
Швидкість ПК (горизонтальна та вертикальна)	$V_1, V_2, V_v, V_{\text{пол}}, V_{\text{пос}}$	09
Координати ПК	$(x_{\text{ПК}}, y_{\text{ПК}})$	10
Координати аеродромів	$(x_{\text{аер}}, y_{\text{аер}})$	11
Координати майданчиків	$(x_{\text{м}}, y_{\text{м}})$	12
Мінімум ПК	$H_{\text{НМХminПК}} \times V_{\text{minПК}}$	13
Мінімум командира ПК	$H_{\text{НМХminкПК}} \times V_{\text{minкПК}}$	14
Мінімум аеродрому	$H_{\text{НМХминаер}} \times V_{\text{минаер}}$	15
Фактична хмарність і видимість	$H_{\text{НМХф.аер}} \times V_{\text{ф.аер}},$ $H_{\text{НМХф.м}} \times V_{\text{ф.м}}$	16
Небезпечні метеорологічні явища	$k_{\text{НМЯ}}$	17
Роботи на ЗПС	$k_{\text{роб}}$	18
Час звільнення ЗПС	$t_{\text{зв}}$	19
Тип потенційного місця посадки (аеродром, заздалегідь визначений або підібраний з повітря майданчик)	$T_{\text{МП}}$	20
Номер ЗПС	$H_{\text{ЗПС}}$	21
Тип ЗПС	$T_{\text{ЗПС}}$	22
Тип двигунів ПК	$T_{\text{дв}}$	23
Шар снігу, сльоти, води, льоду, коефіцієнт зчеплення або ефективність гальмування (для штучної ЗПС); міцність ґрунту, шар і міцність снігу (для ґрунтової ЗПС)	$h_{\text{сн.ф}}, h_{\text{сл.ф}}, h_{\text{в.ф}}, h_{\text{л.ф}}, k_{\text{зч.ф}}, E_{\text{г.ф}},$ $M_{\text{гр.ф}}, M_{\text{сн.ф}}$	24
Допустимі для посадки значення шару снігу, сльоти, води, льоду, коефіцієнту зчеплення або ефективності гальмування (для штучної ЗПС); міцності ґрунту, шару та міцності снігу (для ґрунтової ЗПС)	$h_{\text{сн.доп}}, h_{\text{сл.доп}}, h_{\text{в.доп}}, h_{\text{л.доп}},$ $k_{\text{зч.доп}}, E_{\text{г.доп}}, M_{\text{гр.доп}}, M_{\text{сн.доп}}$	25
Стан РТЗ	$k_{\text{РТЗ}}$	26
Фактична довжина ЗПС	$L_{\text{ф}}$	27
Потрібна для посадки довжина ЗПС (в стандартних умовах)	$L_{\text{ст}}$	28
Фактична посадкова маса ПК	$G_{\text{пос.ф}}$	29
Нормативна посадкова маса ПК	$G_{\text{пос.н}}$	30
Температура повітря на аеродромі	$t_{\text{ф.аер}}$	31
Фактична сила й напрямок вітру	$U_{\text{ф.аер}}, \delta_{\text{ф.аер}}, U_{\text{ф.м}}, \delta_{\text{ф.м}}$	32
Фактична видимість на аеродромі	$V_{\text{ф.аер}}$	33
Магнітний шляховий кут посадки	$M_{\text{ШКпос}}$	34
Нахил ЗПС	$N_{\text{ЗПС}}$	35
Висота аеродрому над рівнем моря	$H_{\text{аер}}$	36
Допустимі складові вітру	$U_{\text{п.доп}}, U_{\text{з.доп}}, U_{\text{б.доп}}$	37
Вид підстилаючої поверхні	$k_{\text{ПП}}$	38
Наявність перешкод і населених пунктів	$k_{\text{пер}}, k_{\text{НП}}$	39
Знання, навички, вміння, здобуті Л-О в процесі навчання	$F_{\text{ед}}$	40
Знання, навички, вміння, здобуті Л-О в процесі професійної діяльності	$F_{\text{exp}}$	41
Індивідуально-психологічні показники Л-О (темперамент, увага, сприйняття, мислення, уява, натура, воля, здоров'я, досвід)	$F_{\text{ip}}$	42
Психофізіологічні показники Л-О (часова затримка реакції, нервово-м'язове запізнювання, час на ПР, емоційний тип, соціотип)	$F_{\text{pf}}$	43
Соціально-психологічні показники Л-О (моральні, економічні, соціальні, політичні, правові)	$F_{\text{sp}}$	44

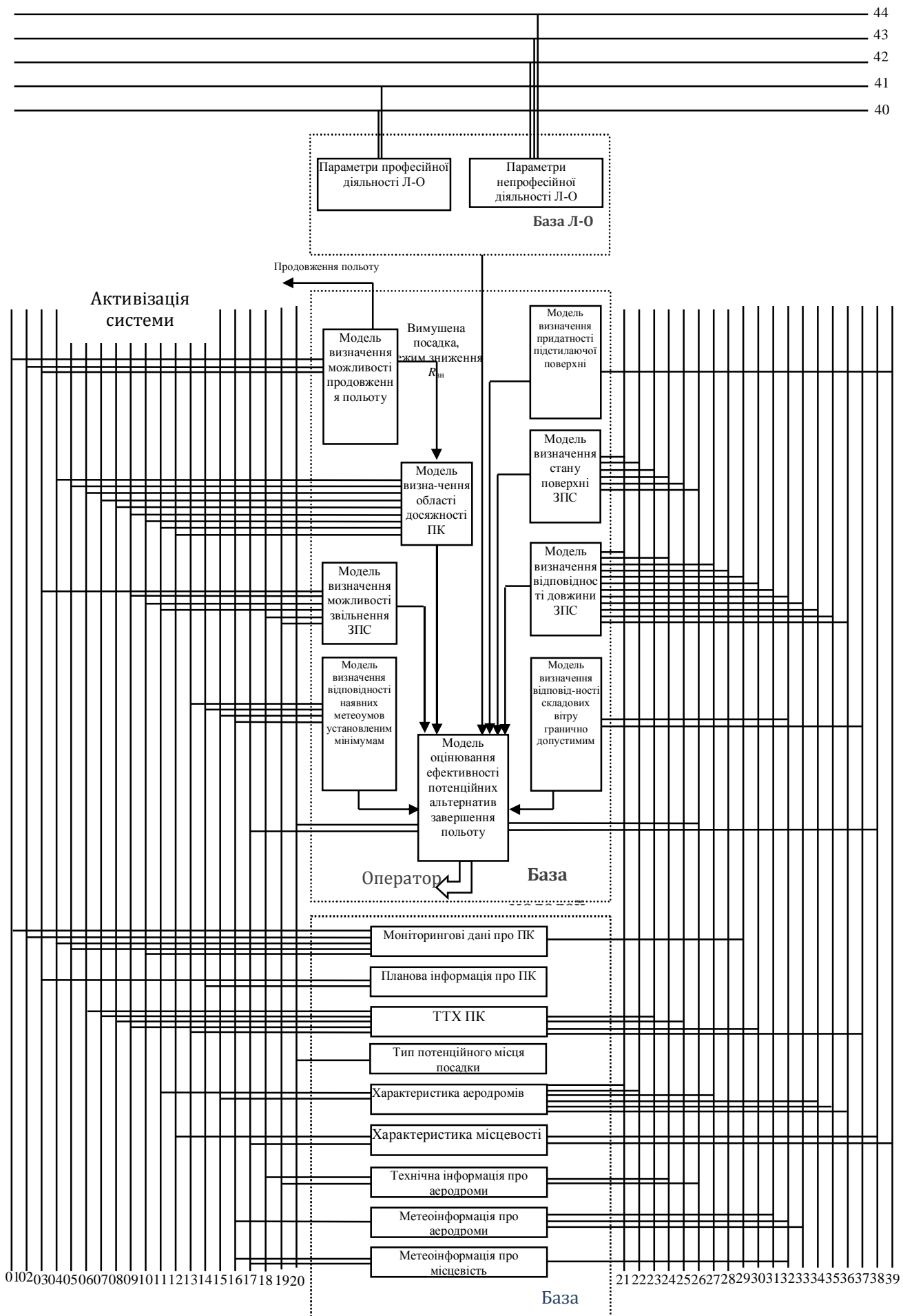


Рис. 4.22. – Інформаційна модель СППР авіадиспетчера в позаштатних ситуаціях

## **Висновки**

Проведені дослідження з метою побудови інформаційної моделі СППР авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях дали змогу отримати такі результати:

1. Згідно з визначеними вимогами до СППР авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях сформовано принципи її побудови, подано структуру СППР з відокремленням підсистем, що розв'язують певні задачі вимірювання, та БД, які забезпечують систему необхідною інформацією.

2. Здійснено структурну декомпозицію задачі вибору оптимальної альтернативи завершення польоту на підзадачі, окреслені логікою прийняття рішень оператором у позаштатних польотних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки ПК. Оцінюються:

- можливість продовження польоту;
- критичний час польоту ПК;
- тип потенційного місця посадки;
- вид і придатність підстилаючої поверхні;
- технічна придатність аеродромів;
- метеорологічні умови потенційного місця посадки;
- ефективність потенційних альтернатив і формується оптимальний варіант завершення польоту.

3. Відповідно до результатів структурної декомпозиції розроблено моделі й алгоритми формування рішень у СППР авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях. Розроблено інформаційну модель СППР, у якій систематизовані структурні складові системи інформаційної підтримки та взаємозв'язки між ними, що дозволяє комплексно реалізувати задачі вимірювання для вибору оптимальної альтернативи завершення польоту в позаштатних ситуаціях, які потребують вимушеної посадки ПК.

## **5. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ДІЯЛЬНОСТІ ОПЕРАТОРІВ ТА ЇХ КОЛЕКТИВІВ В АЕРОНАВІГАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ**

### **5.1. Соціодіагностика оператора аеронавігаційної системи**

#### **5.1.1. Методика визначення соціонічної характеристики оператора аеронавігаційної системи**

Математичне моделювання операторської діяльності в середині ХХ ст. було стимульоване розвитком кібернетичних систем та штучного інтелекту. Аналіз діяльності Л-О як ланки в ЛМС розглянуто в [286], представлено результати моделювання видів людської діяльності, шляхом отримання і перероблення інформації, ПР, математичні моделі Л-О та відповідні ергономічні рекомендації, основані на психології. Моделювання операторської діяльності в різних її аспектах наведено також в працях [101; 102; 288]. Аналіз останніх публікацій показує, що дослідження операторської діяльності спрямовані на вирішення за відомими методами локальних задач сприйняття, перероблення інформації, аналізу впливу зовнішнього середовища на ПР Л-О. Основним висновком про сучасний стан моделювання операторської діяльності є те, що відсутній комплексний підхід до етапів ПР і факторів, що впливають на ПР Л-О, математичні моделі операторської діяльності, розглянуті в публікаціях, здебільшого мають описовий характер, тобто відсутні кількісні дані якісних характеристик результатів діяльності Л-О в різних умовах експлуатації об'єкта керування [117; 225]. Проте в дослідженнях не наведено загальних моделей, які б подали операторську діяльність з погляду як динаміки показників оперативності, так і статичних показників – параметрів та характеристик закону розподілу цих даних. Ідентифікація інтелектуальної діяльності Л-О за експериментальними даними та отримання кількісних характеристик щодо отримання і розпізнання інформації надається в працях [112; 252] для ідентифікації операторського персоналу, зокрема в тренажерних системах професійного відбору, навчання та атестації, а також формування однорідних за ступенем кваліфікації груп.

Важливу роль у процесі роботи екіпажу ПК і диспетчерської зміни відіграють як індивідуальні характеристики Л-О, так і його сумісна діяльність в складі групи. Особливості взаємодії в групах авіаційних фахівців найбільше проявляються в ОВП. Вид професійної діяльності впливає на психологічний та соціальний тип особистості. Не зважаючи на безліч методик для оцінювання та підвищення ефективності діяльності льотного складу, в Україні майже не використовують соціонічний підходи до комплектування льотних екіпажів, диспетчерських змін та інших колективів авіаційних фахівців.

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 використовують досить рідко, оскільки він потребує певного рівня психологічних знань і навичок для його застосування. 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 [146], за результатами досліджень яких професійні досягнення авіаційних фахівців залежать від соціонічних типів (дод. Ж).

Для оцінювання динаміки змін кількісних і якісних соціонічних показників авіаційних фахівців в їх процесі професійної підготовки і професійної діяльності доцільно застосування автоматизованої діагностики.

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.

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

1. Тестування за допомогою тесту ММ-1 (дод. Ж).

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-ірраціональність». Рівні функціонування людської особистості та відповідні ПД показано на рис. 5.1. Детальний зміст характеристик психічних типів Л-О наведено в додатку Ж.

2.2. Розрахунок ПД за тестом ММ-1. Методика визначення ТІМ надано в табл. 5.1.

2.3. Визначення ТІМ (табл. 5.1). Зміст характеристик соціонічних моделей Л-О з точки зору авіаційної соціоніки наведено в додатку Ж: соціальна значущість типу, характерні властивості особистості, позитивні якості і прийнятні недоліки. Визначення ТІМ, кодова назва якого складається з перших літер ПД, відповідно до рекомендацій табл. 5.1.

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 [87]. Взаємодія функцій особистості (етика, інтуїція, логіка, сенсорика) визначає ефективний вид діяльності: науково-дослідна діяльність, гуманітарно-мистецька діяльність, соціально-комунікативна діяльність, техніко-управлінська діяльність.

Підрахунок ПД, ТІМ за тестом ММ-1

Блоки відповідей на тест ММ1	Сума відповідей		ТІМ
	Ліва частина, $\Sigma Л$	Права частина, $\Sigma П$	
1-й блок (10 питань) ПД «екстраверт - інтроверт»	Якщо $\Sigma Л > \Sigma П$ , $a = \Sigma Л - \Sigma П$ «екстраверт»	Якщо $\Sigma Л < \Sigma П$ $b = \Sigma П - \Sigma Л$ «інтроверт»	<i>A</i>
2-й блок (10 питань) ПД «логік - етик»	Якщо $\Sigma Л > \Sigma П$ $c = \Sigma Л - \Sigma П$ «логік»	Якщо $\Sigma Л < \Sigma П$ $d = \Sigma П - \Sigma Л$ «етик»	<i>B</i>
3-й блок (10 питань) ПД «сенсорик - інтуїт»	Якщо $\Sigma Л > \Sigma П$ $e = \Sigma Л - \Sigma П$ «сенсори»	Якщо $\Sigma Л < \Sigma П$ $f = \Sigma П - \Sigma Л$ «інтуїт»	<i>C</i>
ПД «раціонал-ірраціонал»	Якщо $\alpha > \beta$ , то «раціонал», де $\alpha =  d - c $ , $\beta =  e - f $ , маємо BCA	Якщо $\alpha < \beta$ , то «Ірраціонал», де $\alpha =  d - c $ , $\beta =  e - f $ , маємо CBA	

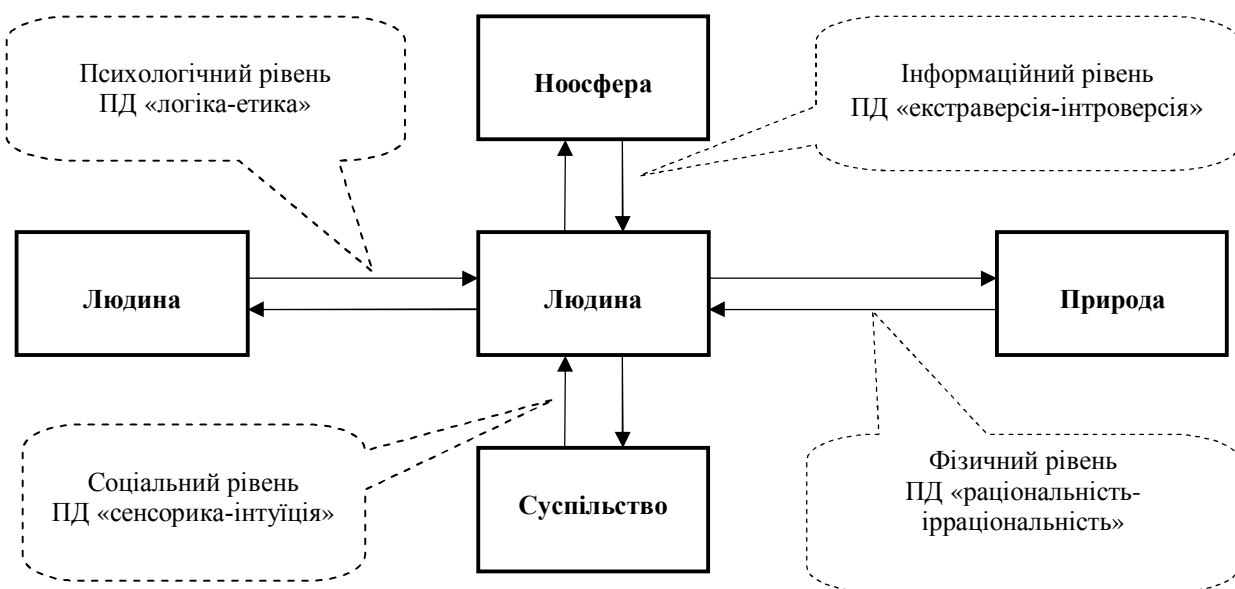


Рис. 5.1. Рівні функціонування людської особистості та відповідні ПД

### 5.1.2. Визначення коефіцієнту професійної діяльності людини-оператора

**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 [87]. Коефіцієнт професійної діяльності  $k_{ij}$  коливається в межах і визначається за табл. 5.2 (рис. 5.2) 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.

## Визначення коефіцієнта професійної діяльності

ТІМ	Тип професійної діяльності	$k_{ij}$	Здатність до типу професійної діяльності			
			Науково-дослідна діяльність	Гуманітарно-мистецька діяльність	Соціально-комунікативна діяльність	Техніко-управлінська діяльність
			$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$
Логіко-інтуїтивний екстраверт	Науково-дослідна діяльність	$i=1$	0,75-1,00	0,50-0,75	0,25-0,50	0,50-0,75
Логіко-інтуїтивний інтроверт	Науково-дослідна діяльність	$i=2$	0,75-1,00	0,50-0,75	0,25-0,50	0,50-0,75
Інтуїтивно-логічний інтроверт	Науково-дослідна діяльність	$i=3$	0,75-1,00	0,50-0,75	0,25-0,50	0,50-0,75
Інтуїтивно-логічний екстраверт	Науково-дослідна діяльність	$i=4$	0,75-1,00	0,50-0,75	0,25-0,50	0,50-0,75
Інтуїтивно-етичний екстраверт	Гуманітарно-мистецька діяльність	$i=5$	0,50-0,75	0,75-1,00	0,50-0,75	0,25-0,50
Інтуїтивно-етичний інтроверт	Гуманітарно-мистецька діяльність	$i=6$	0,50-0,75	0,75-1,00	0,50-0,75	0,25-0,50
Етико-інтуїтивний інтроверт	Гуманітарно-мистецька діяльність	$i=7$	0,50-0,75	0,75-1,00	0,50-0,75	0,25-0,50
Етико-інтуїтивний екстраверт	Гуманітарно-мистецька діяльність	$i=8$	0,50-0,75	0,75-1,00	0,50-0,75	0,25-0,50
Етико-сенсорний екстраверт	Соціально-комунікативна діяльність	$i=9$	0,25-0,50	0,50-0,75	0,75-1,00	0,50-0,75
Етико-сенсорний інтроверт	Соціально-комунікативна діяльність	$i=10$	0,25-0,50	0,50-0,75	0,75-1,00	0,50-0,75
Сенсорно-етичний інтроверт	Соціально-комунікативна діяльність	$i=11$	0,25-0,50	0,50-0,75	0,75-1,00	0,50-0,75
Сенсорно-етичний екстраверт	Соціально-комунікативна діяльність	$i=12$	0,25-0,50	0,50-0,75	0,75-1,00	0,50-0,75
Сенсорно-логічний екстраверт	Техніко-управлінська діяльність	$i=13$	0,50-0,75	0,25-0,50	0,50-0,75	0,75-1,00
Сенсорно-логічний інтроверт	Техніко-управлінська діяльність	$i=14$	0,50-0,75	0,25-0,50	0,50-0,75	0,75-1,00
Логіко-сенсорний інтроверт	Техніко-управлінська діяльність	$i=15$	0,50-0,75	0,25-0,50	0,50-0,75	0,75-1,00
Логіко-сенсорний екстраверт	Техніко-управлінська діяльність	$i=16$	0,50-0,75	0,25-0,50	0,50-0,75	0,75-1,00



### 5.1.3. Діагностика соціонічної моделі оператора аеронавігаційної системи

Соціонічна модель людини (СМЛ) розраховується відповідно до вищезазначеної методики або в автоматизованому вигляді за допомогою автоматизованого модулю «Діагностика соціонічної моделі людини-оператора». Приклад розрахунку СМЛ наведено в додатку Ж.

Результат визначення соціонічної моделі особистості для ТІМ – «Інтуїтивно-логічний екстраверт», визначення коефіцієнтів професійної діяльності за критерієм енерговитрат і ПД показано на рис.5.2:

- ТІМ «ІЛЕ» – «Інтуїтивно-логічний екстраверт»;
- здатність до науково-дослідної діяльності  $k_{ij}= 0,75-1,00$ ;
- здатність до гуманітарно-мистецької діяльності  $k_{ij}= 0,5-0,75$ ;
- здатність до соціально-комунікативної діяльності  $k_{ij}= 0,25-0,5$ ;
- здатність до техніко-управлінської діяльності  $k_{ij}= 0,5-0,75$ ;
- ПД: «інтуїція», «логіка», «екстраверсія», «іраціонал».

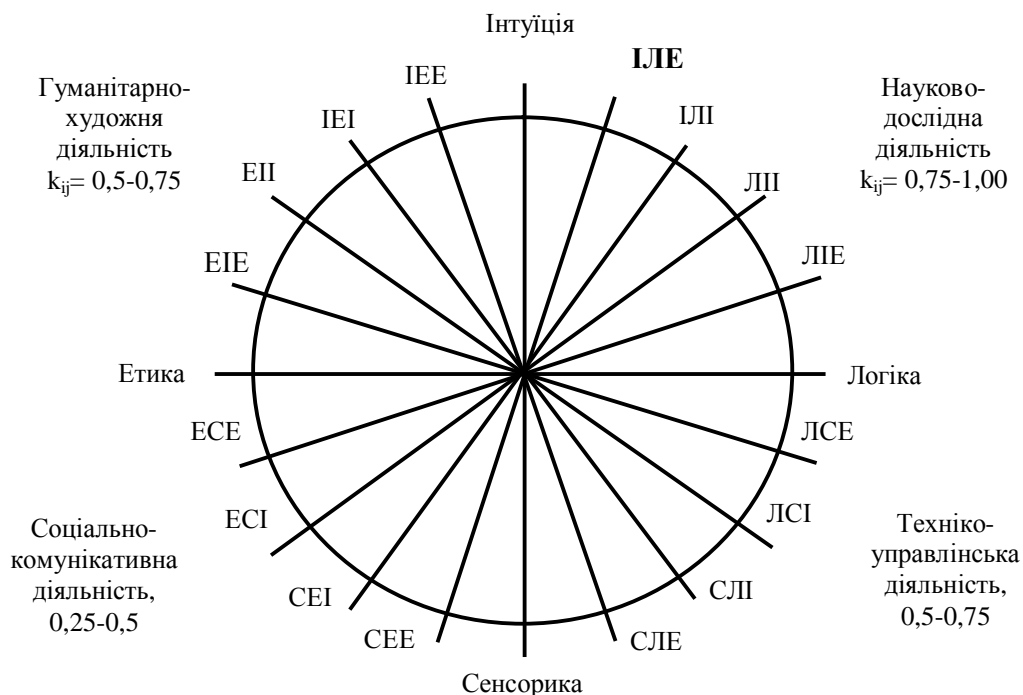


Рис. 5.2 .Приклад визначення соціонічної моделі особистості для ТІМ «ІЛЕ»: ТІМ Л-О - ІЛЕ – «Інтуїтивно-логічний екстраверт»; коефіцієнти професійної діяльності: науково-дослідної діяльності  $k_{ij}= 0,75-1,00$ ; гуманітарно-мистецької діяльності  $k_{ij}= 0,5-0,75$ ; соціально-комунікативної діяльності  $k_{ij}= 0,25-0,5$ ; техніко-управлінської діяльності  $k_{ij}= 0,5-0,75$ .

За допомогою соціодіагностики В.В. Гуленка [87] визначено види професійної діяльності особистості за критерієм енерговитрат до потенційної здатності вирішувати професійні завдання. Взаємодія функцій особистості (етика, інтуїція, логіка, сенсорика) визначає ефективний вид діяльності: науково-дослідної, гуманітарно-мистецької, соціально-комунікативної, техніко-управлінської.

Тип інформаційного метаболізму визначено на прикладі диспетчерської зміни і наведено в табл. 5.3–5.4. Респондент №8 має ТІМ «Етико-інтуїтивний інтроверт», який відноситься гуманітарно-художнього типу діяльності і характеризується відповідальністю і вимогливістю до себе, водночас, недоліком цього типу є недостатність рішучості й ініціативності. Інші члени групи мають ТІМ «СЛЕ», «ЛСІ» та «ЛСЕ», які належать до техніко-управлінського типу діяльності і характеризуються здатністю доводити справу до кінця, здоровим глуздом, діловитістю, але низькими творчими здібностями і консерватизмом [273].

Таблиця 5.3

## Визначення типу особистості за ПД «екстраверсія-інтроверсія» і «логіка-етика»

Номер респондента	ПД		ТІМ	ПД		ТІМ
	Екстраверсія	Інтроверсія		Логіка	Етика	
1	550	450	Екстраверт	510	490	Логік
2	560	440	Екстраверт	550	450	Логік
3	550	450	Екстраверт	600	400	Логік
4	460	540	Інтроверт	800	200	Логік
5	430	570	Інтроверт	760	240	Логік
6	600	400	Екстраверт	550	450	Логік
7	650	350	Екстраверт	530	470	Логік
8	300	700	Інтроверт	350	650	Етик
9	600	400	Екстраверт	750	250	Логік
10	680	320	Екстраверт	600	400	Логік

Таблиця 5.4

## Визначення типу особистості за ПД «сенсорика-інтуїція» і «раціоналізм-ірраціоналізм»

Номер респондента	ПД		ТІМ	ПД		ТІМ	Соціотип
	Сенсорика	Інтуїція		Раціоналізм	Ірраціоналізм		
1	550	450	Сенсорик	20	100	Ірраціонал	СЛЕ
2	560	440	Сенсорик	100	120	Ірраціонал	СЛЕ
3	650	350	Сенсорик	200	300	Ірраціонал	СЛЕ
4	700	300	Сенсорик	600	400	Раціонал	ЛСІ
5	550	450	Сенсорик	520	100	Раціонал	ЛСІ
6	510	490	Сенсорик	100	20	Раціонал	ЛСЕ
7	670	330	Сенсорик	60	340	Ірраціонал	СЛЕ
8	450	550	Інтуїт	300	100	Раціонал	ЕП
9	600	400	Сенсорик	500	200	Раціонал	ЛСЕ
10	800	200	Сенсорик	200	600	Ірраціонал	СЛЕ

Російськими вченими М.Ф. Михайликом, О.В. Малишевським розроблено методику оцінювання рівня підготовки членів екіпажу ПК за сукупністю психодіагностичних показників. За допомогою опитувальника ММ-1 були розраховані ПД, ТІМ та визначені СМЛ на прикладі екіпажу ПК і диспетчерської зміни [273; 401]. Аналогічні дослідження проводились авторами в регіональних структурних підрозділах ДП ОПР України «Украерорух» та в Кіровоградській льотній академії НАУ в рамках виконання держбюджетної науково-дослідної роботи «Моделювання комплексу для оцінювання ризику прийняття рішення авіадиспетчером з урахуванням індивідуальних якостей людини-оператора в автоматизованій системі з застосуванням методів штучного інтелекту».

Визначення соціонічних характеристик авіаційних фахівців за допомогою автоматизованого модуля дозволяє реалізувати адаптивний підхід в системі навчання і професійної діяльності. Застосування адаптивного підходу в тренажерно-навчальній системі підвищує ефективність підготовки за рахунок використання індивідуального підходу з урахуванням типу особистості студента. Визначення соціонічних моделей Л-О в процесі виконання професійних задач дає змогу оптимізувати колективну роботу авіаційних фахівців. Застосування автоматизованого модуля в авіаційній тренажерно-навчальній системі дозволяє проводити оперативну психодіагностику слухачів в процесі виконання ними вправ різної складності індивідуально і в групі, а також досліджувати типологічні зміни соціомоделей Л-О.

Можливим є застосування автоматизованого модуля «Діагностика соціонічної моделі Л-О» в системі професійного відбору для визначення професійно важливих якостей авіаційних фахівців.

#### 5.1.4. Соціометричний аналіз в групі операторів аеронавігаційної системи

Якщо групу авіаційних спеціалістів, що пов'язані загальною професійною діяльністю (екіпаж ПК, диспетчерська зміна тощо), розглядати як систему, то Л-О, є частиною системи, тобто, підсистемою.

Для оцінювання сумісності окремої особи і групи використовуються методи соціометрії, в основу яких покладено методика Н.В. Бахаревої. На прикладі диспетчерської зміни з  $n$ -членами ( $n=10$ ) за методикою Н.В. Бахаревої були розраховані соціометричні індекси: соціометричний статус (СС), очікувана емоційна експансивність (ОЕЕ), емоційна експансивність (ЕЕ) та очікуваний соціометричний статус (ОСС), визначені рівні сумісності членів групи  $\alpha_{ij}$ ,  $i = 1 - m$ ,  $j = 1 - m$  (табл. 5.5, рис. 5.3). Індекси СС і ОЕЕ характеризують відношення групи до особистості, а ЕЕ і ОСС – відношення особистості до групи.

Якісні характеристики рівнів сумісності в диспетчерській зміні (дуже високий, високий, вище від середнього, середній, нижче за середній, низький, дуже низький) і відповідні кількісні оцінки  $j=1,7$  отримані з персональної та групової соціограм за варіантами поєднання типів: «той, хто співпрацює» (перший квадрант), «той, хто суперничає» (другий квадрант), «той, хто відмежується» (третій квадрант), «той, кого ведуть» (четвертий квадрант) (табл. 5.5, рис. 5.3).

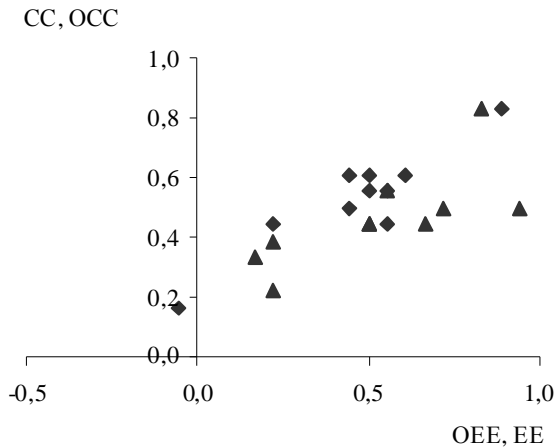
Таблиця 5.5

Розрахунок соціометричних індексів

Номер респондента	Групова соціограма		Персональна соціограма		Рівні сумісності, $\alpha_{ij}$
	СС	ОЕЕ	ЕЕ	ОСС	
1	0,500	0,444	0,722	0,500	Дуже високий ( $\alpha_{ij}=7$ )
2	0,611	0,500	0,222	0,222	Дуже високий ( $\alpha_{ij}=7$ )
3	0,556	0,556	0,667	0,444	Дуже високий ( $\alpha_{ij}=7$ )
4	0,444	0,222	0,556	0,556	Дуже високий ( $\alpha_{ij}=7$ )
5	0,556	0,500	0,500	0,444	Дуже високий ( $\alpha_{ij}=7$ )
6	0,444	0,556	0,944	0,500	Дуже високий ( $\alpha_{ij}=7$ )
7	0,611	0,611	0,222	0,389	Дуже високий ( $\alpha_{ij}=7$ )
8	0,167	-0,056	0,167	0,333	Високий ( $\alpha_{ij}=6$ )
9	0,833	0,889	0,833	0,833	Дуже високий ( $\alpha_{ij}=7$ )
10	0,611	0,444	0,500	0,444	Дуже високий ( $\alpha_{ij}=7$ )

Розрахунки, наведені в табл. і 5.5, показують, що респондент №6 (СС=0,833) є неформальним лідером в групі. Низький СС=0,167 респондента №8 свідчить про те, що він перебуває в цій групі нетривалий час. Згідно з рис. 5.3, респондент №8 належить до типу «той, хто суперничає».

У диспетчерських змінах регіональних структурних підрозділів ДП ОПР України «Украерорух» був проведений експеримент з визначення соціометричних і соціонічних показників (табл. 5.6).



◆ Групова соціограма ▲ Персональна соціограма

Рис. 5.3. Персональна і групова соціограми: СС – соціометричний статус; OCC – очікуваний соціометричний статус; OEE – очікувана емоційна експансивність; EE – емоційна експансивність

Таблиця 5.6

**Кореляційний аналіз рівнів функціонування людини-оператора**

№ з/п	Рівень взаємодії	Тип особистості	Коефіцієнт кореляції $R_{CC}$	Коефіцієнт кореляції $R_{EE}$
1	Інформаційний	Екстраверт	0,73	0,46
		Інтроверт	-0,73	-0,46
2	Психологічний	Етик	0,57	0,07
		Логік	-0,57	-0,08
3	Соціальний	Сенсорик	0,47	0,35
		Інтуїт	-0,47	-0,35
4	Фізичний	Раціонал	0,07	-0,31
		Ірраціонал	-0,27	0,24

Кореляційний аналіз соціометричних показників, коефіцієнтів рівнів сумісності  $\alpha_{ij}$ ,  $i = 1 - m$ ,  $j = 1 - m$  та кількісних показників ТІМ, що визначають СМЛ, показав, що соціометричний індекс СС, який є числовим вираженням відношення групи до особистості, тісно взаємопов'язаний з інформаційним рівнем взаємодії між членами групи, що свідчить про високий рівень інформаційного обміну між членами групи, обумовлений відповідними професійними обов'язками ( $R_{CC\text{інф}} = 0,73$ ), і аналогічно соціометричний індекс EE, що свідчить про відношення особистості до групи, також корелює з інформаційним рівнем взаємодії ( $R_{EE\text{інф}} = 0,46$ ). У свою чергу, з боку групи на психологічному рівні високий рівень взаємодії ( $R_{CC\text{псих}} = 0,57$ ), а з боку особистості кореляція майже відсутня ( $R_{EE\text{псих}} = 0,07$ ). На соціальному рівні група має декілька сильніший вплив на особистість ( $R_{CC\text{соц}} = 0,47$ ), ніж навпаки ( $R_{EE\text{соц}} = 0,35$ ). Взаємозв'язку між фізичним рівнем взаємодії, пов'язаним з асиметрією півкуль головного мозку і типом нервової системи людини, та груповою діяльністю людини майже не відчувається ( $R_{CC\text{фіз}} = 0,07$ ;  $R_{EE\text{фіз}} = -0,31$ ) [174; 273].

Для оцінювання динаміки змін кількісних і якісних соціометричних і соціонічних показників авіаційних фахівців у процесі їх професійної підготовки та професійної діяльності доцільно застосовувати автоматизованої діагностики. За допомогою автоматизованого модуля проводяться дослідження ефективності взаємодії між операторами в процесі виконання професійних завдань із УПР в ОВП.

## 5.2. Діагностика емоційного стану оператора аеронавігаційної системи

### 5.2.1. Методи дисперсійного аналізу ідентифікації поточного емоційного стану пілота

Згідно з документами, що регламентують льотну експлуатацію і УПР, остаточне рішення у разі виникнення позаштатних ситуацій приймає командир ПК, але в зв'язку з великою часткою прийняття екіпажем ПК неадекватних рішень, що складає 90% причин авіаційних подій у світі для всіх типів ПК, відповідальність за своєчасні й правильні рекомендації в позаштатних ситуаціях покладено на авіадиспетчера [146; 147; 283; 394–398]. Для цього важливо для диспетчера володіти оперативною інформацією щодо:

- розвитку позаштатної ситуації;
- поточного емоційного стану Л-О, що керує ПК;
- кількісної оцінки прогнозу розвитку позаштатної ситуації з урахуванням можливостей Л-О, що діє в екстремальних умовах.

Темп і амплітуда рухів пілота під час керування ПК, які змінюються з ростом емоційної напруги, є показником його емоційного стану.

У результаті досліджень, проведених ученими Санкт-Петербурзького державного університету цивільної авіації М.Ф. Михайликом, О.В. Малишевським, отримано модель деформації емоційного досвіду [147], яка характеризує поведінку пілота в екстремальних ситуаціях. Спонтанне (оптимальне) пілотування характеризується правильністю та своєчасністю дій пілота в екстремальній ситуації. У міру зростання емоціональної напруги виникає деформація емоційного досвіду і можливий перехід пілота до потенційно небезпечних видів психічної діяльності: емоційної – із випередженням дій відносно реального часу та розсудливої – із запізненням дій відносно реального часу. За допомогою дисперсійного аналізу за фазовими портретами відхилення елеронів отримано математичні моделі спонтанного, емоційного і розсудливого типів діяльності Л-О відповідно (рис. 5.4–5.6).

Для своєчасного розпізнавання небезпечного емоційного стану пілота пропонується застосування методу фазової площини [108], 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. 5.4–5.6. 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; 245]. 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  $\lambda_1 = \alpha + jw$  та  $\lambda_2 = \alpha - jw$  і його розв'язання має наступний вигляд:

$$x(t) = Ae^{\alpha t} \cos wt, \quad (5.1)$$

$$y(t) = \frac{dx}{dt} = Ae^{\alpha t} (\alpha \cos wt - w \sin wt), \quad (5.2)$$

де  $A$  – амплітуда відхилення елеронів, град.;  $w$  – частота відхилення елеронів,  $w = 2\pi/T$ .

З виразів (5.1) – (5.2) знайдемо співвідношення для радіуса-вектора відхилення елеронів:

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

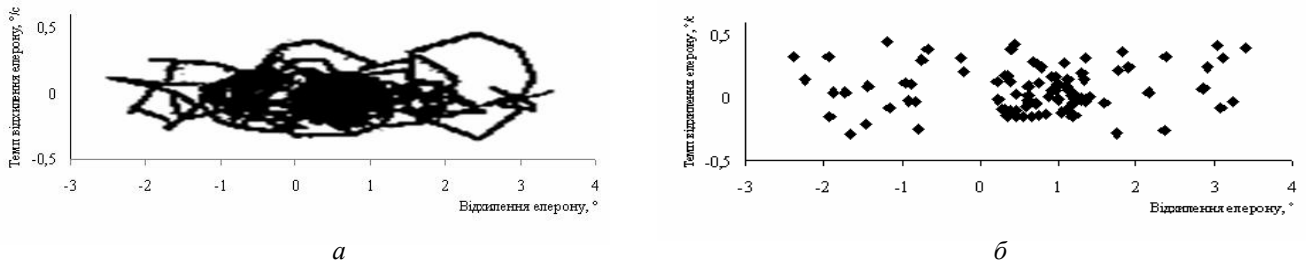


Рис. 5.4. Фазовий портрет відхилення елеронів (а) і дисперсія  $D_1$  (б) спонтанного типу діяльності Л-О

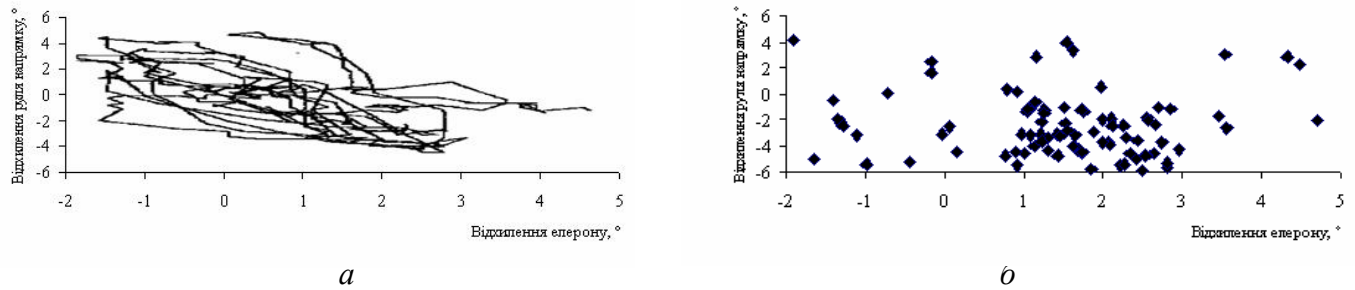


Рис. 5.5. Фазовий портрет відхилення елеронів (а) і дисперсія  $D_2$  (б) емоційного типу діяльності Л-О

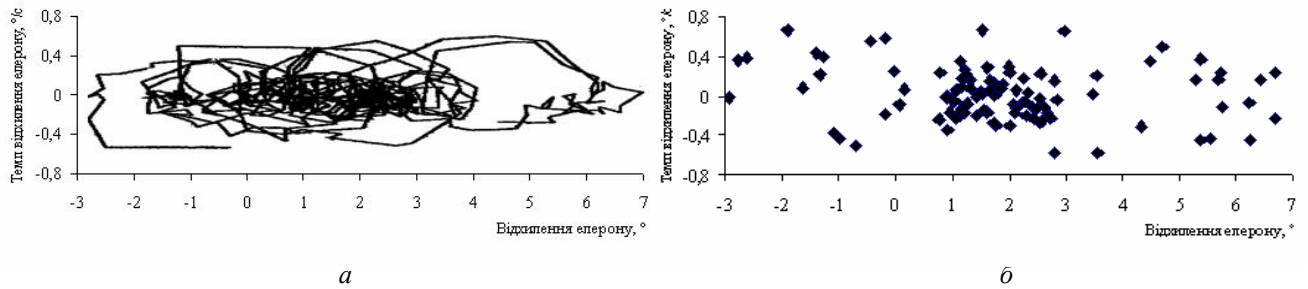


Рис. 5.6. Фазовий портрет відхилення елеронів (а) і дисперсія  $D_3$  (б) розсудливого типу діяльності Л-О

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 радіуса-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 [272; 278], 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 [245; 246; 272; 325; 356]:

- 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.

Розглянемо розрахунок дисперсії за допомогою MS Excel на прикладі спонтанного типу діяльності (перший метод дисперсійного аналізу). Як методом оцінювання обрано метод знаходження дисперсії відносно точки, сума відстаней від якої до інших точок є мінімальною. Знайдемо центр розподілу випадкової величини як точки, яка характеризує амплітуду та темп рухів пілота ( $X_0$  і  $Y_0$  відповідно) та через яку графік проходить найбільшу кількість разів (точка з координатами (0,61; 0,01)).

Дисперсія випадкової величини  $X$ :

$$D_x = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx,$$

де  $f(x)$  – щільність розподілу випадкової величини  $X$ ;  $m_x$  – математичне сподівання випадкової величини  $X$ .

Дисперсія дискретної випадкової величини:

$$D_x = M(X^2) - M^2(X),$$

$$M(X^2) = \sum_{i=1}^n X_i^2 p_i,$$

$$M^2(X) = \left( \sum_{i=1}^n X_i p_i \right)^2,$$

де  $M(X^2)$  – математичне сподівання квадрата випадкової величини;  $M^2(X)$  – квадрат математичного сподівання випадкової величини,  $p_i$  – імовірність.

Дисперсія випадкової величини для спонтанного типу:

$$D = \sum_{i=1}^{100} 0,01 X_i^2 - \left( \sum_{i=1}^{100} 0,01 X_i \right)^2;$$

$$D = 0,74.$$

Розраховані межі дисперсії спонтанного, розсудливого та емоційного типів діяльності Л-О АНС показано на рис. 5.4 б, 5.5 б, 5.6 б, наведено в табл. 5.7.

Якщо дисперсія приймає значення більше заданих, це вказує на зміни в емоційному стані пілота, що потребує відповідного розгляду.

Таблиця 5.7

**Ідентифікація емоційного стану пілота**

Тип діяльності	Центр розподілу випадкової величини		Розрахунок дисперсії випадкової величини			
	$X_0$	$Y_0$	$M(d^2)$	$M^2(d)$	$D$	Межі $D$ за $n = 100$
Спонтанний	0,61	0,01	1,62	0,87	0,74	0,60–0,91
Емоційний	1,31	-1,25	11,87	10,06	1,81	1,41–2,24
Розсудливий	2,11	0,03	4,81	2,67	2,14	1,51–2,32

Другий метод дисперсійного аналізу передбачає розгляд точок на графіках, як проекції випадкових двомірних векторів та їх розподіл на площині.

Густина випадкової величини  $X$ :

$$F(x) = \int_{-\infty}^{\infty} dx \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dy = \int_{-\infty}^{\infty} \{f(x, y) dy\} dx$$

Для визначення щільності розподілу однієї координати двовимірного випадкового вектора слід знайти інтеграл його щільності за змінною, яка відповідає другій координаті.

Третій метод полягає в обчисленні ймовірності потрапляння випадкової точки  $(X, Y)$  в область  $D$ , що характеризує темп та амплітуду рухів пілота:

$$P(X, Y) \in D = \iint_{(D)} f(x, y) dx dy$$

Своєчасна ідентифікація емоційного стану пілота в екстремальних умовах польоту запобігатиме розвитку ситуації до катастрофічної.

Авторами розроблено алгоритм ідентифікації поточного емоційного стану пілота із застосування методів дисперсійного аналізу. Знайдені значення дисперсій для спонтанного, емоційного та розсудливого типу психічної діяльності. Можливі відхилення елеронів моделюються за допомогою генератора випадкових чисел.

### Алгоритм

#### ідентифікації поточного емоційного стану пілота методами дисперсійного аналізу:

1. Знаходження центру розподілу випадкової величини як точки з координатами  $X_0$  і  $Y_0$ :

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}; Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n},$$

де  $X_i, Y_i$  – координати точок;  $n$  – загальна кількість точок.

2. Відстань від знайденої точки до інших точок:

$$d_i = \sqrt{(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2}.$$

3. Дисперсія випадкової величини:

$$D = M(d^2) - M^2(d),$$

$$M(d^2) = \sum_n^{i=1} d_i^2 \cdot p_i$$

$$M^2(d) = \left(\sum_n^{i=1} d_i \cdot p_i\right)^2$$

де  $M(d^2)$  – математичне очікування квадрату випадкової величини;  $M^2(d)$  – квадрат математичного очікування випадкової величини;  $p_i$  – ймовірність того, що випадкова величина буде мати саме таке значення.

Знайдені середні значення дисперсії для спонтанного, емоційного та розсудливого типу психічної діяльності:  $D_1 = 0,69$ ,  $D_2 = 3,19$ ,  $D_3 = 1,66$  відповідно. Розрахунок дисперсії за допомогою MS Excel на прикладі спонтанного типу діяльності,  $D_{1i} = 0,71929502$ .



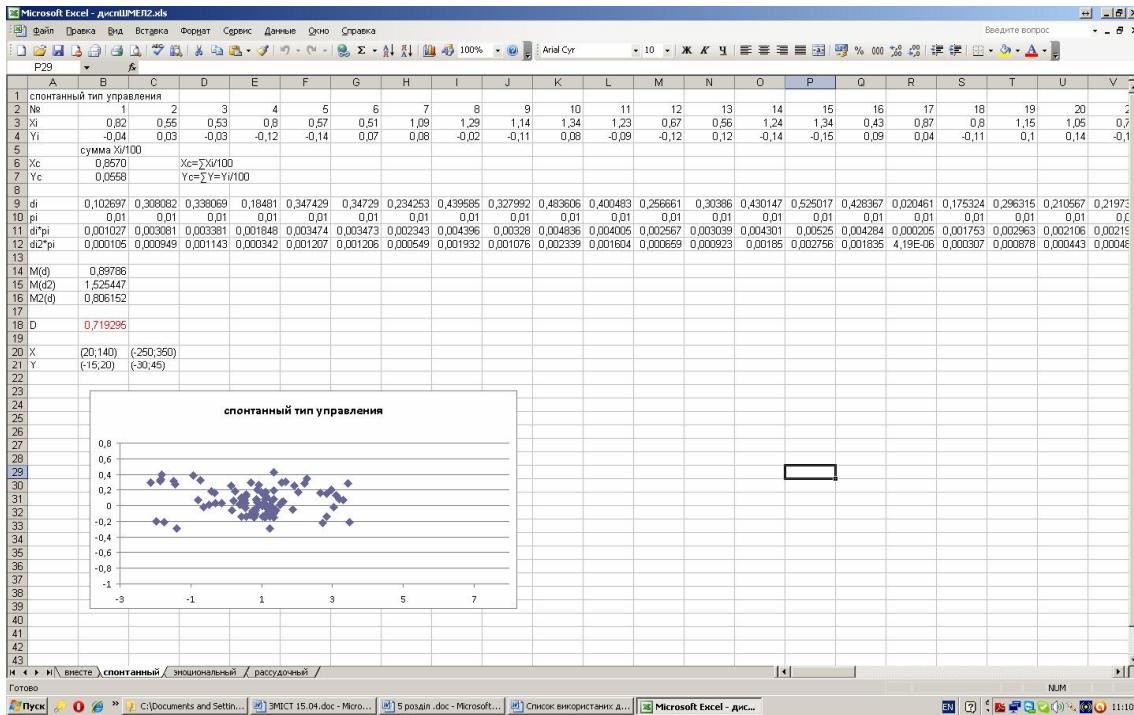


Рис. 5.7. Розрахунок дисперсії за допомогою MS Excel на прикладі спонтанного типу діяльності

### 5.2.2. Визначення стійкості аеронавігаційної системи при деформації емоційного стану пілота

Для визначення стійкості ергатичної системи «Диспетчер – Пілот – ПК» методами динамічного моделювання визначені диференційні рівняння, що характеризують динамічні якості елементів системи [169; 321].

Функціональна схема людино-машинної системи «Диспетчер – Пілот – ПК» наводиться на рис. 5.8.

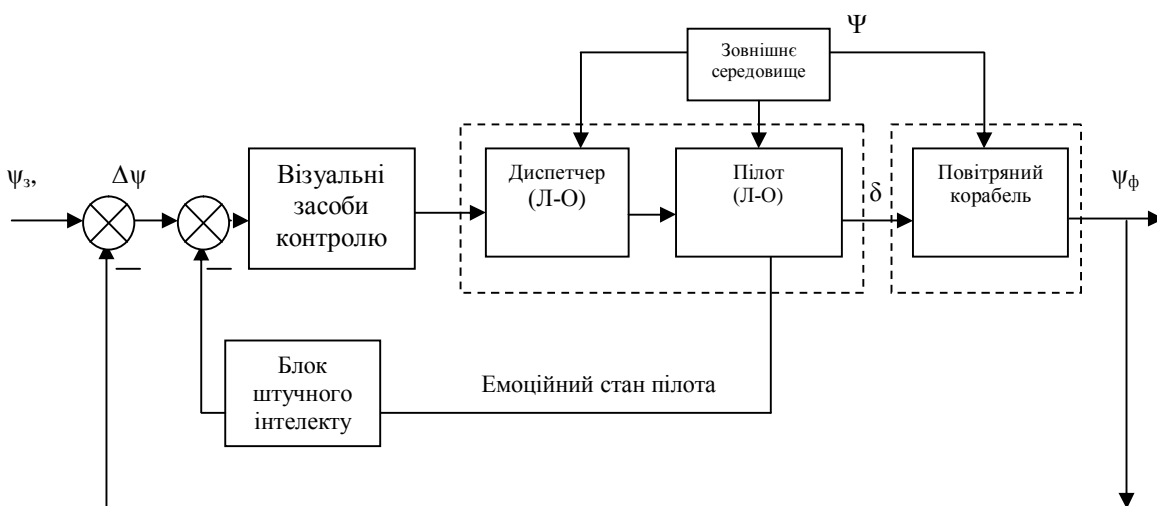


Рис. 5.8. Функціональна схема системи «Диспетчер – Пілот – ПК» обробки і подання інформації про емоційний стан пілота диспетчеру:  $\psi_z$ ,  $\psi_f$ ,  $\psi$  – задаючий, фактичний та збурюючий вплив відповідно;  $\Delta\psi$  – різниця між задаючим та фактичним сигналами;  $\delta$  – керуюча дія

Для одного з типів ПК передатна функція має такий вигляд:

$$W_{\text{ПК}}(p) = \frac{\Psi(p)}{\delta(p)} = \frac{K_{\text{ПК}}}{(T_{\text{ПК}}p + 1)p},$$

де  $T_{\text{ПК}} = 1,8$  с – стала часу ПК;  $K_{\text{ПК}} = 2,5$  с<sup>-1</sup> – коефіцієнт підсилення ПК.

Тобто ПК описується комбінацією ланок підсилення, аперіодичної та інтегруючої.

Ланка, що описує засоби контролю (індикатор), приймаємо як пропорційну з  $K_{\text{інд}} = 1$ .  
Передатна функція індикатора:

$$W_{\text{інд}}(p) = \frac{\Psi_{\text{оп}}}{\Delta\Psi} = K_{\text{інд}} = 1.$$

Для опису динамічних властивостей Л-О найбільш поширеними є квазілінійні моделі операторської діяльності людини під час виконання нею сенсомоторного спостереження, які, як правило, подані передатною функцією виду:

$$W_{\text{л-о}} = \frac{\delta(p)}{\Psi_{\text{оп}}(p)} = \frac{K_{\text{оп}}}{(T_{\text{оп}}p + 1)} e^{-\tau p},$$

де  $e^{-\tau p}$  – оператор внутрішніх «затримок» реакції людини-оператора;  $\tau$  – часова затримка сенсорної реакції Л-О;  $T_{\text{оп}}$  – нервово-м'язове запізнення;  $K_{\text{оп}}$  – коефіцієнт підсилення оператора, який залежить від часу на ПР.

Передатна функція Л-О складається з трьох послідовно з'єднаних підсилувальної ланки, аперіодичної ланки та ланки запізнювання, яка вказує на інерційні властивості Л-О як керувального пристрою. Аперіодична ланка характеризує властивості оператора накопичувати інформацію.

Для урахування емоційного стану пілота використовується пристрій діагностики в блоці штучного інтелекту (рис.5.8), передатна функція якого визначається за формулою:

$$W_D(p) = \frac{\delta'(p)}{\Psi(p)} = K_D,$$

де  $K_D = f(D)$  – залежить від поточного емоційного стану Л-О ( $D$ ).

Структурну схему ергатичної системи «Диспетчер – Пілот – ПК» показано на рис. 5.8.

Передатна функція розімкненої ергатичної системи «Диспетчер – Пілот – ПК» визначається за формулами:

$$\begin{aligned} W_{\text{раз}}(p) &= W_{\text{оп}}(p)W_{\text{ПК}}(p)W_D(p) = \frac{K_{\text{оп}}K_{\text{ПК}}K_D e^{-\tau p}}{(T_{\text{оп}}p + 1)(T_{\text{ПК}}p + 1)p} \\ W_{\text{раз}}(p) &= \frac{2 \cdot 2,5K_D}{(0,125p + 1)(1,8p + 1)p} e^{-0,15p} = \frac{5K_D}{(0,125p + 1)(1,8p + 1)p} e^{-0,15p} = \\ &= \frac{5K_D}{0,225p^3 + 1,925p^2 + p} e^{-0,15p} \end{aligned}$$

де постійні часу і коефіцієнти:  $K_{\text{оп}} = 2$ ;  $\tau = 0,15$  с;  $T_{\text{оп}} = 0,125$  с;  $K_{\text{ПК}} = 2,5$  с<sup>-1</sup>;  $T_{\text{ПК}} = 1,8$  с;  $K_D = f(D) = \text{var}$ .

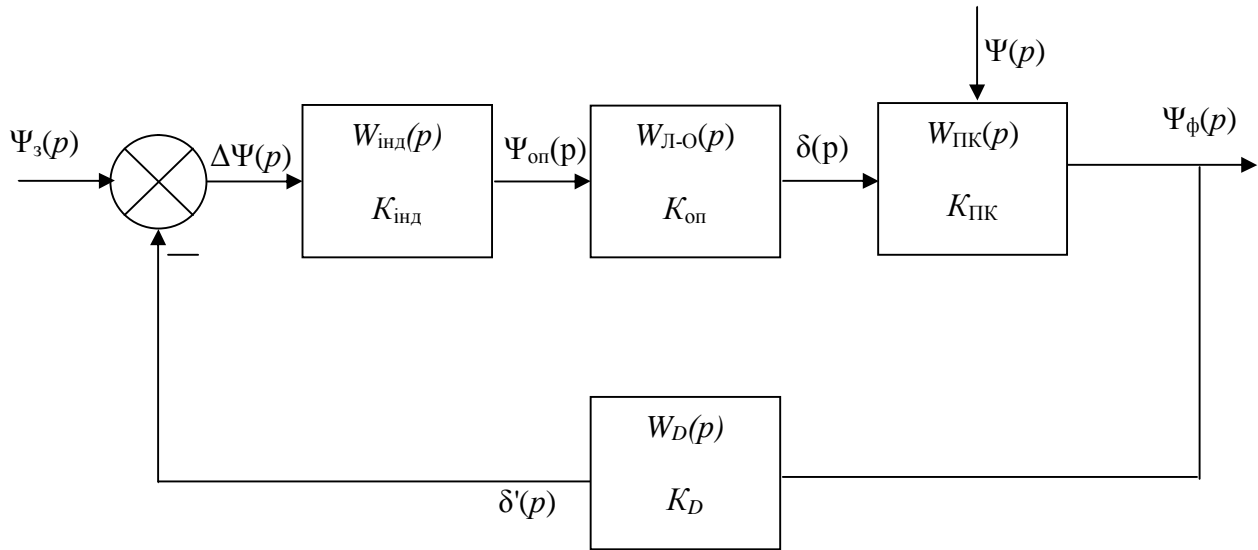


Рис. 5.8. Структурна схема ергатичної системи «Диспетчер – Пілот – ПК»

Визначена стійкість ергатичної системи «Диспетчер – Пілот – ПК» за критерієм Найквіста у разі деформації емоційного досвіду. Згідно з критерієм Найквіста для того, щоб замкнена система була стійкою, необхідно і достатньо, щоб годограф Найквіста (амплітудно-фазочастотна характеристика (АФЧХ)) розімкненої системи не охоплював точку з координатами  $(-1, j0)$ .

Заміною  $p$  на  $jw$ , отримуємо частотну передатну функцію (без врахування запізнення в системі):

$$W_{\text{раз}}(jw) = \frac{5K_D}{(0,225(jw)^3 + 1,925(jw)^2 + jw)} \cdot \frac{5K_D}{(-0,225jw^3 - 1,925w^2 + jw)} \cdot \frac{5K_D}{(-1,925w^2 + j(w - 0,225w^3))};$$

$$W_{\text{раз}}(jw) = \frac{5 \cdot (-1,925w^2 - j(w - 0,225w^3))K_D}{(1,925^2w^4 + (w - 0,225w^3)^2)} \cdot \frac{-5 \cdot 1,925w^2 - 5jw + 5 \cdot j \cdot 0,225w^3}{1,925^2w^4 + w^4 - 2 \cdot 0,225w^4 + 0,225^2w^6} K_D =$$

$$= \frac{-9,625w^2 - 5jw + 1,125jw^3}{0,225^2w^6 + 3,25w^4 + w^2} K_D \cdot \frac{-9,625w^2}{0,05w^6 + 3,25w^4 + w^2} K_D + j \frac{1,225w^3 - 5w}{0,05w^6 + 3,25w^4 + w^2} K_D = U(w) + jV(w),$$

де  $U(w)$  – дійсна частина АФЧХ;  $V(w)$  – уявна частина АФЧХ.

Розроблений алгоритм розрахунку годографа Найквіста (із запізненням) для діагностики емоційного стану Л-О і визначення стійкості ергатичної системи «Диспетчер – Пілот – ПК» при деформації емоційного досвіду при виникненні позаштатної ситуації в польоті.

### Алгоритм розрахунку годографа Найквіста для діагностики емоційного стану Л-О і визначення стійкості ергатичної системи «Диспетчер – Пілот – ПК»:

1. Амплітудно-фазова характеристика розімкненої системи:

$$W_{\text{раз}}(jw) = W_{\text{раз}}^*(jw) e^{-\tau jw} = A(w) e^{j(\phi(w) - w\tau)} U(w) + jV(w)$$

2. Дійсна частина  $U(w)$ :

$$U(w) = \frac{-9,625w^2}{0,05w^6 + 3,25w^4 + w^2}.$$

3. Уявна частина  $V(w)$ :

$$V(w) = \frac{1,225w^3 - 5w}{0,05w^6 + 3,25w^4 + w^2}.$$

4. Амплітудно-частотна характеристика розімкненої системи  $A(w)$ :

$$A(w) = \sqrt{U^2(w) + V^2(w)}.$$

5. Фазочастотна характеристика,  $\varphi(w)$ , рад:

$$\varphi(w) = \operatorname{arctg} \frac{V(w)}{U(w)} = -\operatorname{arctg} T\omega.$$

6. Фазочастотна характеристика,  $\varphi(w)$ , град.:

$$\varphi'(w) = -180^\circ - \varphi(w).$$

7. Запізнення, рад:  $\tau w = 0,15w$ , де  $\tau = 0,15$  с.

8. Запізнення, град.:  $\tau w = 0,15w$ , де  $\tau = 0,15$  с.

9. Кут запізнення в полярних координатах:

$$\varphi''(w), \text{ град.: } \varphi''(w) = \varphi'(w) + \tau w = -180^\circ - \varphi(w) + \tau w = -180^\circ - \varphi(w) + 0,15w.$$

10. Модуль  $\varphi''(w)$ , град.

11. Модуль  $\varphi''(w)$ , рад.

$$\varphi''(w), \text{ рад.}$$

12. Дійсна частина годографа Найквіста (із запізненням):

$$U'(w) = A(w) \cdot \cos|\varphi''(w)|.$$

13. Уявна частина нового годографа (із запізненням):

$$V'(w) = A(w) \cdot \sin|\varphi''(w)|.$$

14. Годографи Найквіста за типом психічної діяльності для діагностики емоційного стану Л-О і визначення стійкості ергатичної системи «Диспетчер – Пілот – ПК» при деформації емоційного досвіду (рис. 5.10): спонтанний  $K_D(D_1)=0,69$ ; емоційний  $K_D(D_2)=3,19$ ; розсудливий  $K_D(D_3)=1,66$ .

Поточний емоційний стан пілота діагностується методами дисперсійного аналізу на основі отриманих моделей спонтанного (оптимального), емоційного та розсудливого типів діяльності Л-О. Спонтанний (оптимальний) тип керування ПК та деформації емоційного досвіду пілота, тобто, перехід до небезпечного типу керування (емоційного) наведено на рис. 5.10 і 5.11. Функціональна стійкість Л-О оцінюється за критерієм Найквіста. Для спонтанного (оптимального) типу керування ПК годограф Найквіста не охоплює критичну точку  $(-1;j0)$  і система "Л-О – ПК" є стійкою. Годограф Найквіста у разі емоційного типу керування ПК охоплює критичну точку  $(-1;j0)$ , що свідчить про нестійкість системи "Л-О – ПК" (рис. 5.11).

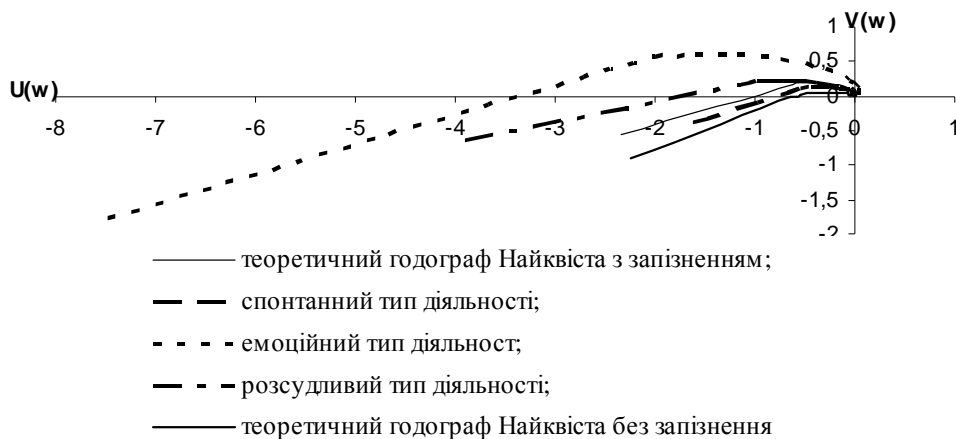


Рис.5.10. Годографи Найквіста для діагностики емоційного стану Л-О і визначення стійкості ергатичної системи «Диспетчер – Пілот – ПК» у разі деформації емоційного досвіду

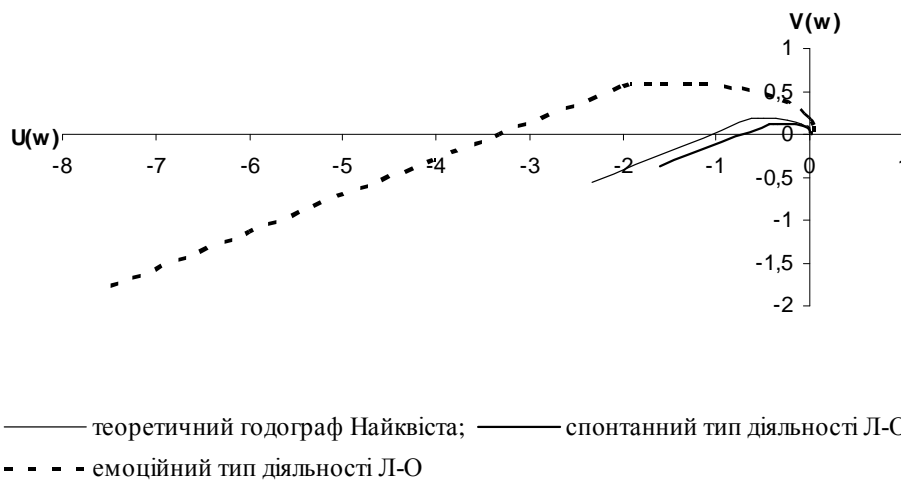


Рис. 5.11. Розрахунок стійкості системи «Л-О – ПК» для емоційного типу керування ПК

Моніторинг поточного емоційного стану Л-О і діагностика деформацій емоційного досвіду у вигляді переходів до небезпечних типів діяльності Л-О (розсудливого чи емоційного) в екстремальних ситуаціях та визначення функціональної стійкості Л-О дозволить своєчасно попередити розвиток польотної ситуації в бік погіршення.

Розробка може мати суттєвий інтерес для авіакомпаній, які прагнуть досягти високої якості моніторингу за програмою LOSA.

### **Висновки**

1. З позицій системного підходу визначено типи особистостей авіаційних фахівців та їх взаємодії в процесі виконання професійних завдань у складі малої групи на прикладі диспетчерської зміни.

2. Виконано кореляційний аналіз соціометричних та соціонічних показників, визначено тісноту зв'язків між рівнями взаємодії особистості авіаційного фахівця.

3. Проведено діагностику емоційного стану Л-О АНС за допомогою методів дисперсійного аналізу. Отримано моделі деформації емоційного стану Л-О АНС у разі виникненні ОВП.

4. Визначено стійкість АНС у разі відхилення емоційного стану психічної діяльності Л-О від оптимального.

## 6. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ОПЕРАТОРОМ АЕРОНАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

### 6.1. Інформаційно-аналітичний діагностичний комплекс для дослідження поведінки оператора аеронавігаційної системи при керуванні повітряним кораблем в екстремальних умовах

Метою використання розробленого інформаційно-аналітичного діагностичного комплексу для дослідження закономірностей діяльності Л-О АНС є:

– дослідження закономірностей діяльності Л-О АНС під час керуванні ПК в екстремальних умовах;

– дослідження взаємодії операторів у процесі виконання ними професійних обов'язків.

Інформаційно-аналітичний діагностичний комплекс для дослідження закономірностей діяльності Л-О АНС включає в себе:

1. Спеціалізований програмний комплекс «Підказка» для інформаційної підтримки оператора з метою прийняття ним оперативного своєчасного рішення щодо вибору оптимальної стратегії завершення польоту в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки ПК.

2. Програмний комплекс оцінювання психофізіологічних властивостей Л-О за допомогою комп'ютерної програми «Діагностика емоційного стану людини-оператора».

3. Автоматизований модуль «Діагностика соціонічної моделі Л-О» для визначення соціонічної моделі людини-оператора в процесі виконання ним професійних обов'язків.

Програми, що входять у склад інформаційно-аналітичного діагностичного комплексу, є самостійним програмним забезпеченням; для їх функціонування немає потреби в наявності інших програмних продуктів [62].

#### 6.1.1. Комп'ютерна програма оптимізації вибору альтернативного варіанта завершення польоту повітряного корабля в позаштатних ситуаціях «Підказка»

Позаштатні польотні ситуації, особливо ті, що потребують вимушеної посадки (пожежа на ПК, часткова або повна втрата тяги силової установки, повне вироблення палива на борту ПК тощо), поряд із жорстким лімітом часу на ПР і напруженим психофізіологічним станом оператора характеризуються високим рівнем неповноти і невизначеності інформації. У таких ситуаціях актуальним є кількісне оцінювання можливих варіантів завершення польоту, що дозволяє авіаційному оператору вибрати стратегію дій з мінімальним рівнем потенційного збитку. Пошук ефективного рішення в подібних умовах потребує оброблення значної кількості додаткової інформації щодо об'єкта управління (ПК) і зовнішнього середовища (зони УПР).

**Основні завдання програмного комплексу.** Спеціалізований програмний комплекс «Підказка» був побудований для інформаційної підтримки Л-О АНС з метою прийняття ним оперативного своєчасного рішення щодо вибору оптимальної стратегії завершення польоту в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки ПК.

Програмний комплекс «Підказка» дозволяє:

– видавати рекомендації щодо можливості подальшого продовження польоту або потреби виконання вимушеної посадки ПК за допомогою зручного для користувача інтерфейсу;

– визначати область досяжності ПК у випадку необхідності виконання вимушеної посадки;

– формувати оцінку потенційних альтернатив завершення польоту і визначати оптимальний варіант за критерієм мінімізації потенційного збитку.

**Вхідні дані для роботи програми.** Програмний комплекс розроблений за допомогою візуальної системи програмування Delphi 5, що базується на спеціальній версії мови програмування Паскаль – Object Pascal – і підтримує основні принципи об'єктно-орієнтованого програмування. Особливістю реалізації програмного комплексу є використання технології BDE (Borland Database Engine) – інтегрованого в Delphi ядра процесора БД Borland, що не потребує багато ресурсів, зручний у використанні та має прямий доступ до локальних БД комплексу

dBase 4. Вхідними даними для роботи програми є інформація, що зберігається в локальних БД програмного комплексу dBase 4. Програмою «Підказка» реалізовано підсистеми формування стратегії дій, прогнозування розвитку ситуації, визначення характеристик альтернативних варіантів завершення польоту, оцінки ефективності потенційних альтернатив і формування оптимального рішення. Структуру програмного забезпечення комплексу «Підказка» наведено на рис. 6.1.

#### **Опис функціональних можливостей програмного комплексу «Підказка»:**

**1. Реалізація підсистеми формування стратегії дій.** Програмою «Підказка» реалізовано розв'язання двох позаштатних ситуацій – *відмови двигуна* та *пожежі на ПК*. У разі отримання системою повідомлення про виникнення позаштатної ситуації на моніторі оператора з'являється додаткова панель для видачі рекомендацій щодо можливості продовження польоту або необхідності виконання вимушеної посадки. Для вибору типу ситуації – відмови двигуна – вводиться кількість двигунів, які відмовили, у разі виборі пожежі – стан ПК, і на моніторі з'являється відповідна рекомендація (рис. 6.2).

**2. Реалізація підсистем прогнозування розвитку ситуації, визначення характеристик альтернативних варіантів завершення польоту, оцінки ефективності потенційних альтернатив і формування оптимального рішення.** У разі отримання рекомендації щодо необхідності виконання вимушеної посадки на моніторі будується область досяжності ПК і відображаються оцінки потенційного збитку при виборі певної альтернативи завершення польоту. Програмою реалізовано побудову області досяжності для двох крайніх випадків – режиму планування (рис. 6.3) і режиму екстреного зниження (рис. 6.4). Варіант з мінімальним збитком виділений червоним кольором і більш великим шрифтом. Час, що витрачається системою на оцінку потенційного збитку, для режиму планування становить 5 с, для режиму екстреного зниження – 7 с. Різниця в часі пояснюється більш складним алгоритмом визначення області досяжності під час виконання екстреного зниження ПК.

Проведені дослідження ефективності застосування програмного комплексу «Підказка» в умовах моделювання позаштатних польотних ситуацій на базі тренажерного центру управління УПР Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету показали скорочення на 20% рівня потенційного збитку та зменшення на 5 с часу прийняття оптимального рішення при виборі альтернативного варіанта завершення польоту.

Програмний комплекс «Підказка» рекомендований до використання навчальними закладами, які проводять підготовку спеціалістів з ОПР. Програма «Підказка» дозволяє вдосконалити оцінку якості підготовки операторів аеронавігаційної системи до дій в позаштатних ситуаціях польоту завдяки використанню в якості критерію для оцінки помилковості дій людини-оператора ступеня ризику виникнення небажаних наслідків в результаті реалізації оператором певного рішення на кожному кроці виконання відповідного завдання. Програмний комплекс «Підказка» також може використовуватись у складі діючої автоматизованої системи управління повітряним рухом як система підтримки ПР авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях на базі регіональних структурних підрозділів Державного підприємства обслуговування повітряного руху України «Украерорух». Використання програми «Підказка» в якості СППР дозволить підвищити ефективність обслуговування повітряного руху в позаштатних польотних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки ПК, за рахунок оптимізації оцінювання ризику прийняття рішення авіадиспетчером та своєчасності формування рішень щодо вибору оптимальної альтернативи завершення польоту.

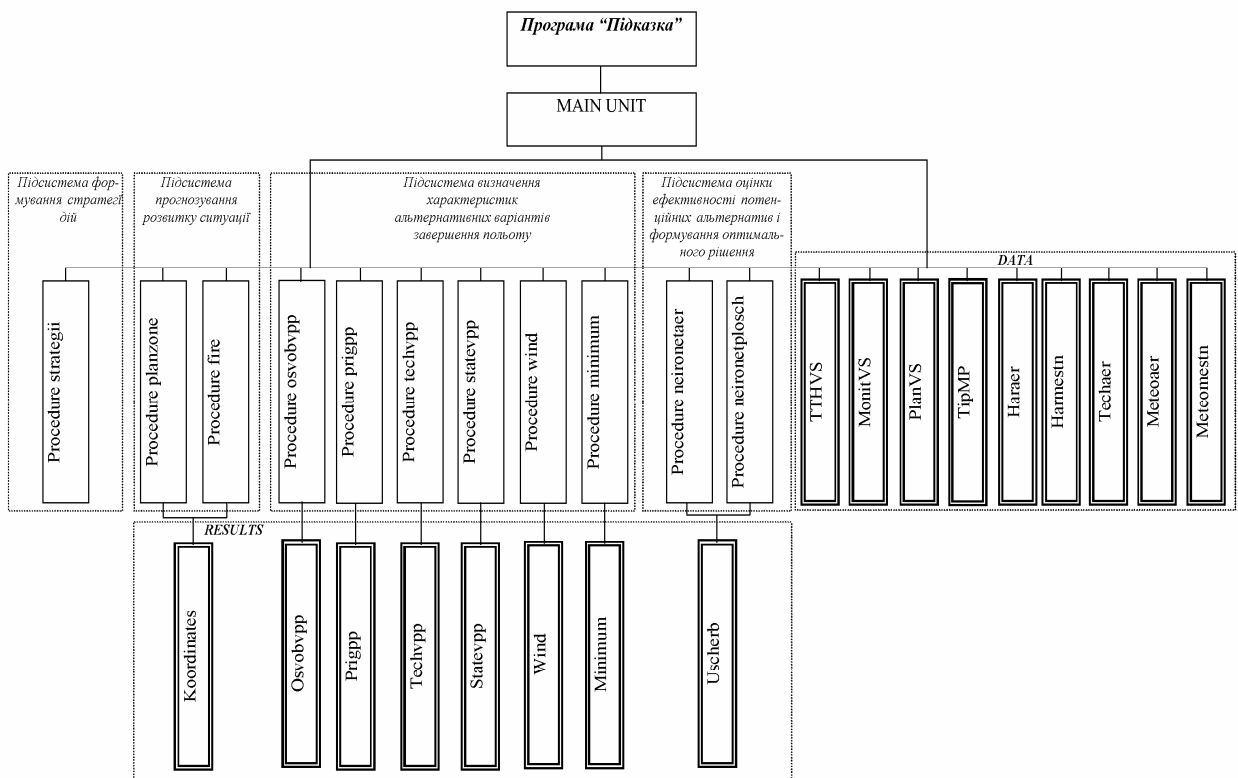


Рис. 6.1. Структура програмного забезпечення комплексу «Подказка»

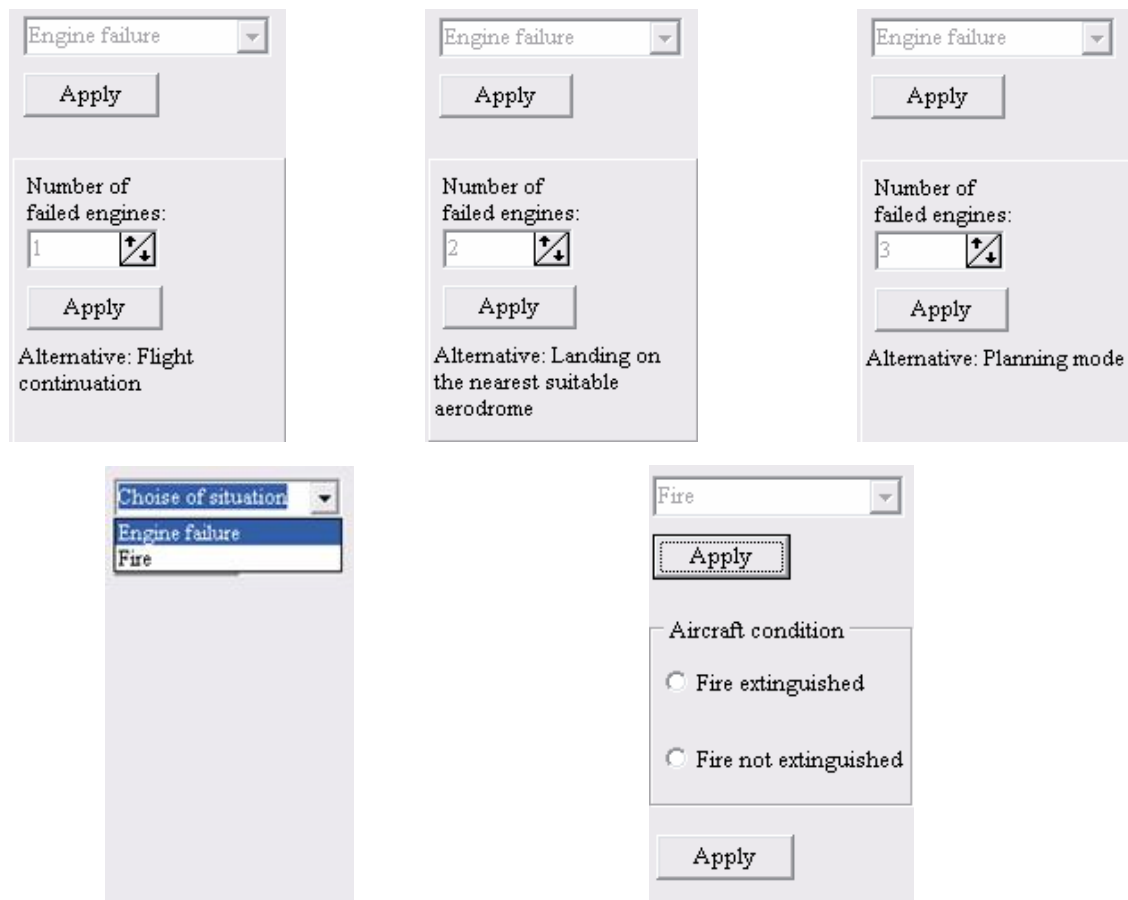


Рис. 6.2. Реалізація підсистеми формування стратегії дій



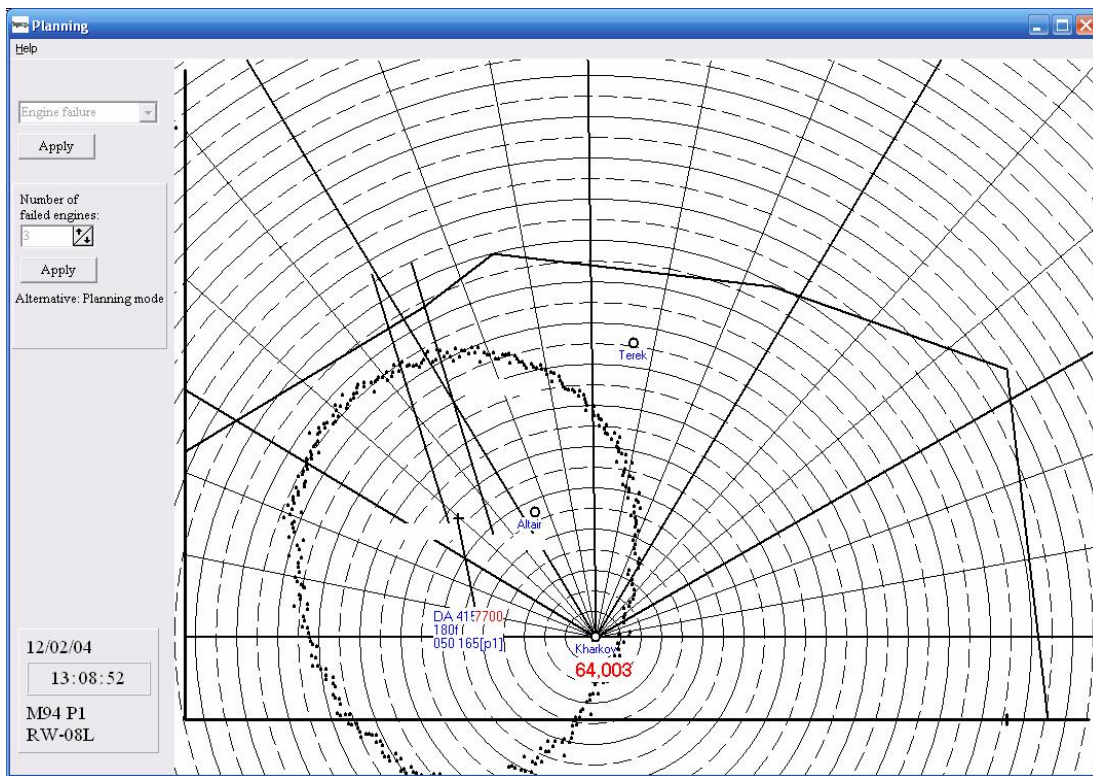


Рис. 6.3. Область досяжності й визначений потенційний збиток для декількох варіантів завершення польоту у випадку повної відмови двигунів на ПК

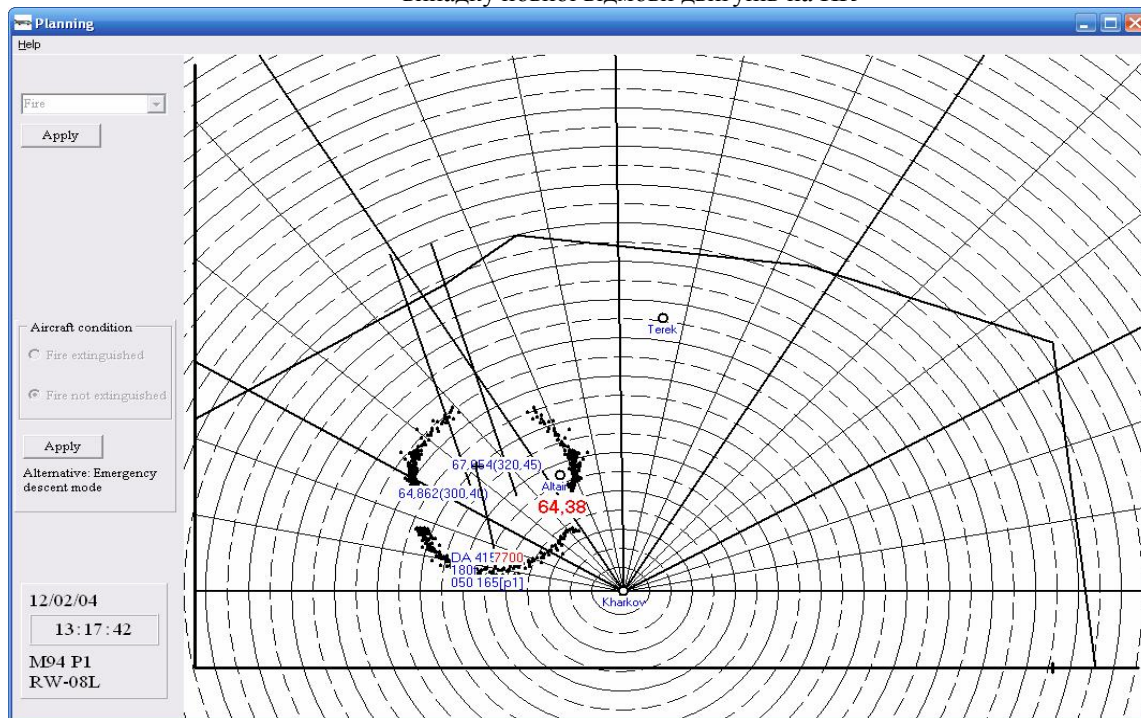


Рис. 6.4. Область досяжності й визначений потенційний збиток для декількох варіантів завершення польоту у випадку неліквідованої пожежі на ПК

### 6.1.2. Комп'ютерна програма «Діагностика емоційного стану людини-оператора»

Згідно з документами, що регламентують льотну експлуатацію і УПР, остаточне рішення у разі виникнення позаштатних ситуацій приймає командир ПК. Але в зв'язку з великою часткою прийняття екіпажем ПК неадекватних рішень, що складає 90% причин авіаційних подій у світі

для всіх типів ПК, відповідальність за своєчасні й вірні рекомендації в позаштатних ситуаціях покладено на авіадиспетчера. Для цього важливо диспетчеру володіти оперативною інформацією щодо:

- розвитку позаштатної ситуації;
- поточного емоційного стану Л-О, що керує ПК;
- кількісної оцінки прогнозу щодо розвитку позаштатної ситуації з урахуванням можливостей Л-О, що діє в екстремальних умовах.

Найбільш поширеними засобами оцінки стану роботи пілота є параметри пілотування (відхилення елеронів, руля напрямку тощо) та переговори в кабіні екіпажу, тобто, радіообмін між пілотом та диспетчером. Більш доступними є параметри пілотування, які реєструються сучасними засобами.

Темп і амплітуда рухів пілота у процесі керування ПК, які змінюються з ростом емоційної напруги, є показником його емоційного стану. Для визначення поточного емоційного стану пілота в умовах розвитку польотних ситуацій застосовувалася концепція психічної діяльності людини, в основу якої покладено відому властивість свідомості людини затримувати або прискорювати плин суб'єктивного часу відносно реального часу. Існує три типи емоційної діяльності Л-О:

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

**Основні завдання програмного комплексу.** Комп'ютерна програма «Діагностика емоційного стану людини-оператора» розроблена для діагностичного модуля, який входить до програмного комплексу оцінювання психофізіологічних властивостей Л-О. Діагностичний модуль призначений для оперативного визначення деформацій емоційного досвіду пілота та випередження прийняття ним рішення в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК. Особливо важливим є моніторинг емоційного стану Л-О в процесі діяльності в ОВП.

Програмний комплекс оцінювання психофізіологічних властивостей Л-О за допомогою комп'ютерної програми «Діагностика емоційного стану Л-О» дозволяє:

1. Диференціювати та визначити поточний емоційний стан Л-О за амплітудою та темпом відхилення елеронів і руля напрямку.
2. Діагностувати спонтанне (оптимальне) пілотування, яке характеризується правильністю та своєчасністю дій пілота.
3. Здійснювати моніторинг дій Л-О, діагностувати підвищення емоційної напруги у разі виникнення позаштатної ситуації шляхом визначення деформацій емоційного досвіду пілота, тобто, переходу до потенційно небезпечних видів психічної діяльності:
  - емоційної з випередженням дій відносно реального часу;
  - розсудливої із запізненням дій відносно реального часу.
4. Визначати стійкість системи «Л-О – ПК» та оцінювати функціональну стійкість Л-О.

**Вхідні дані.** Автоматизований модуль розроблений за допомогою інтегрованого середовища розробки Borland Delphi 7 з використанням мови програмування Object Pascal, що підтримує основні принципи об'єктно-орієнтованого програмування. Особливістю реалізації програмного комплексу є використання системи управління БД (СУБД) Interbase 6 від компанії Borland.

Структура програмного забезпечення комплексу «Діагностика емоційного стану Л-О» наводиться на рис. 6.5. Програмою «Діагностика емоційного стану Л-О» реалізовано підсистему формування сигналів, моделювання емоційних станів Л-О, діагностики стану Л-О.

#### **Опис функціональних можливостей програмного комплексу:**

**1. Реалізація підсистеми формування сигналів.** Дії пілота в оптимальному (спонтанному), емоційному та розсудливому режимах діяльності в реальному часі визначені фазовими траєкторіями відхилень елеронів і руля напрямку, отриманих за допомогою засобів об'єктивного контролю. Для діагностики емоційного досвіду Л-О в навчальній програмі замість координат реальних рухів елеронів і руля напрямку застосовується генератор випадкових чисел.

**2. Реалізація підсистеми моделювання емоційних станів Л-О.** Апріорні моделі спонтанного (оптимального), емоційного та розсудливого типів діяльності Л-О визначені за графіками, отриманими МАК на основі апостеріорних досліджень фактичного матеріалу розслідування авіаційних подій. На рис. 6.6 зображено визначення спонтанного типу керування ПК, який характеризується правильністю та своєчасністю дій пілота в особливій ситуації. Діагностику деформації емоційного досвіду Л-О (перехід до емоційного типу керування ПК), який відноситься до потенційно небезпечних видів психічної діяльності і характеризується ростом емоційної напруги з випередженням дій відносно реального часу наведено на рис. 6.7, діагностику деформації емоційного досвіду Л-О (перехід до розсудливого типу керування ПК), який також відноситься до потенційно небезпечних видів психічної діяльності і характеризується ростом емоційної напруги з запізненням дій відносно реального часу – на рис. 6.8.

**3. Реалізація підсистеми діагностики стану Л-О.** Діагностика поточного емоційного стану пілота проводиться методами дисперсійного аналізу на основі отриманих моделей спонтанного (оптимального), емоційного та розсудливого типів діяльності Л-О (рис. 6.6–6.8). Оцінювання функціональної стійкості Л-О визначається за критерієм Найквіста. Для спонтанного (оптимального) типу керування ПК годограф Найквіста не охоплює критичну точку  $(-1;j0)$  і система «Л-О – ПК» є стійкою (рис. 6.9). Годограф Найквіста при розсудливому та емоційному типах керування ПК охоплює критичну точку  $(-1;j0)$ , що свідчить про нестійкість системи «Л-О – ПК» (рис. 6.10–6.11).

**4. База даних емоційного стану Л-О.** База даних емоційного стану Л-О містить інформацію про поточний емоційний стан пілота, нормативні моделі емоційного стану Л-О і його психофізіологічні характеристики, а також відповідні характеристики польотних ситуацій (нормальної, ускладненої, складної, аварійної, катастрофічної).

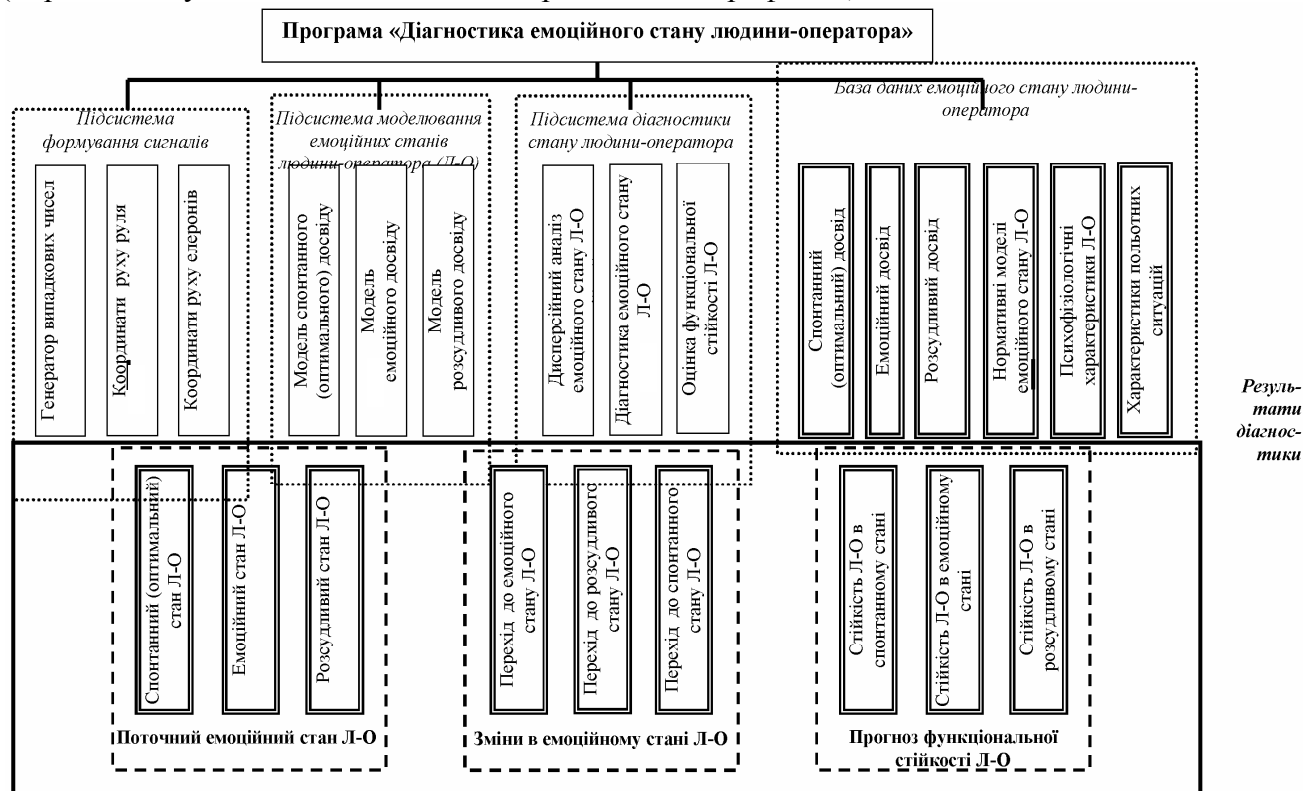


Рис. 6.5. Структура програмного забезпечення комп'ютерної програми «Діагностика емоційного стану Л-О»

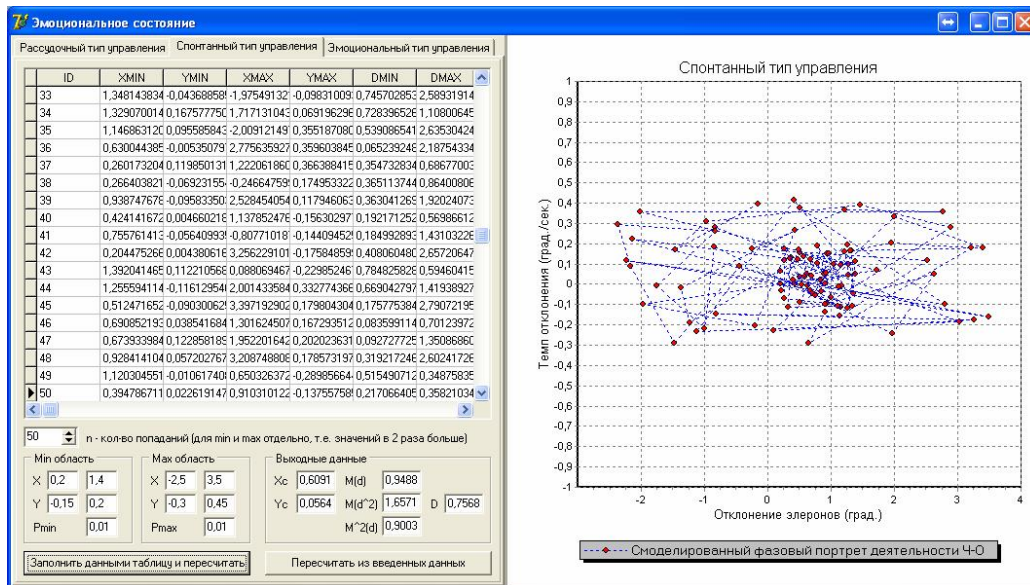


Рис. 6.6. Диагностика спонтанного досвіду Л-О

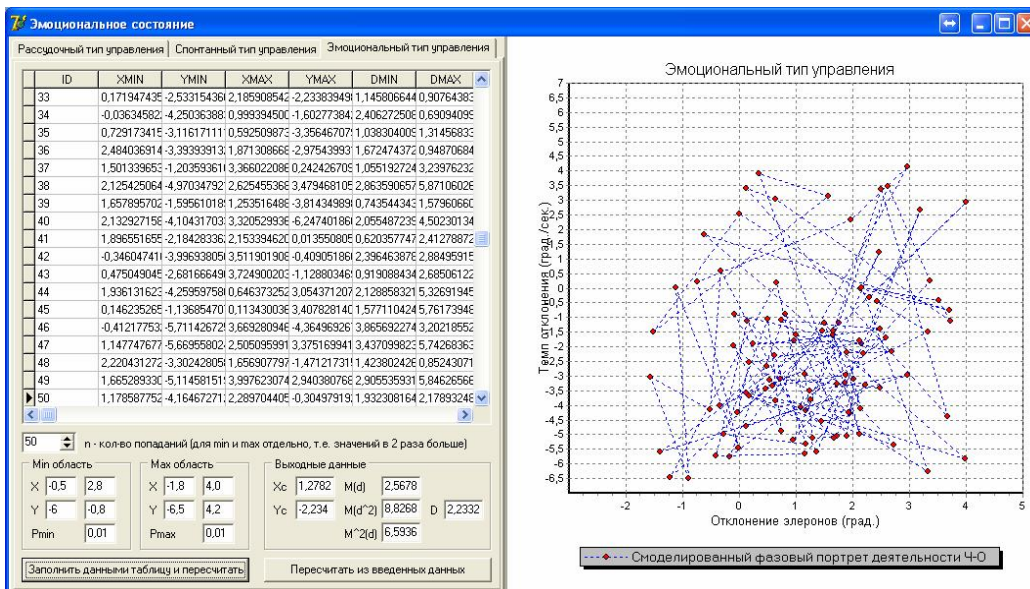


Рис. 6.7. Диагностика деформації емоційного досвіду Л-О (перехід до емоційного типу керування ПК)

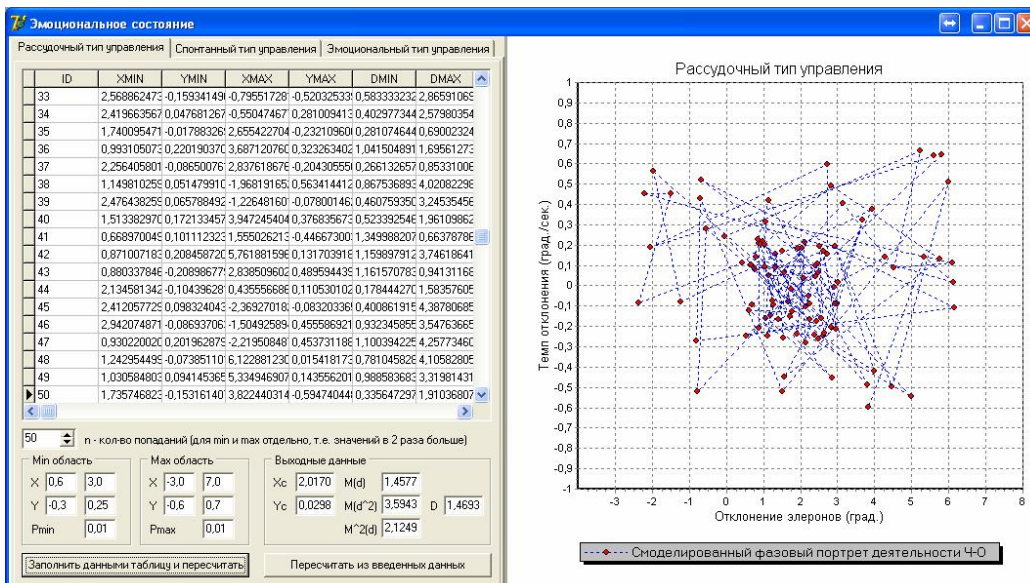


Рис.6.8. Диагностика деформації емоційного досвіду Л-О (перехід до розсудливого типу керування ПК)

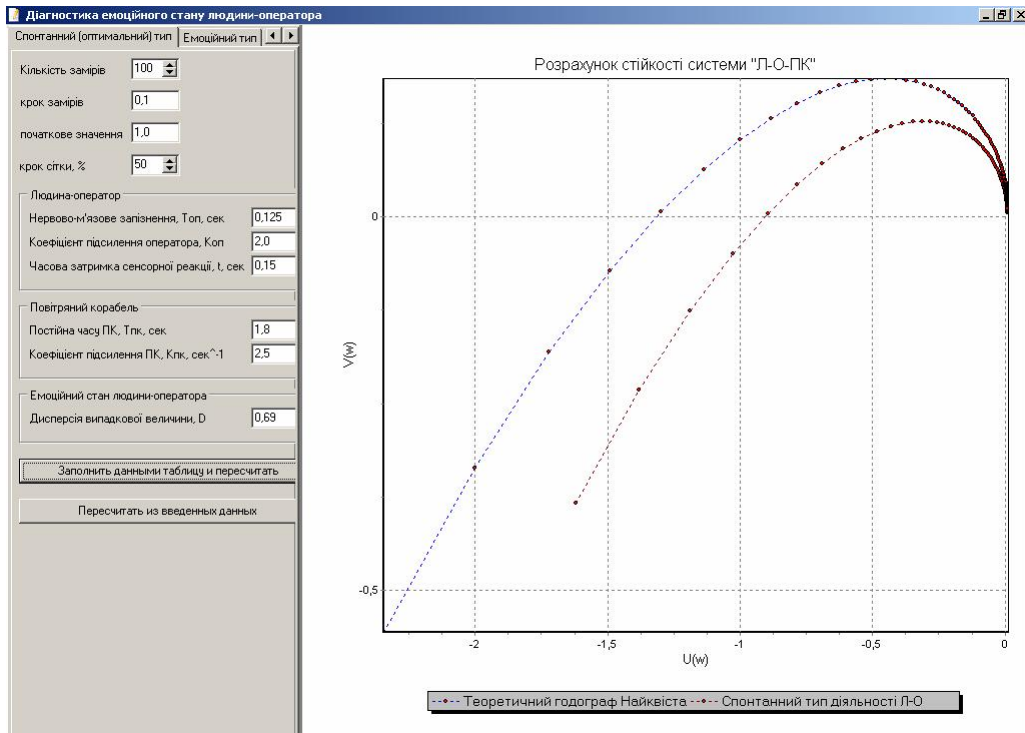


Рис. 6.9. Розрахунок стійкості системи «Л-О – ПК» для спонтанного (оптимального) типу керування ПК

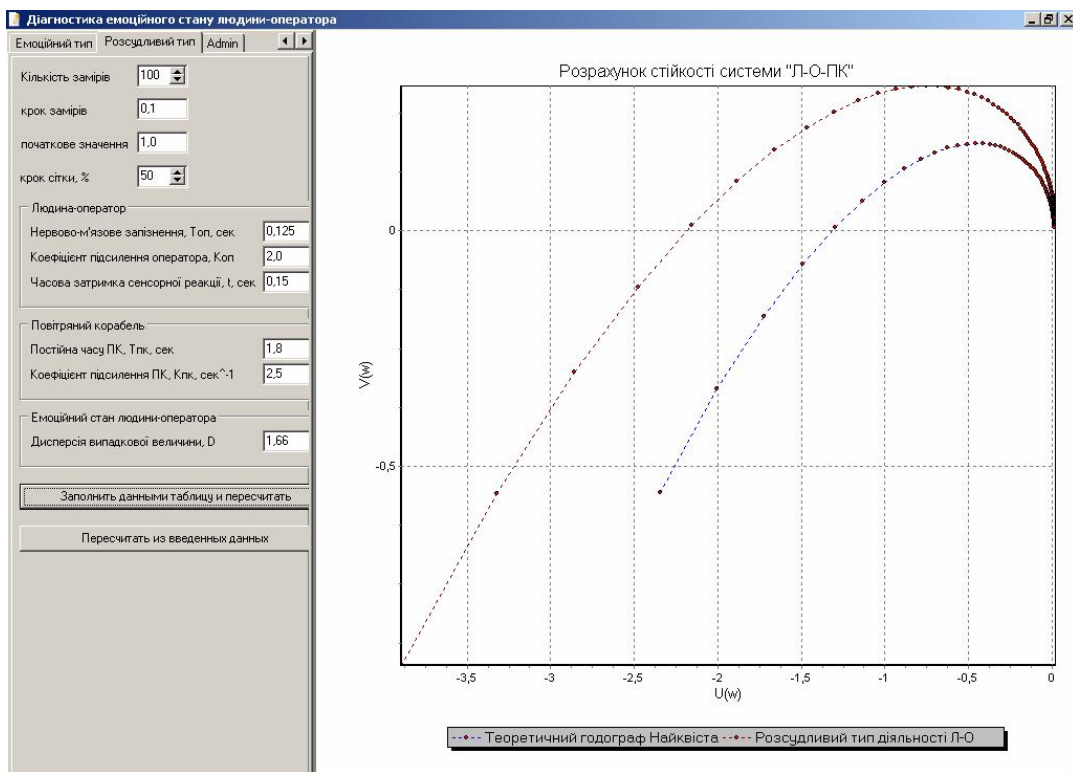


Рис.6.10. Розрахунок стійкості системи «Л-О – ПК» для розсудливого типу керування ПК

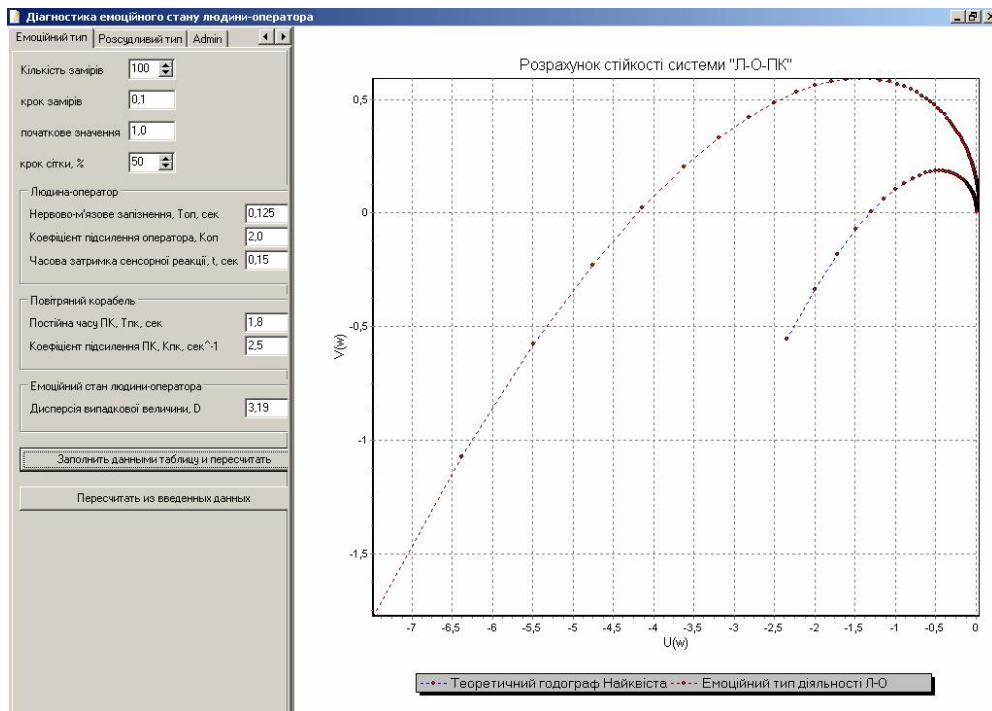


Рис.6.11. Розрахунок стійкості системи «Л-О – ПК» для емоційного типу керування ПК

**5. Результати діагностики.** Блок результатів діагностики містить інформацію про поточний емоційний стан Л-О, зміни в емоційному стані Л-О та прогноз функціональної стійкості Л-О. Комп'ютерна програма «Діагностика емоційного стану людини-оператора» призначена для збору даних про роботу екіпажу, аналізу дій людини-оператора і прогнозування його функціональної стійкості. 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. Моніторинг поточного емоційного стану Л-О і діагностика деформацій емоційного досвіду у вигляді переходів до небезпечних типів діяльності Л-О (розсудливого чи емоційного) в екстремальних ситуаціях та визначення функціональної стійкості Л-О дозволить своєчасно попередити розвиток польотної ситуації в сторону погіршення. Розробка може мати суттєвий інтерес для авіакомпаній, які прагнуть досягти високої якості моніторингу за програмою LOSA.

### 6.1.3. Комп'ютерна програма «Діагностика соціонічної моделі людини-оператора»

Статистичні дані про авіаційні події за останні десятиліття вказують на домінуючу роль впливу людського фактора на загальну кількість АП, що становить близько 80%. 7% причин АП, що виникають з вини людського фактору, складають порушення взаємодії між членами екіпажу ПК. Значна кількість інцидентів і випадків пошкодження ПК на землі (до 34%) також пов'язана з порушеннями взаємодії в різних колективах авіаційних фахівців, які забезпечують виконання польотів. Причини більшості авіаційних подій пов'язані з психологією авіаційних спеціалістів та потребують відповідного розгляду. На даний момент комплектування льотних екіпажів та інших колективів авіаційних фахівців документами не регламентується. Сумісна діяльність грає важливу роль в 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 тип особистості. Не зважаючи на безліч методик для оцінки та підвищення ефективності діяльності льотного складу, в Україні практично не використовуються соціонічний підходи до комплектування льотних екіпажів, диспетчерських змін та інших колективів авіаційних фахівців.

На разі поширення набувають соціонічні моделі людини, які дають змогу отримати кількісні оцінки впливу людського фактора. З метою оцінки динаміки змін кількісних і якісних соціонічних показників авіаційних фахівців в їх процесі професійної підготовки і професійної діяльності доцільно застосування автоматизованої діагностики.

**Основні завдання автоматизованого модуля.** Для визначення соціонічних характеристик авіаційних фахівців на основі опитувальника ММ-1 створено автоматизований модуль «Діагностика соціонічної моделі Л-О», який використовується в тренажерно-навчальній системі для реалізації індивідуального підходу в навчанні з урахуванням типу особистості студента.

Автоматизований модуль «Діагностика соціонічної моделі людини-оператора» дозволяє:

1. За допомогою тесту ММ-1 визначити соціонічний тип Л-О – ТІМ.
2. Визначити тип оператора за ПД «екстраверсія-інтроверсія», «етика-логіка», «сенсорика-інтуїція», «раціональність-ірраціональність».
3. За критерієм енерговитрат визначити коефіцієнти видів професійної діяльності Л-О: науково-дослідної, гуманітарно-мистецька, соціально-комунікативної, техніко-управлінської.

Застосування автоматизованого модуля в авіаційній тренажерно-навчальній системі дозволяє проводити оперативну психодіагностику слухачів в процесі виконання ними вправ різної складності індивідуально і в групі, а також досліджувати типологічні зміни соціомоделей Л-О.

**Вхідні дані.** Комп'ютерна програма розроблена за допомогою мови високого рівня Object Pascal в середовищі Lazarus з використанням компілятора Free Pascal. Вхідними даними для роботи програми є інформація, що зберігається в локальних базах даних текстового формату. Структура програмного забезпечення автоматизованого модуля «Діагностика соціонічної моделі Л-О» наводиться на рис. 6.12.

#### **Опис функціональних можливостей автоматизованого модуля:**

**1. Реалізація підсистеми визначення ТІМ Л-О.** В основі автоматизованого модуля для визначення соціонічного портрету людини-оператора лежить метод тестування за допомогою тесту ММ-1 (Малишевський О.В., Михайлик М.Ф.). Тест ММ-1 складається з трьох блоків, кожний з яких містить 10 питань. Питання має два полюси відповідей: лівий та правий. При відповіді на питання опитуваний визначає перевагу до одного з полюсів, двигаючи курсором вліво чи вправо. На рис. 6.13 зображено інтерфейс першого блоку питань, за результатами відповідей яких розраховується ПД Л-О: «екстраверт» чи «інтроверт». На рис. 6.14 представлено інтерфейс другого блоку питань, за яким визначається ПД «логіка-етика». Інтерфейс третього блоку питань наведено на рис. 6.15 («сенсорика-інтуїція»). Визначаються раціональний та ірраціональний типи поведінки, тобто ПД «раціональність-ірраціональність».

**2. Реалізація підсистеми визначення психічної функції за ПД.** Додатковим результатом, що отримується за тестом ММ-1, є характеристики ПД: «екстраверсія-інтроверсія», «етика-логіка», «сенсорика-інтуїція», «раціональність-ірраціональність». На рис. 6.16 наведено приклад розрахунку діагностики соціонічної моделі Л-О: інтуїтивно-логічний екстраверт (ІЛЕ).

**3. Реалізація підсистеми оцінювання Л-О за професійною діяльністю.** Відповідно до ТІМ (дод. Ж) за тестом ММ-1 визначаються коефіцієнти видів професійної діяльності Л-О: науково-дослідної, гуманітарно-мистецька, соціально-комунікативної, техніко-управлінської за критерієм мінімізації енерговитрат. На рис. 6.16 надано результати оцінювання та визначення видів професійної діяльності особистості.

Визначення соціонічних характеристик авіаційних фахівців за допомогою автоматизованого модуля дозволяє реалізувати адаптивний підхід в системі навчання і професійної діяльності. Застосування адаптивного підходу в тренажерно-навчальній системі підвищує ефективність підготовки за рахунок використання індивідуального підходу з урахуванням типу особистості студента. Визначення соціонічних моделей Л-О в процесі виконання професійних задач дає можливим оптимізувати колективну роботу авіаційних фахівців.

Можливим є застосування автоматизованого модуля «Діагностика соціонічної моделі Л-О» в системі професійного відбору для визначення професійно важливих якостей авіаційних фахівців.

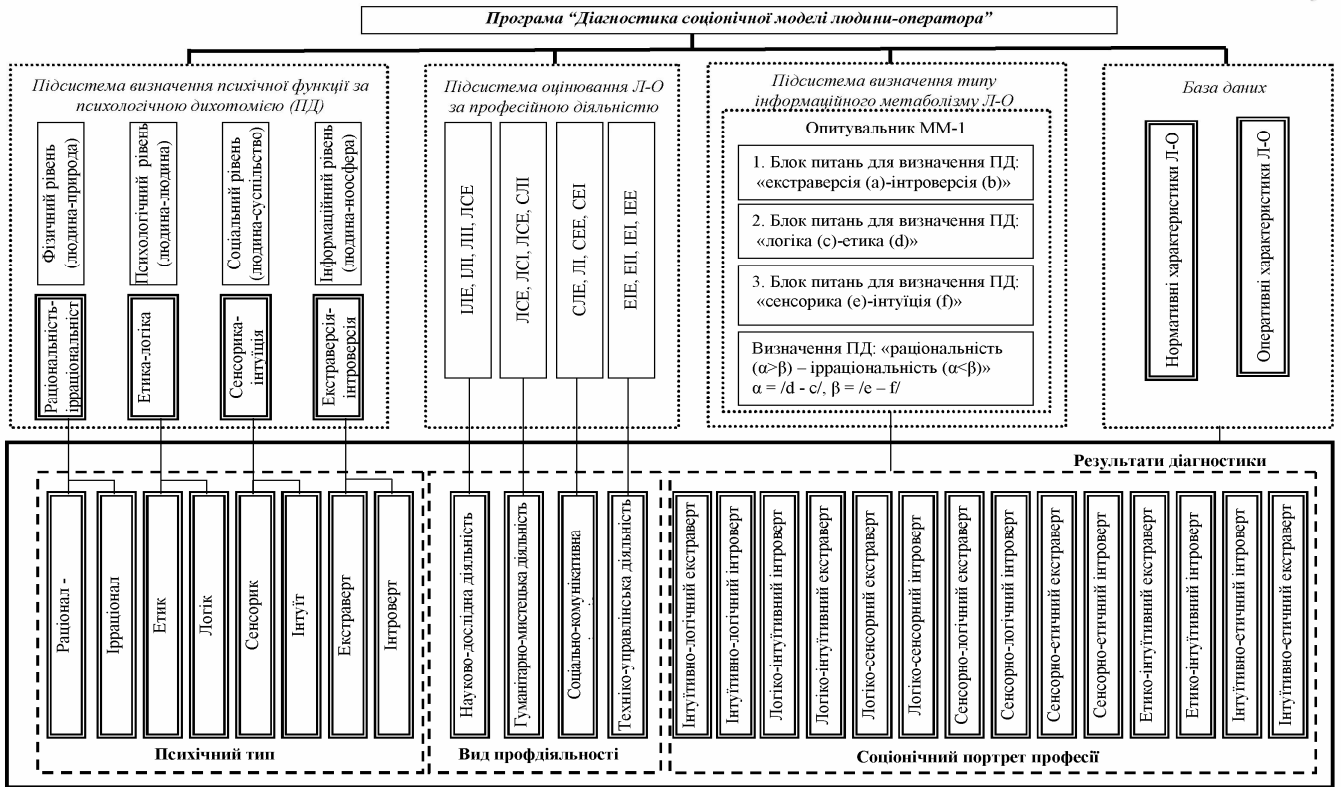


Рис. 6.12. Структура програмного забезпечення автоматизованого модуля «Діагностика соціонічної моделі Л-О»

**Определение социотипа**

Часть 1    Часть 2    Часть 3

**Что Вам кажется более важным?**

оценка окружающих    самооценка

**Для того, чтобы разобраться в каком-либо вопросе, что проще для Вас?**

спросить    прочитать

**Круг Ваших знакомств...**

широк    узок

**Легко ли Вам заговорить первым с незнакомым Вам человеком?**

да    нет

**Если Вам что-либо нужно сделать, легко ли Вам обратиться к другим людям?**

да    нет

**В гостях Вам, как правило, интересно общаться с большинством присутствующих?**

да    нет

**Можно ли сказать, что Вы скорее всего общительный человек?**

да    нет

**Какое слово лучше всего соответствует Вашему характеру?**

раскованный    сдержанный

**Какое слово больше всего соответствует Вашему духовному складу?**

оживленный    спокойный

общительный    замкнутый

Результат    Сохранить    Открыть

Рис. 6.13. Интерфейс для визначення ПД «екстраверсія-інтроверсія»



Рис. 6.14. Интерфейс для визначення ПД «логіка-етика»

Рис. 6.15. Интерфейс для визначення ПД «сенсорика-інтуїція»

Таблица 6.1

**Результаты оцінювання Л-О за професійною діяльністю відповідно до типу інформаційного метаболізму**

№ з/п	Тип інформаційного метаболізму	Позначення ТІМ	ПД «раціональність-іраціональність»	Вид професійної діяльності
1.	Логіко-інтуїтивний екстраверт	ЛЕЕ	Раціональність	Науково-дослідна діяльність
2.	Логіко-інтуїтивний інтроверт	ЛП	Раціональність	
3.	Інтуїтивно-логічний інтроверт	ЛП	Іраціональність	
4.	Інтуїтивно-логічний екстраверт	ЛЕ	Іраціональність	
5.	Інтуїтивно-етичний екстраверт	ЕЕЕ	Іраціональність	Гуманітарно-мистецька діяльність
6.	Інтуїтивно-етичний інтроверт	ЕЕ	Іраціональність	
7.	Етико-інтуїтивний інтроверт	ЕП	Раціональність	
8.	Етико-інтуїтивний екстраверт	ЕЕ	Раціональність	
9.	Етико-сенсорний екстраверт	ЕСЕ	Раціональність	Соціально-комунікативна діяльність
10.	Етико-сенсорний інтроверт	ЕС	Раціональність	
11.	Сенсорно-етичний інтроверт	СЕ	Іраціональність	
12.	Сенсорно-етичний екстраверт	СЕ	Іраціональність	
13.	Сенсорно-логічний екстраверт	СЛЕ	Іраціональність	Техніко-управлінська діяльність
14.	Сенсорно-логічний інтроверт	СП	Іраціональність	
15.	Логіко-сенсорний інтроверт	ЛСП	Раціональність	
16.	Логіко-сенсорний екстраверт	ЛСЕ	Раціональність	

## **6.2. Програмний комплекс «Вибір передпольотної інформації і прийняття рішення на виліт»**

### **6.2.1. Основні завдання автоматизованої системи підготовки передпольотної інформації**

На сьогоднішній день для вирішення задач планування і забезпечення польотів експлуатанти використовують ряд програмних продуктів, у тому числі програми, що містять діючі навігаційні бази даних (або, що мають до них доступ), без яких неможливо якісно планувати виконання рейсів.

Призначенням будь-якої системи планування польотів є планування маршруту для визначеного рейсу відповідно до задач користувача. Кінцевий план польоту залежить від різних параметрів, таких як погода (вітер і температура), характеристики ПК, вага ПК без палива, навігаційна обстановка.

Експлуатант самостійно приймає рішення, яку з наявних програм він буде використовувати для планування, забезпечення і контролю за виконанням польотів. Найбільш відомими постачальниками зазначених програм є фірми Jeppesen, SITA, Sabre, Skyplan, Lido і ряд інших. Деякі авіакомпанії використовують програмне забезпечення власної розробки. Використання таких програм дозволяє здійснювати аеронавігаційне і метеорологічне забезпечення польотів.

Ці програми дозволяють отримувати розраховані з високою точністю оперативні плани польотів (OFP), НОТАМи, технічні характеристики аеродромів, зведення фактичної погоди і її прогнози, різні метеорологічні карти, і іншу графічну інформацію. Використання бази даних користувача з характеристиками парку літаків разом з експлуатаційними особливостями і навігаційними та погодними даними дозволяє розраховувати плани польотів.

Однак оперативний план польоту, який автоматично генерується комп'ютером, не завжди є оптимальним для виконання даного рейсу. Комп'ютер звичайно підбирає найбільш короткий придатний маршрут, не враховуючи інші експлуатаційні фактори, що впливають на виконання польоту. Підбір комп'ютером не самої придатної з економічної точки зору висоти польоту може призвести до значної перевитрати палива, особливо на довгих рейсах.

Крім того, дані системи не забезпечують збір і надання вибіркової інформації, необхідної ЕПК. Також у них не реалізована інформаційна підтримка ПР про виконання польоту по маршруту. Тому актуальною задачею є розробка автоматизованої системи, основною функцією якої є інформаційна підтримка льотного диспетчера або командира ПК (авіаційного оператора передпольотного інформаційного обслуговування) на етапі підготовки і виконання польоту.

Забезпечення інформаційної підтримки ПР авіаційним оператором стає можливим на основі автоматизації збору, обробки й надання інформації в умовах впровадження глобальних систем CNS/ATM (Зв'язок – Навігація – Спостереження / Організація повітряного руху). Концепція впровадження систем передбачає реалізацію трьох основних концепцій CNS/ATM: орієнтовану на людину автоматизацію, ситуативну обізнаність і контроль за помилками.

Основними особливостями передпольотного забезпечення екіпажа ПК є:

- великий обсяг різнопланових вхідних даних, які необхідні пілоту при підготовці до польоту;
- труднощі при одержанні вибіркової інформації, необхідної при підготовці до конкретного виду польоту або в певній ситуації;
- високий рівень неповноти інформації в умовах дефіциту часу на ПР.

Розвиток систем CNS/ATM передбачає рішення цих проблем за рахунок створення автоматизованих баз даних і використання ліній передачі даних, за допомогою яких планується обмін даними між наземними й бортовими елементами системи. При проектуванні автоматизованих систем необхідно враховувати ці концепції CNS/ATM.

У цей час із метою підвищення безпеки польотів до складу АС УПР включаються інтелектуальні модулі - СППР, у яких реалізована інформаційна підтримка авіаційного оператора. Вони сприяють оперативному прийняттю рішення екіпажем ПК. Але в службах передпольотного інформаційного забезпечення СППР не використовувались.

З позицій системного підходу досліджено основні особливості передпольотного інформаційного обслуговування і виявлені наступні проблеми: передпольотна підготовка виконується у недостатній мірі; екіпаж отримує великий об'єм інформації, що не завжди стосується конкретного виду польоту, а також допускаються помилки при вивченні інформації й прийнятті рішення на виліт, що приводить до авіаційних подій [34–40; 64–67; 73; 74].

Проаналізовано існуючі системи планування і забезпечення польотів і виявлено, що інформаційна підтримка авіаційного оператора в них реалізована не у повній мірі, а саме нереалізованими залишаються наступні функції:

- функція вибору і надання інформації, що стосується конкретного польоту ПК або ситуації;
- функція аналізу можливості виконання польоту ПК за заданим маршрутом.

Проведені дослідження обумовлюють необхідність розробки засобів підвищення ефективності передпольотного інформаційного забезпечення. Підвищення ефективності передпольотного забезпечення можливо реалізувати за рахунок вирішення наступних задач:

- 1) забезпечення екіпажа ПК необхідною інформацією, що стосується конкретного польоту, на етапі передпольотної підготовки або ситуації під час виконання польоту;
- 2) аналізу можливості виконання польоту ПК за заданим маршрутом і видачі рекомендації для прийняття обґрунтованого рішення на виліт.

Ці задачі доцільно покласти на автоматизовану систему підготовки передпольотної інформації (АСППІ) [34–40].

**Основні завдання програмного комплексу.** АСППІ призначена для працівників системи ОПР як допоміжний аналізуючий модуль, що забезпечує скорочення часу на прийняття рішення на виліт ПК та забезпечує підбір і розподіл інформації відповідно до виду польоту. А також як модуль, що реєструє і акумулює інформацію про виконані дії операторів.

**Вхідні дані для роботи програмного комплексу «Вибір передпольотної інформації і ПР на виліт».** АСППІ розроблена в середовищі Delphi. Програма має інтуїтивно зрозумілий і спрощений інтерфейс, що у свою чергу повинно звести до мінімуму труднощі при її освоєнні й використанні в повсякденній роботі авіаційним персоналом. Дані, необхідні для передпольотного забезпечення, надходять у напівавтоматичному режимі: частина даних вибирається для аналізу програмою автоматично, частина вноситься оператором.

На підставі аналізу державних нормативних документів та документів ІКАО, що регламентують проведення передпольотної підготовки і вимог щодо надання інформаційного забезпечення, визначено і класифіковано аеронавігаційну (АН), метеорологічну (МІ), картографічну (КІ) і нормативну (Норм.І) інформацію, необхідну екіпажу ПК при підготовці до польотів, а також виконано її декомпозицію за інформаційними блоками, а саме визначено дані щодо аеродрому вильоту (АДв), призначення (АДп), маршруту польоту і додаткову інформацію [34].

Аналіз основних характеристик інформації та документів, що регламентують підготовку до польотів, дозволив відокремити 4 види польоту (I - систематичний регулярний політ по одній трасі; II - систематичний регулярний політ після закінчення шести місяців; III - політ після перерви у польотах більше 30 календарних днів; IV - перший самостійний політ командира ПК по даній трасі (маршруту, району) чи на даному типі ПК) і експертним методом визначено найціннішу інформацію, яка їм відповідає.

Проведено декомпозицію задач, що вирішуються при аналізі можливості виконання польоту, і на підставі цього виділено і досліджено фактори, що впливають на можливість виконання польоту за заданим маршрутом та ПР на виліт [300; 309]. Розглянуто функції АСППІ у складі системи передпольотного інформаційного забезпечення та представлено її концепцію, що дозволяє надавати вибірково інформацію, а також враховувати аеронавігаційну й метеорологічну обстановку при прийнятті рішення на виліт (рис. 6.16). Розглянуто задачі, що розв'язуються системою на етапах її роботи (табл. 6.2).



Рис. 6.16 Концептуальна модель АСПІ

Таблиця 6.2

**Етапи роботи АСПІ й задачі, що вирішуються на цих етапах**

Етапи роботи АСПІ	Задачі, що вирішуються АСПІ на етапах роботи
Етап 1. Підготовка інформації, необхідної з метою передпольотного планування	Збір усієї інформації, необхідної для забезпечення польотів
	Вибір усієї необхідної інформації для забезпечення польоту в залежності від заданих параметрів польоту
	Формування інформаційних блоків: сортування інформації по АД вильоту, АД призначення, маршруту й іншій відповідно до заданих параметрів польоту
	Розподіл інформації по видам польоту
Етап 2. Аналіз можливості виконання польоту	Вибір з множини даних в інформаційних блоках факторів, що впливають на можливість виконання польоту
	Оцінка стану кожного фактору
	Аналіз можливості виконання польоту за сукупною оцінкою факторів
Етап 3. Надання необхідної інформації відповідно до виду польоту і рекомендації щодо можливості вильоту	Надання необхідної інформації відповідно до виду польоту
	Видача рекомендації щодо можливості виконання польоту

Для побудови АСПІ було формалізовано розподіл інформаційних потоків у ній, ієрархічна схема розподілу якого представлена на рис. 6.17. Формалізація інформаційної підготовки дозволить розпізнавати ситуації (види польотів), відбирати необхідну інформацію і оптимізувати умови сприйняття даних.

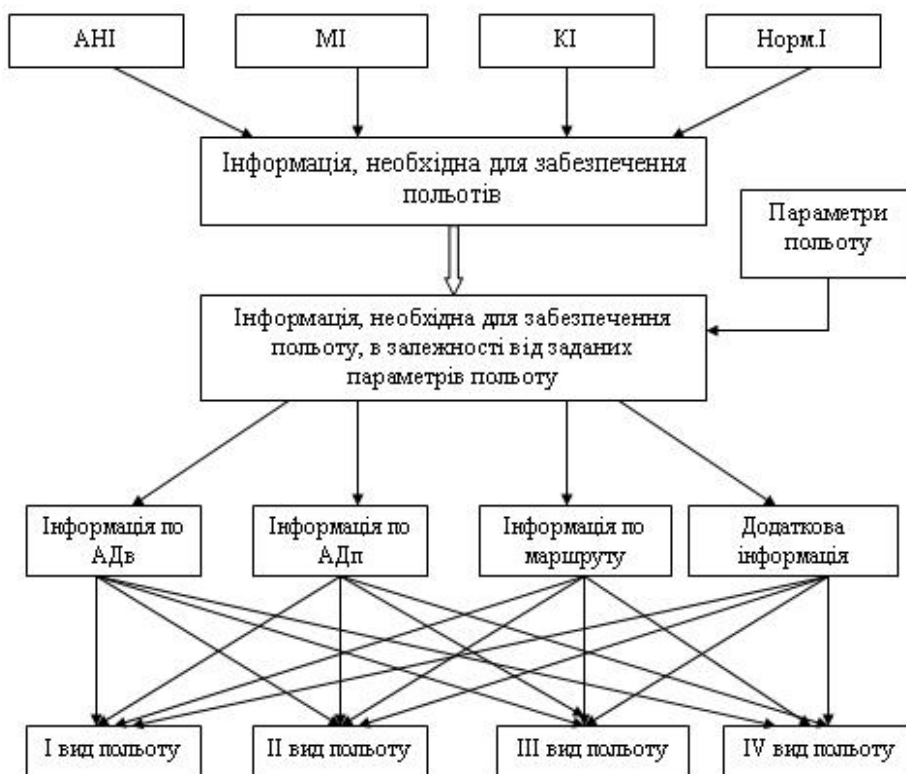


Рис. 6.17. Ієрархічна схема розподілу інформаційних потоків

### 6.2.2. Опис функціональних можливостей програмного комплексу «Вибір передпольотної інформації і прийняття рішення на виліт»

**Реалізація підсистеми вибору необхідної передпольотної інформації.** Підсистема вибору необхідної інформації реалізована режимом роботи «Вибір інформації». Даний режим дозволяє отримувати швидкий доступ до необхідної для ознайомлення інформації відповідно до виду польоту. Інтерфейс вікна режиму зазначений на рис. 6.18.

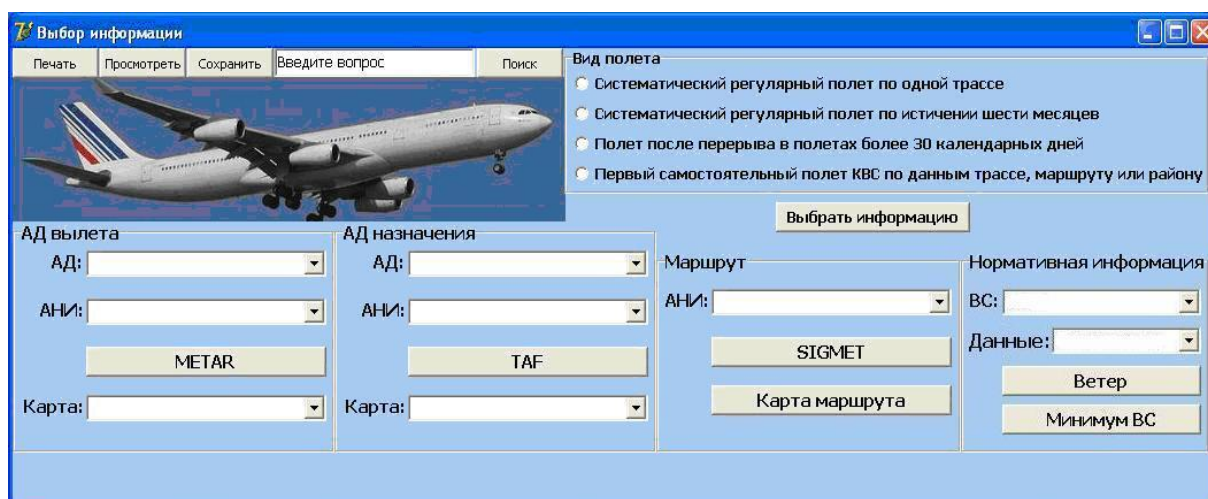


Рис. 6.18. Інтерфейс вікна режиму «Вибір інформації»

**Вид польоту** – виконується вибір польоту, для подальшого пошуку відповідної інформації, кожному виду польоту відповідає своя кількість необхідної інформації (рис. 6.19).

Вид полета	
<input type="radio"/>	Систематический регулярный полет по одной трассе
<input type="radio"/>	Систематический регулярный полет по истечении шести месяцев
<input type="radio"/>	Полет после перерыва в полетах более 30 календарных дней
<input type="radio"/>	Первый самостоятельный полет КВС по данным трассе, маршруту или району

Рис. 6.19. Вид польоту

**Аеродром вильоту** (рис. 6.20 а) – область інформації по АД вильоту. Дана область містить наступні дані:

- 1) АД (аеродром) – вибір аеродрому вильоту з існуючого списку.
- 2) АНІ (аеронавігаційна інформація) – залежно від обраного виду польоту, може містити наступні пункти:
  - 1 - географічні й адміністративні дані по АД;
  - 2 - національні правила і вимоги;
  - 3 - характеристики і стан ЗПС;
  - 4 – світлотехнічне обладнання (СТО) на ЗПС, рульових доріжках (РД) і перонах;
  - 5 – РНЗ вильоту;
  - 6 - дані по перонах, РД і місцям перевірки;
  - 7 - служби й засоби по обслуговуванню на АД;
  - 8 - правила обслуговування в аеропорті;
  - 9 - аеродромні збори;
  - 10 – NOTAM (PIB).
- 3) METAR – відображає останнє повідомлення METAR для обраного АД.
- 4) Карта – дає можливість ознайомитися з необхідними картами відповідно до виду польоту і може містити наступні карти:
  - 1 - аеродрому;
  - 2 - наземного аеродромного руху;
  - 3 - наземних перешкод;
  - 4 - стоянок;
  - 5 - району;
  - 6 - SID.

**Аеродром призначення** (рис. 6.21 б) – область інформації по АД призначення. Дана область містить наступні дані:

- 1) АД (аеродром) – вибір аеродрому призначення з існуючого списку.
- 2) АНІ (аеронавігаційна інформація) – залежно від обраного виду польоту, може містити наступні пункти:
  - 1 - географічні й адміністративні дані по АД;
  - 2 - національні правила й вимоги;
  - 3 - характеристики і стан ЗПС;
  - 4 - СТО на ЗПС, РД і перонах;
  - 5 - РНЗ посадки;
  - 6 - навігаційна система підходу;
  - 7 - дані по перонах, РД і місцям перевірки;
  - 8 - служби й засоби по обслуговуванню на АД;
  - 9 - правила обслуговування в аеропорті;
  - 10 - аеродромні збори;
  - 11 – NOTAM (PIB).
- 3) TAF – останнє повідомлення TAF для обраного АД.
- 4) Карта – дає можливість ознайомитися з необхідними картами відповідно до виду польоту. Може містити такі карти:
  - 1 - аеродрому;

- 2 - наземного аеродромного руху;
- 3 - наземних аеродромних перешкод;
- 4 - стоянок;
- 5 - району;
- 6 - STAR;
- 7 - місцевості для точного заходу на посадку;
- 8 - заходу на посадку по приладах;
- 9 - візуального заходу на посадку.

Рис. 6.20 Области інформації по АД вильоту (а) і АД призначення (б)

**Маршрут** (рис. 6.21 а) – область інформації по маршруту польоту: Дана область дозволяє вибрати й переглянути наступні дані:

- 1) АНИ (аеронавігаційна інформація) – залежно від обраного виду польоту, може містити наступні пункти:
  - 1 - РНЗ;
  - 2 - Опис маршрутів;
  - 3 - дані про РПП;
  - 4 – обслуговування, що надається;
  - 5 - збори за обслуговування;
  - 6 - радіолокаційне обслуговування;
  - 7 - правила обслуговування;
  - 8 - NOTAM (PIB).
- 2) SIGMET – актуальні повідомлення SIGMET для обраного маршруту.

**Нормативна інформація** (рис. 6.21 б). Дана область дозволяє переглядати нормативну інформацію по ПК (гранично допустима злітна маса, гранично допустима посадкова маса, витрата палива за годину, швидкість, інші характеристики ПК); вітер (інформація про гранично припустиму складову вітру для даного типу ПК), мінімум ПК (інформація про мінімуми ПК)

Рис. 6.21. Области інформації по маршруту (а) і нормативної інформації (б)

### 6.2.3. Реалізація підсистеми прийняття рішення на виліт

Дана підсистема реалізована у вигляді режиму роботи «**Можливість вильоту**». Після авторизації для входу в режим «Можливість вильоту» з'являється вікно з його функціоналом (рис. 6.22).

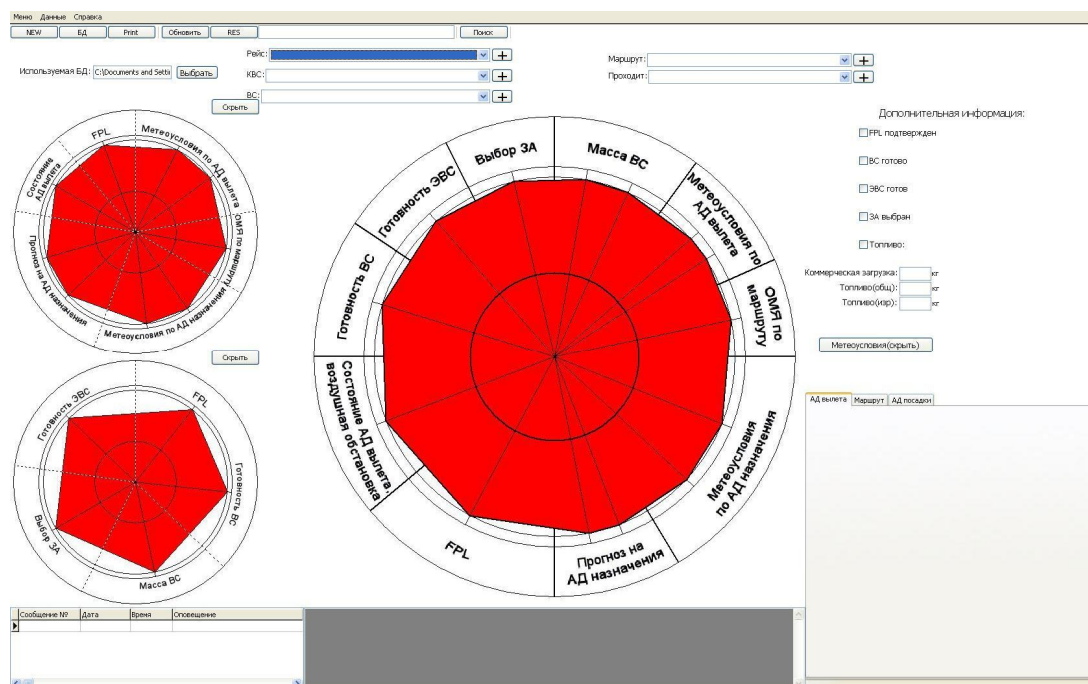


Рис. 6.22. Интерфейс головного окна режима «Можливість вильоту»

Основна діаграма «Павук-ЦІС» (рис.6. 23) – графічно вказує на можливість прийняття рішення на виліт і відзначає відповідність умов для прийняття рішення на виліт нормам – при завантаженні програми всі значення обнулені. Кожна область діаграми підписана відповідно до інформацією, що оброблюється в даній області.

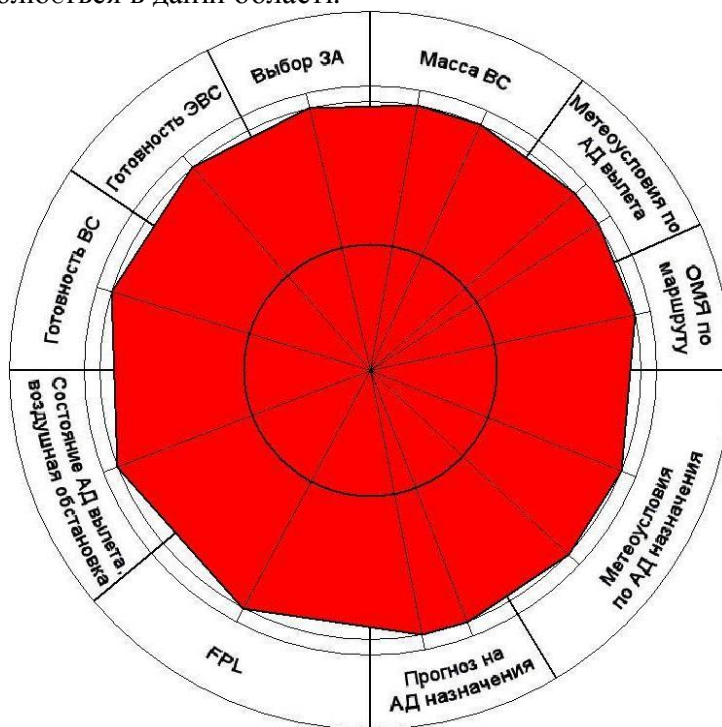


Рис. 6.23. Діаграма «Павук-ЦІС»



## Приклади розрахунку задачі прийняття рішення на виліт.

**1. Часткова відповідність умов для прийняття рішення нормам** (рис. 6.24). У цьому випадку погода на АД призначення не відповідає нормам, а також FPL в автоматичному режимі не підтверджений - відповідно рішення на виліт не повинне бути прийняте.

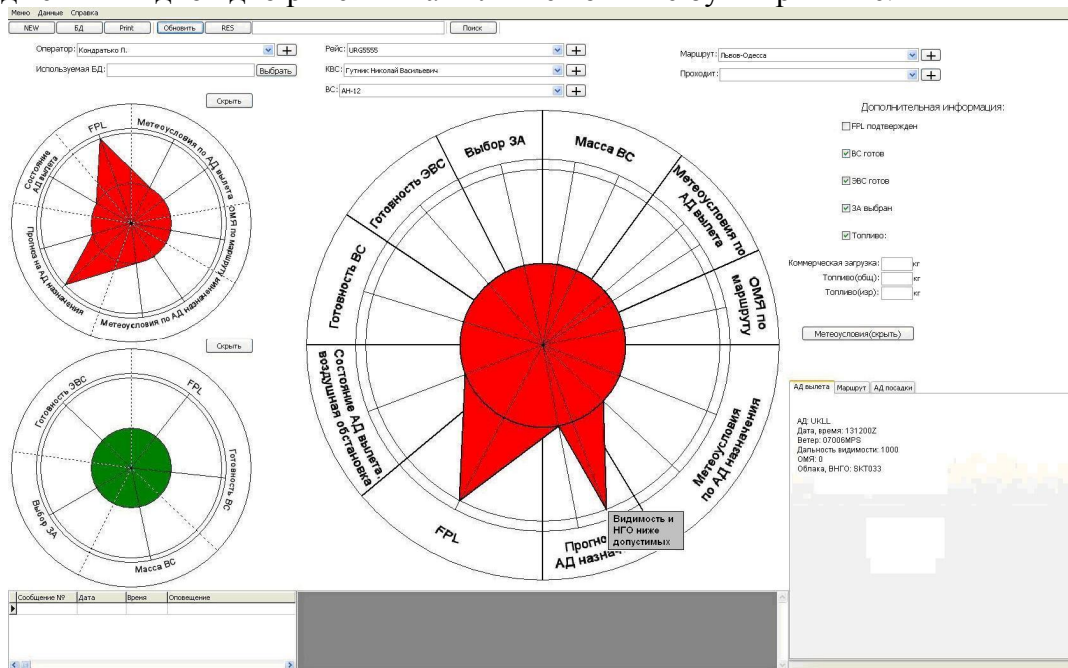


Рис. 6.24. Відображення умов, невідповідних для ПР

**2. Всі умови відповідають нормам** (рис. 6.25). При відповідності нормам всі діаграми в центрі пофарбовані в зелений колір і замкнуті, тобто, виконання польоту можливе і рекомендується прийняти рішення на виліт.

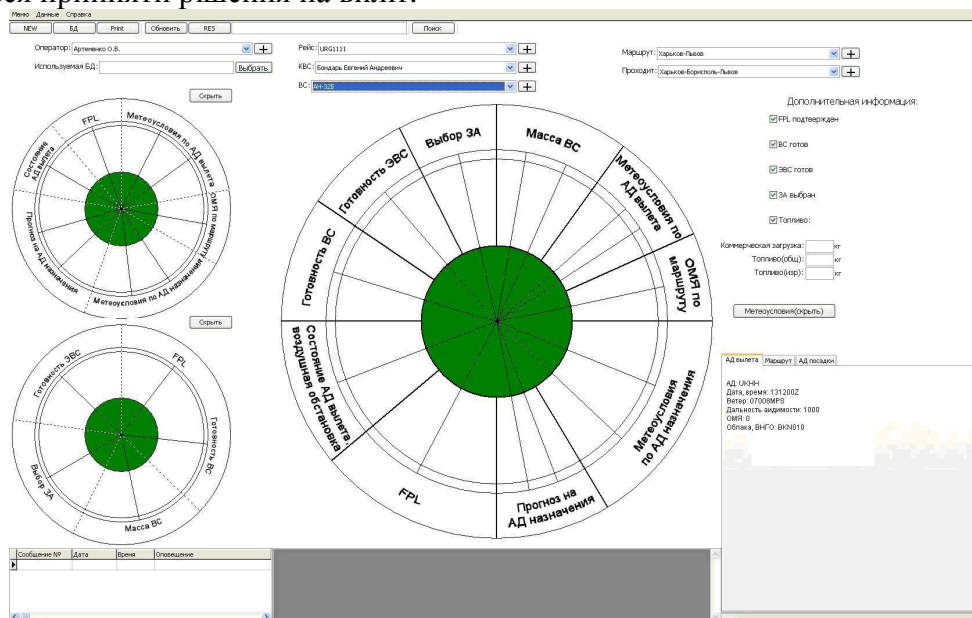


Рис. 6.25. Відображення відповідності умов для виконання польоту

Розроблене програмне забезпечення АСПП дає можливість отримати простий і зручний інтерфейс користувача і одночасно швидкий пошук інформації та підтримку під час ПР щодо можливості вильоту. Застосування розроблених алгоритмів і програм дозволяє:

- диспетчеру із забезпечення польоту або пілоту оперативно отримувати необхідну вибірку інформації залежно від потреб (виду польоту або за запитом);
- аналізувати можливість виконання польоту за діаграмою в полярних координатах, де відображений стан усіх факторів, що впливають на ПР.

## **Висновки**

Були побудовані такі програмні комплекси:

1. Програмний комплекс «Підказка», призначений для інформаційної підтримки Л-О АНС з метою прийняття ним оперативного своєчасного рішення щодо вибору оптимальної стратегії завершення польоту в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки ПК.

2. Комп'ютерна програма «Діагностика емоційного стану людини-оператора» призначена для оперативного визначення деформацій емоційного досвіду пілота та випередження прийняття ним рішення в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації ПК.

3. Автоматизований модуль «Діагностика соціонічної моделі людини-оператора» призначений для визначення соціонічних характеристик авіаційних фахівців.

4. Комп'ютерна програма «Вибір передпольотної інформації і прийняття рішення на виліт» для автоматизованої системи підготовки передпольотної інформації.

Програми «Підказка», «Діагностика емоційного стану людини-оператора» і «Діагностика соціонічної моделі людини-оператора» входять до складу інформаційно-аналітичного діагностичного комплексу для дослідження взаємодії операторів у процесі виконання ними професійних обов'язків та проведення наукових досліджень діяльності Л-О АНС під час керуванні ПК в екстремальних умовах.

## **ВИСНОВКИ**

Для дослідження закономірностей поведінки операторів АНС та їх колективів в АНС як соціотехнічій системі вирішені наступні задачі:

1. Проведено декомпозицію етапів ПР, факторів, що впливають на Л-О, розроблено технологію ПР Л-О в очікуваних та неочікуваних умовах експлуатації ПК, в результаті якої отримані графоаналітичні моделі розвитку польотної ситуації з урахуванням індивідуальних якостей ЛПР і моделі прийняття рішення людиною-оператором АНС з урахуванням впливу соціально-психологічних факторів. Проаналізовано значущість індивідуально-психологічних та вплив соціально-психологічних факторів на професійну діяльність Л-О в умовах розвитку польотної ситуації від нормальної до катастрофічної.

2. Розроблено детерміновані (мережеві графіки), стохастичні (дерева рішень, мережі GERT, марковські мережі), нейромережеві, рефлексивні та графоаналітичні моделі ПР Л-О СТ АНС і моделі розвитку польотної ситуації в умовах невизначеності та рефлексивного вибору Л-О СТ АНС. Формалізовано якісні характеристики рівня ризику в умовах розвитку польотної ситуації та величини потенційного збитку за допомогою функцій належності в умовах нечіткої інформації.

3. На основі рефлексивної теорії біполярного вибору отримано очікувані ризики ПР оператором СТ АНС під впливом зовнішнього середовища, попереднього досвіду і вольового вибору Л-О. Розраховано сценарії розвитку польотної ситуації у разі вибору позитивного або негативного полюсу під тиском зовнішнього середовища, попереднього досвіду Л-О та вольового вибору (інтенції) відповідно до теорії рефлексії.

4. Розроблена методологія аналізу ПР Л-О АНС у разі виникнення ОВП, СМУ, ПКС.

5. Здійснено структурну декомпозицію задачі вибору оптимальної альтернативи завершення польоту, розроблено моделі й алгоритми формування рішень та побудовано інформаційну модель СППР, що дозволяє обирати оптимальну альтернативу завершення польоту в позаштатних ситуаціях, які потребують вимушеної посадки ПК.

6. Розроблено інформаційно-аналітичний діагностичний комплекс для дослідження взаємодії операторів у процесі виконання ними професійних обов'язків та проведення наукових досліджень діяльності Л-О АНС під час керуванні ПК в екстремальних умовах, що вирішує задачі оптимізації вибору альтернативного варіанта завершення польоту повітряного корабля в позаштатних ситуаціях, діагностики соціонічної моделі та емоційного стану Л-О.

7. Для АСППІ розроблено програмний комплекс «Вибір передпольотної інформації і прийняття рішення на виліт».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Фундаментальные концепции человеческого фактора: сб. материалов по человеческому фактору № 1 / Circ. ICAO 216-AN/131. – Канада, Монреаль: ICAO, 1989. – 37 с.
2. Обучение эксплуатационного персонала в области человеческого фактора. сб. материалов по человеческому фактору № 3 / Circ. ICAO 227-AN/134. – Канада, Монреаль: ICAO, 1991. – 53 с.
3. Эргономика: сб. материалов по человеческому фактору № 6 / Circ. ICAO 238-AN/143. – Канада, Монреаль: ICAO, 1992. – 467 с.
4. Изучение роли человеческого фактора при авиационных происшествиях и инцидентах: сб. материалов по человеческому фактору № 7 / Circ. ICAO 240-AN/144. – Канада, Монреаль: ICAO, 1993. – 76 с.
5. Человеческий фактор при управлении воздушным движением: сб. материалов по человеческому фактору № 8 / Circ. ICAO 241-AN/145. – Канада, Монреаль: ICAO, 1994. – 44 с.
6. Человеческий фактор, управление и организация: сб. материалов по человеческому фактору № 10 / Circ. ICAO 247-AN/148. – Канада, Монреаль: ICAO, 1994. – 38 с.
7. Контроль факторов угрозы и ошибок (КУО) при управлении воздушным движением / Circ. ICAO 314-AN/178. – Канада, Монреаль: ICAO, 1994. – 38 с.
8. Человеческий фактор в системах CNS/ATM. Разработка ориентированной на человека автоматики и передовой техники для будущих аэронавигационных систем: сб. материалов по человеческому фактору № 11 / Circ. ICAO 249-AN/149. – Канада, Монреаль: ICAO, 1994. – 71 с.
9. Кросскультурные факторы и безопасность полетов: сб. материалов по человеческому фактору № 16 / Circ. ICAO 302-AN/175. – Канада, Монреаль: ICAO, 2004. – 52 с.
10. Глобальный аэронавигационный план применительно к системам CNS/ATM / Circ. ICAO 9750-AN/963. – Канада, Монреаль: ICAO, 2002. – 325 с.
11. Основные принципы учета человеческого фактора в системах ОВД (ATM) / Circ. ICAO 9758-AN/966. – Канада, Монреаль: ICAO, 2000. – 126 с.
12. Представление данных об авиационных происшествиях и инцидентах (ADREP): Статистический ежегодник-2000 / Circ. ICAO 289-AN/167. – Канада, Монреаль: ICAO, 2002. – 37 с.
13. Правила полетов и обслуживания воздушного движения / Doc. 4444-RAC/501. – 13-е изд. – Канада, Монреаль: ICAO, 1996. – 425 с.
14. Руководство по службам аэронавигационной информации / Doc. 8126. – Канада, Монреаль: ICAO, 2006. – 459 с.
15. Руководство по обучению в области человеческого фактора / Doc. 9683-AN/950. – 1-е изд. – Канада, Монреаль: ICAO, 1998. – 333 с.
16. Правила видачі свідоцтв авіаційному персоналу в Україні: наказ Мінтрансу від 07.12.1998 р. №486, зі змінами, внесеними наказом МТЗУ від 24.09.2007 р. №842. – К.: МТЗУ, 2007. – 72 с.
17. Правила сертифікації суб'єктів, що надають послуги з аеронавігаційного обслуговування: наказ Мінтрансу від 22.01.2007 р. №42, зі змінами, внесеними наказом МТЗУ від 28.11.2011 р. №575. – К.: МТЗУ, 2007. – 24 с.
18. 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.
19. Порядок прийняття рішення на виліт та приліт повітряних суден цивільної авіації України за правилами польотів за приладами: наказ Державіаслужби України від 28.04.05 р. №295. – 14 с.
20. Положення про організацію роботи об'єктів обслуговування повітряного руху Украероруху: наказ Украероруху від 12.03.2008 р. №64 (з поправками №1-№10). – К.: Украерорух, 2008. – 52 с.

21. Наставление по производству полетов в гражданской авиации СССР (НПП-ГА-85): приказ МГА от 08.04.1985 №77. – М.: Воздуш. трансп., 1985. – 174 с.
22. Основные правила полетов в воздушном пространстве СССР (ОПП-85): приказ Главнокомандующего ВВС от 03.07.1985 г. №161. – М.: Воздуш. трансп., 1985. – 174 с.
23. Руководство по обучению. Сотрудник по обеспечению полетов / диспетчер: ч. D-3 / Circ. ICAO 7192-AN/857. – Монреаль, Канада, 1998. – 123 с.
24. Руководство по летной эксплуатации самолета Як-40. – М.: Воздуш. трансп., 1995. – 440 с.
25. Руководство по летной эксплуатации самолетов Ту-134 (А, Б). Книга первая. – М.: Воздуш. трансп., 1996. – 304 с.
26. Азарсков В.Н. Робастные методы оценивания, идентификации и адаптивного управления / В.Н. Азарсков, Л.Н. Блохин, Л.С. Житецкий, Н.Н. Кукуль. – К.: НАУ, 2004. – 498 с.
27. Алексеев П.В. Социальная философия: учеб. пособие / П.В. Алексеев. – М.: ООО «ТК Велби», 2003 – 202 с.
28. Амосова О.В. Аналіз сумісності та соціонічної поведінки групи авіаційних спеціалістів / О.В. Амосова // Політ-2009. Сучасні проблеми науки: ІХ міжнар. наук. конф. студ. та молодих учених, Київ, 8-10 квіт. 2009 р.: тези доповідей. – К.: НАУ, 2009. – С. 238.
29. Анодина Т.Г. Управление воздушным движением. / Т.Г. Анодина, С.В. Володин, В.П. Куранов, В.И. Мокшанов. – М.: Транспорт, 1988. – 232 с.
30. Анохин П.К. Избранные труды. Кибернетика функциональных систем / П.К. Анохин; под общей ред. академика РАМН К.В. Судакова. – М.: Медицина, 1998. – 297 с.
31. Андреева Г.М. Социальная психология / Г.М. Андреева. – М.: Аспект Пресс, 1999. – 375 с.
32. Арнольд В.И. Теория катастроф / В.И. Арнольд. – М.: Наука, 1981. – 322 с.
33. 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.
34. Артеменко О.В. Моделирование автоматизированной системы подготовки передполетной информации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.16 / О.В. Артеменко. – К., 2010. – 20 с.
35. Артеменко О.В. Формализация процесса принятия решения на вылет командиром воздушного судна / О.В. Артеменко // Развитие научных исследований 2008: 4-я междунар. науч.-практ. конф. 24-26 нояб. 2008 г.: тезисы докладов. – Полтава: ИнтерГрафика, 2008. – Т. 6. – С. 101–104.
36. Артеменко О.В. Автоматизированная обработка предполетной информации / О.В. Артеменко, В.М. Симак // Искусственный интеллект. – 2004. – №4. – С. 679–685.
37. Артеменко О.В. Розробка автоматизованої системи підготовки передполітної інформації / О.В. Артеменко, Ю.Б. Беляєв, Т.Ф. Шмельова // Науково-технічна інформація. – 2010. – №3. – С. 41–44.
38. Артеменко О.В. Автоматизация подготовки предполетной информации / О.В. Артеменко // Интегрированные информационные технологии и системы – 2005: наук.-практ. конф. молодых ученых та аспирантов, Київ, 21-23 листоп. 2005 р.: тези доповідей. – К.: НАУ, 2005. – С. 65–68.
39. Артеменко О.В. Формирование структуры подсистем информационного обеспечения автоматизированной системы подготовки предполетной информации / О.В. Артеменко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – №2/18. – С. 77–81.
40. Артеменко О.В. Інформаційне забезпечення екіпажу повітряного судна в процесі передполітної підготовки / О.В. Артеменко // Перша наук.-техн. конф. Харк. ун-ту повітряних сил, 16–17 лют. 2005 р.: тези доповідей. – Х.: ХУПС, 2005. – С. 65–66.
41. 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.

42. 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.
43. Архангельский В.И. Системы функции-управления / В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмшин. – К.: Техника, 1997. – 207 с.
44. Архангельский А.Я. Работа с локальными базами данных в Delphi 5 / В.И. Архангельский. – М.: ЗАО «Издательство БИНОМ», 1999. – 192 с.
45. Аугустинавичюте А. Соционика. Психотипы. Тесты / А. Аугустинавичюте – М.: ООО «Фирма «Издательство Аст»; Спб.: Terra Fantastica, 1998. – 416 с.
46. Аугустинавичюте А. Соционика / А. Аугустинавичюте. – М.: Черная белка, 2008. – 568 с.
47. Баас Р. Delphi 5: Для пользователя / Р. Баас, М. Фервай, Х. Гюнтер; пер. с нем. – К.: Издат. группа ВНУ, 2000. – 496 с.
48. Бабак В.А. Безпека авіації / В.А. Бабак, В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін. – К.: Техніка, 2004. – 584 с.
49. Бабенко Л.П., Лавріщева К.М. Основи програмної інженерії: навч. посіб. / Л.П. Бабенко, К.М. Лавріщева. – К.: Т-во «Знання», КОО, 2001. – 269 с.
50. 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.
51. Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О.В. Барабаш. – К.: НАОУ, 2004. – 226 с.
52. Баранов Г.Л. Аналітичні співвідношення між навігаційними параметрами термінальних умов руху високошвидкісних транспортних засобів / Г.Л. Баранов, І.В. Тихонов, С.А. Банішевський // Системи управління, навігації і зв'язку. – К.: ЦНДІ НУ, 2008. – Вип. 1 (5). – С. 8–11.
53. Белов П.Г. Сущность и методы прогнозирования техногенного риска / П.Г. Белов, Ю.Ф. Запороженко // Вісник КМУЦА. – 1999. – №1. – С. 260–264.
54. Беспалько В.П. Основы теории педагогических систем / В.П. Беспалько. – Воронеж: ГУ, 1977. – 304 с.
55. 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.
56. Беляев Ю.Б. Моделювання 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.
57. 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.
58. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – 2-е изд. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
59. Бондарев Э.В. Изменение скорости переработки информации у лётного состава в процессе выполнения длительных полётов / Э.В. Бондарев, Г.И. Гурвич // Проблемы инженерной психологии. – М.: Наука, 1967. – С. 82–85.
60. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.
61. Бочкарев В.В. Автоматизированное управление движением авиационного транспорта / В.В. Бочкарев, Г.А. Крыжановский, И.Н. Сухих; под ред. Г.А. Крыжановского. – М.: Транспорт, 1999. – 345 с.

62. Бутаков Е.А. Методы создания качественного программного обеспечения ЭВМ / Е.А. Бутаков. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 232 с.
63. 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.
64. Величко В.В. Роль летного диспетчера в организации воздушного движения / В.В. Величко, Ю.В. Сикирда // XXIX Всеукр. наук.-практич. конф. молодых ученых та курсантів, яка присвячена Всесвітньому Дню авіації і космонавтики, Кіровоград, 9 квіт. 2009 р.: тези доповідей. – Кіровоград: ДЛАУ, 2009. – С. 42–43.
65. Величко В.В. Проблемы профессиональной деятельности и подготовки летных диспетчеров / В.В. Величко, Ю.В. Сикирда // Політ-2009. Сучасні проблеми науки: IX міжнар. наук. конф. студ. та молодых ученых, Київ, 8-10 квіт. 2009 р.: тези доповідей. – К.: НАУ, 2009. – С. 132.
66. Величко В.В. Типовые ошибки человека-оператора при предоставлении планов полетов / В.В. Величко, Ю.В. Сикирда // 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. 310–311.
67. Величко В.В. Дерево ошибок оператора интегрированной системы первичной обработки планов полетов IFPS / В.В. Величко, Ю.В. Сикирда // Політ-2010. Сучасні проблеми науки: X міжнар. наук.-практ. конф. молодых ученых і студ., Київ, 7-9 квіт. 2010 р. – Т. 1. – К.: НАУ, 2010. – С. 9.
68. Венда В.Ф. Системы гибридного интеллекта: эволюция, психология, информатика / В.Ф. Венда. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
69. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
70. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
71. 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.
72. Винниченко Н.К. Турбулентность в свободной атмосфере / Н.К. Винниченко, И.З. Пинус, С.М. Шметер, Г.Н. Шур. – М.: Гидрометеиздат, 1976. – 288 с.
73. Вовенко Ю.В. Современное состояние проблемы определения загрузки и центровки воздушного судна / Ю.В. Вовенко, Ю.В. Сикирда // Політ-2008: VIII міжнар. наук. конф. студ. та молодых ученых, Київ, 10-11 квіт. 2008 р.: тези доповідей. – К.: НАУ, 2008. – Т. 1. – С. 6.
74. Вовенко Ю.В. Современные подходы к определению загрузки и центровки воздушного судна / Ю.В. Вовенко, Ю.В. Сикирда // XXVIII Всеукр. наук.-практич. конф. молодых ученых та курсантів, яка присвячена Всесвітньому Дню авіації і космонавтики, Кіровоград, 10 квіт. 2008 р.: тези доповідей. – Кіровоград: ДЛАУ, 2008. – С. 31-32.
75. Воронін А.М. Інформаційні системи прийняття рішень: навч. посіб. / А.М. Воронін, Ю.К. Зятдінов, А.С. Климова. – К.: НАУ, 2009. – 135 с.
76. Вудсон У. Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников – конструкторов / Вудсон У., Канонер Д.; пер. с англ.; под ред. В.Ф. Венды. – М.: Мир, 1968. – 518 с.
77. Галлай М.Л. Полет самолета с неполной и несимметричной тягой / М.Л. Галлай. – М.: Машиностроение, 1970. – 192 с.
78. 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.
79. 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.

80. Герасимов Б.М. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений: навч. пос. / Б.М. Герасимов, В.М. Локазюк, О.Г. Оксіюк, О.В. Поморова. – К.: Вид-во Європ. ун-ту, 2007. – 335 с.
81. 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.
82. 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.
83. Головаха Р.В. Біотехнічна система для контролю психофізіологічного стану оператора: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.17 / Р.В. Головаха. – Харків, 2004. – 154 с.
84. Гома Х. UML. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений / Х. Гома; пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2002. – 698 с.
85. Граськин С.С. Имитационные модели безопасности полетов / С.С. Граськин, П.Е. Дубовик // Проблемы безопасности полетов: Обзорная информация. – М.: ВИНТИ, 2001. – Вып. 3. – С. 9–20.
86. 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.
87. Гуленко В.В. Почерк личности в социуме. Социодиагностика через наблюдение / В.В. Гуленко // Соционика, ментология и психология личности. – №3. – 1997. – С. 6–10.
88. Даль В. Толковый словарь живого великорусского языка / В. Даль. – Т. 4. – М.: Русский язык, 1980. – 684 с.
89. Дарымов Ю.П. Автоматизация процессов управления воздушным движением: уч. пос. для ВУЗов ГА / Ю.П. Дарымов, Г.А. Крыжановский, В.А. Солодухин, В.Г. Кивько, Б.А. Киров; под ред. Г.А. Крыжановского. – М.: Транспорт, 1981. – 400 с.
90. 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.
91. 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.
92. Денисов В.Г. Инженерная психология в авиации и космонавтике / В.Г. Денисов, В.Ф. Онищенко. – М.: Машиностроение, 1972. – 316 с.
93. Дюк В. Data mining: учеб. курс / В. Дюк, А. Самойленко. – СПб.: Питер, 2001. – 368 с.
94. Епанешников А.М., Епанешников В.А. Delphi 5. Язык Object Pascal / А.М. Епанешников, В.А. Епанешников. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2000. – 368 с.
95. Егоров К.В. Аспекты инженерной деятельности / К.В. Егоров. – М.: МЭИ, 1980. – 85 с.
96. Єгурнов В.П. Підхід до аналізу статистичних даних з безпеки польотів на базі нейронних сіток / В.П. Єгурнов, Ю.В. Сікірда, Д.О. Ященко // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем: междунар. науч.-практ. конф., Кировоград, 17-18 дек. 2003 г.: тезисы докладов. – Кировоград: ГЛАУ, 2003. – С. 77–78.
97. Евдокимов В.И. Вопросы качества жизни летного состава Украины / В.И. Евдокимов. – Кировоград : ГЛАУ, 2002. – 112 с.
98. Железняков Ю.Д. Обзор материалов Дублинского 55 ежегодного семинара фонда безопасности полетов, 4-7 ноября 2002 г. / Ю.Д. Железняков // Проблемы безопасности полетов: Обзорн. инф. – М.: ВИНТИ, 2003. – Вып. 6. – С. 14–33.

99. Жмеренецкий В.Ф. Научно-методические основы построения и функционирования бортовых комплексных систем обеспечения безопасности полетов / В.Ф. Жмеренецкий // Проблемы безопасности полетов: Обзор. инф. – М.: ВИНТИ, 1998. – Вып. 6. – С. 25–32.
100. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
101. Зараковский Г.М. Закономерности функционирования эргатических систем / Г.М. Зараковский, В.В. Павлов. – М.: Радио и связь, 1987. – 232 с.
102. Зайцев В.С. Системный анализ операторской деятельности / В.С. Зайцев. – М.: Радио и связь, 1990. – 119 с.
103. Ильченко М.А. Устойчивость рабочего процесса в двигателях летательных аппаратов / М.А. Ильченко, В.В. Крютченко. – М.: Машиностроение, 1995. – 320 с.
104. Инженерная психология / под ред. Г.К. Середы. – К.: ВШ, 1976. – 308 с.
105. Инженерная психология в военном деле / под общ. ред. чл.- корр. АН СССР Б.Ф. Ломова. – М.: Воениздат МО СССР, 1983. – 224 с.
106. Игнатъева А.В. Исследование систем управления: учеб. пособие для вузов / А.В. Игнатъева, М.М. Максимцов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 157 с.
107. Иванов Э.С. Концепция социально-психиологического обеспечения профилактики иррациональных решений человека-оператора в авиационных эргатических системах / Э.С. Иванов // Проблеми аеронавігації: Тем. зб. наук. праць. – Кіровоград: ДЛАУ, 1996. – С. 56–62.
108. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем / Н.Н. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1973. – 606 с.
109. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / А.Г. Ивахненко. – К.: Техника, 1975. – 311 с.
110. Казак В.Н. Математическая модель системы «Самолет–пилот–среда» в условиях развития особой ситуации в полете / В.Н. Казак, Е.Н. Тачинина // Проблеми інформатизації та управління. – 2006. – №3(18). – С. 1–4.
111. Казак В.Н. Системы автоматического и полуавтоматического управления полетом / В.Н. Казак, В.И. Салимон, А.А. Туник. – К.: НАУ, 2001. – 207 с.
112. Камінський Р.М. Моделювання динаміки оперативності космонавта в умовах тривалого перебування на пілотованих системах / Р.М. Камінський // Космічна наука і технологія. – 1998. – Т.4. – №4. – С. 156–165.
113. Карнаух В.И. Принцип гибкого распределения функций между летчиком и автоматикой в процессе полета летательных аппаратов / В.И. Карнаух, А.В. Харченко // Анализ и синтез авиационных эргатических систем управления: сб. матер. межвуз. науч.-техн. семинара. – К.: КВАИУ, 1989. – Вып. 1. – С. 10–16.
114. Картамышев П.В. Методика лётного обучения / П.В. Картамышев, М.В. Игнатович, А.И. Оркин. – М.: Транспорт, 1987. – 280 с.
115. Касти Д. Большие системы. Связанность, сложность и катастрофы / Д. Касти; пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 216 с.
116. Кинг Д. Создание эффективного программного обеспечения / Д. Кинг; пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 288 с.
117. Кирхар Н.В. Модели деятельности пользователя компьютеризованной системы / Н.В. Кирхар, Д.В. Ходаков // Вестник ХНТУ: Информационные технологии. – № 4(27). – 2007. – С. 370–378.
118. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ: в 3х т. / Д. Кнут; пер. с англ. – Т. 1: Основные алгоритмы. – М.: Мир, 1976. – 735 с.
119. Ковальов Ю.М. Геометричне моделювання та оптимізація складних систем на основі теорії самоорганізації С-простору: дис. ... доктора техн. наук: 05.01.01 / Ю.М. Ковальов. – К., 1998. – 373 с.
120. 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.



121. 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.
122. Конспект лекцій з курсу «Основи теорії прийняття рішень»: Прийняття рішень в умовах небезпеки і ризику / О.М. Рева, Т.Ф. Шмельова. – Кіровоград: ДЛАУ, 1998. – 52 с.
123. Контроль состояния человека-оператора и электрофизиологические помехи: монография / М. В. Фролов, Г. Б. Милованова. – М.: УРСС, 1996. – 160 с.
124. Корнеев В.В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / В.В. Корнеев, А.Ф. Гареев, С.В. Васютин, В.В. Райх. – М.: Нолидж, 2000. – 352 с.
125. Корнеев В.В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / В.В. Корнеев, А.Ф. Гареев, С.В. Васютин, В.В. Райх. – 2-е изд. – М.: Нолидж, 2001. – 496 с.
126. Котик М.А. Природа ошибок человека-оператора (на примерах управления транспортными средствами) / М.А. Котик, А.М. Емельянов. – М.: Транспорт, 1993. – 252 с.
127. Котик М.А. Курс инженерной психологии / М.А. Котик. – Таллин: Валгус, 1978. – 364 с.
128. Котик М.А. Психология и безопасность / М.А. Котик. – Таллин: Валгус, 1981. – 408 с.
129. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман; пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
130. Крохмалюк Н.А. Система психофизиологического обеспечения профессиональной надежности летного состава / Н.А. Крохмалюк, Ю.В. Сикирда // Наукові праці академії: зб. наук. пр. – Кіровоград: ДЛАУ, 2007. – Вип. XII. – С. 246–253.
131. Крохмалюк Н.А. Современные подходы к изучению эмоциональной устойчивости человека-оператора / Н.А. Крохмалюк, Ю.В. Сикирда // Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем: III міжн. наук.-практ. конф., Кіровоград, 10 груд. 2008 р.: тези доповідей. – Кіровоград: ДЛАУ, 2008. – С. 65–66.
132. Крохмалюк Н.А. Характеристики профессиональной надежности авиационных специалистов // Н.А. Крохмалюк, Ю.В. Сикирда / XXIX Всеукр. наук.-практ. конф. молодых ученых та курсантів, яка присвячена Всесвітньому Дню авіації і космонавтики, Кіровоград, 9 квіт. 2009 р.: тези доповідей. – Кіровоград: ДЛАУ, 2009. – С. 44–45.
133. Крыжановский Г.А. Введение в прикладную теорию управления воздушным движением: уч. для ВУЗов ГА / Г.А. Крыжановский. – М.: Машиностроение, 1984. – 368 с.
134. 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.
135. Кудрявцев Е.М. Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах / Е.М. Кудрявцев. – М.: Радио и связь, 1984. – 184 с.
136. 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.
137. 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. – 1000 с.
138. Куренко А.Б. Знаниеориентированные модели, алгоритмы и программы поддержки принятия решений в системе «руководитель полетов – летчик – летательный аппарат» / А.Б. Куренко, А.А. Симонов // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем: междунар. науч.-практ. конф., Кіровоград, 17-18 дек. 2003 г.: тезисы докладов. – Кіровоград: ГЛАУ, 2003. – С. 72–73.
139. Лалетин К.Н. Практическая аэродинамика самолета Як-18Т / К.Н. Лалетин, Г.Т. Ганус, Ю.П. Иванов и др. – М.: Транспорт, 1976. – 216 с.
140. Ланге О. Оптимальные решения / О. Ланге. – М.: Прогресс, 1967. – 285 с.
141. Леонтьев А.Н. Избранные психологические произведения: в 2х т. / А.Н. Леонтьев. – Т.1. – М.: Педагогика, 1983. – 392 с.

142. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность / А.Н. Леонтьев. – М.: Педагогика, 1982. – 280 с.
143. Лебедев Г.Н. Принятие оперативных решений в задачах управления и контроля / Г.Н. Лебедев // Автоматика и телемеханика. – 1976. – №8. – С. 11–18.
144. Лебедев С. Flight dispatch – реальная необходимость / С. Лебедев // Новости аэронавигации. – 2004. – №4. – С. 16–19.
145. Лебедев С.Б. Основы теоретической подготовки диспетчеров по обеспечению полетов / С.Б. Лебедев. – 2-е изд., перер. и доп. – К., МАУ. – 2005. – 796 с.
146. Лейченко С.Д. Человеческий фактор в авиации: монография в 2-х книгах / С.Д. Лейченко, А.В. Малышевский, Н.Ф. Михайлик. – Кн. 1. – Кировоград: ИМЕКС, 2006. – 512 с.
147. Лейченко С.Д. Человеческий фактор в авиации: монография в 2-х книгах / С.Д. Лейченко, А.В. Малышевский, Н.Ф. Михайлик. – Кн. 2. – СПб. – Кировоград: КОД, 2006. – 480 с.
148. 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.
149. Лефевр В.А. Алгебра совести / В.А. Лефевр; пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Когито-центр, 2003. – 418 с.
150. Литвиненко А.Е. Моделирование производственных процессов в автоматизированных системах управления гражданской авиации: учеб. пособие / А.Е. Литвиненко. – К.: КИИГА, 1988. – 72 с.
151. Лингер Р. Теория и практика структурного программирования / Р. Лингер, Х. Миллс, Б. Уитт; пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 406 с.
152. Ломов Б.Ф. Методологические и теоретические проблемы психологии / Б.Ф. Ломов. – М.: Наука, 1984. – 444 с.
153. Ломов Б.Ф. Системность как принцип математического моделирования в психологии / Б.Ф. Ломов // Вопросы кибернетики. – 1979. – Вып. 50. – С. 3–18.
154. Майерс Д. Социальная психология / Д. Майерс; пер. с англ. – 5-е междунар. изд. – СПб.: Питер, 1997. – 688 с.
155. Макаров Р.Н. Психологические основы дидактики летного обучения / Н.А. Нидзий, Ж.К. Шишкин. – М.: МАПЧАК, 2000. – 534 с.
156. Макаров Р.Н. Авиационная педагогика: учебник / Р.Н. Макаров, С.Н. Неделько, А.П. Бамбуркин, В.А. Григореецкий. – М., Кировоград: МНАПЧАК, ГЛАУ, 2005. – 433 с.
157. Макаров Р.Н. Основы формирования профессиональной надежности летного состава гражданской авиации: учеб. пособие / Р.Н. Макаров. – М.: Воздуш. трансп., 1990. – 384 с.
158. Макаров Р.Н. Человеческий фактор: авиационная психология и педагогика. Справочник / Р.Н. Макаров. – М.: Изд-во Междунар. акад. проблем Человека в авиации и космонавтике, 2002. – 490 с.
159. Матряшин Н.П. Математическое программирование / Н.П. Матряшин, В.К. Макеева. – Харьков: Вища шк., 1978. – 160 с.
160. 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.
161. Машков О.А. Концептуальні основи забезпечення функціональної стійкості складних систем керування / О.А. Машков, С.П. Кондратенко, Л.М. Усаченко // Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту: міжнар. наук. конф., Євпаторія, 19-23 трав. 2008 р.: тези доповідей. – Херсон: Херс. нац. техн. ун-тет, 2008. – С. 127–133.
162. Мейер Б. Методы программирования / Б. Мейер, К. Бодуэн. – М.: Мир, 1982. – 329 с.
163. Меньшов А.Л. Космическая эргономика / А.Л. Меньшов. – Л.: Наука, 1971. – 296 с.

164. Методические указания. Автоматизированные системы. Основные положения: РД 50-680-88. – [Введ. 01.01.90]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 7 с.
165. Методичні вказівки. Збірка типових задач з курсу «Інформаційні системи в менеджменті»: методичні вказівки / Ю.В. Сікірда, Т.Ф. Шмельова, А.В. Залевський, Н.В. Столярчук. – Кіровоград: ДЛАУ, 2011. – 78 с.
166. Методичні вказівки. Збірка типових аналітично-розрахункових задач з курсу «Операційний менеджмент»: методичні вказівки / Ю.В. Сікірда, Т.Ф. Шмельова, А.В. Залевський, Н.В. Столярчук, С.Т. Кузнецов. – Кіровоград: ДЛАУ, 2008. – 80с.
167. Методичні вказівки до виконання дипломної роботи для курсантів освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» зі спеціальності 8.100109 «Обслуговування повітряного руху» / Т.Ф. Шмельова, В.П. Чайковський, С.М. Неділько. – Кіровоград: ДЛАУ, 2009. – 34 с.
168. 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. – Кіровоград: ГЛАУ, 2003. – 24 с.
169. Методичні вказівки з організації підготовки магістрів та виконання кваліфікаційної роботи магістра для курсантів всіх спеціальностей академії / Т.Ф. Шмельова, В.П. Чайковський, С.М. Неділько. – Кіровоград: ДЛАУ, 2009. – 18 с.
170. 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: «Транспортная задача. Метод назначений» / О.П. Бондарь, Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда. – Кіровоград: ГЛАУ, 2005. – 40 с.
171. 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. – Кіровоград: ГЛАУ, 2008. – 39 с.
172. 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. – Кіровоград: ГЛАУ, 2005. – 32 с.
173. Методические указания к проведению практических занятий по дисциплине «Основы научных исследований» по теме: «Применение MS Excel для обработки экспериментальных данных» / Т.Ф. Шмелева, Е.В. Суркова. – Ч. 1. – Кіровоград: ГЛАУ, 2006. – 24 с.
174. Методичні вказівки для практичних занять та самостійної підготовки курсантів і слухачів з дисципліни «Основы научных исследований» по темі: «Застосування електронних таблиць MS Excel для обробки експериментальних даних» / Т.Ф. Шмельова, Л.М. Джума, Н.В. Столярчук. – Ч. 2. – Кіровоград: ДЛАУ, 2008. – 24 с.
175. Методичні вказівки до вивчення курсу «Основы теории принятия решений». Програми і системи навчання льотного складу прийняттю рішень в ведучих авіакомпаніях світу / О.М. Рева. – Кіровоград: ДЛАУ, 1996. – 19 с.
176. Методичні вказівки до вивчення курсу «Теорія управління». Однокрокові методи рішення задач з векторним показником ефективності / О.М. Рева. – Кіровоград: ДЛАУ, 1996. – 23 с.
177. Методичні вказівки до вивчення курсу «Основы теории принятия решений». Прийняття рішень шляхом виявлення системи пріоритетів (преваг) авіаспеціаліста / О.М. Рева. – Кіровоград: ДЛАУ, 1996. – 18 с.

178. Методичні вказівки до вивчення курсу «Основи теорії прийняття рішень». Загальна характеристика процесів прийняття рішень / О.М. Рева. – Кіровоград: ДЛАУ, 1997. – 23 с.
179. Методичні вказівки до вивчення курсу «Основи теорії прийняття рішень». Проблеми прийняття рішень у цивільній авіації (вступ) / О.М. Рева. – Кіровоград: ДЛАУ, 1997. – 10 с.
180. Методичні вказівки до вивчення курсу «Основи теорії прийняття рішень». Основні джерела невизначеності та помилок операторів авіаційних ергатичних систем / О.М. Рева. – Кіровоград: ДЛАУ, 1998. – 40 с.
181. Методичні вказівки до вивчення курсу «Основи теорії прийняття рішень». Методи теорії ігор в процесах прийняття і аналізу рішень / О.М. Рева. – Кіровоград: ДЛАУ, 1998. – 21 с.
182. Методичні вказівки до вивчення курсу «Основи теорії прийняття рішень». Колективні рішення в невеликій групі авіаційних операторів: конспект лекцій / О.М. Рева. – Кіровоград: ДЛАУ, 1998. – 34 с.
183. Микинелов А.Л. Оптимизация летной эксплуатации: учеб. пособие для студентов вузов ГА / А.Л. Микинелов, В.Е. Чепига. – М.: Воздуш. трансп., 1992. – 192 с.
184. Майерс И. МВТІ. Определение типов. У каждого свой дар / И. Майерс, П. Майерс. – М: Бизнес-Психологи, 2010. – 320 с.
185. 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.
186. Мокшанов В.И. Человеческий фактор и безопасность полетов при УВД. Проблемы, состояния, перспективы / В.И. Мокшанов, В.Г. Линов // Отчет о работе семинара ИКАО по человеческому фактору: сб. материалов № 4: Circ. ICAO 229-AN/137. – Канада, Монреаль, 1990. – С. А-239-А-257.
187. Москаленко В.В. Психологія соціального впливу: навч.пос. / В.В. Москаленко. – К.: Центр учбової літ-ри, 2007. – 448 с.
188. Москвичев В.В. Информационная поддержка решений диспетчера для управления вынужденной посадкой воздушных судов вне аэродрома: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.13 / В.В. Москвичев. – К., 1998. – 178 с.
189. Морено Я.Л. Социометрия: экспериментальный метод и наука об обществе / Я.Л. Морено; пер. с англ. – М.: Академический проект, 2001. – 428 с.
190. Мулен Э. Теория игр с примерами из математической экономики: Э. Мулен; пер. с франц. – М.: Мир, 1985. – 200с.
191. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер; пер. с нем. – М.: Мир, 1990. – 204 с.
192. 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.
193. Неділько С.М. Основи теорії функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом: монографія / С.М. Неділько. – Кіровоград: ДЛАУ, 2011. – 218 с.
194. 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.
195. Неделько С.Н. Подход к оценке альтернатив завершения полета в нештатных ситуациях, требующих вынужденной посадки воздушного судна / С.Н. Неделько, В.В. Москвичев // Проблемы аэронавигации: тематич. зб. наук. пр. – Кіровоград: ДЛАУ, 1997. – Вип. III. – Ч. II: Удосконалення процесів діяльності та професійної підготовки авіаційних операторів. – С. 17–21.

196. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks / пер. с англ. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 182 с.
197. 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.
198. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / пер. с англ.; под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.
199. Николаев Л.Ф. Аэродинамика и динамика полета транспортных самолетов / Л.Ф. Николаев. – М.: Транспорт, 1990. – 392 с.
200. Орехов А.Н. Диспетчеру о безопасном УВД / А.Н. Орехов. – М.: «Транспорт», 1989. – 96 с.
201. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С.А. Орловский. – М.: Наука. Главная редакция физ. – мат. лит-ры, 1981. – 208 с.
202. 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.
203. Петров К.К. Интеллектуальная навигационная тренажерно-обучающая система: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / К.К. Петров. – СПб., 2006. – 176 с.
204. Подколзина Е.А. Анализ факторов, влияющих на время межполетного простоя воздушных судов / Е.А. Подколзина, Ю.В. Сикирда // Політ-2008: VIII міжнар. наук. конф. студ. та молодих учених, Київ, 10-11 квіт. 2008 р. – К.: НАУ, 2008. – Т. 1. – С. 8.
205. Подколзина Е.А. Факторы, влияющие на длительность межполетного простоя воздушных судов // XXVIII Всеукр. наук.-практ. конф. молодых ученых та курсантів, яка присвячена Всесвітньому Дню авіації і космонавтики. – Кіровоград, 10 квіт. 2008 р.: тези доповідей. – Кіровоград: ДЛАУ, 2008. – С. 34–35.
206. Поліщук С.Т. Методика прогнозування ймовірностей виконання завдання людиною-оператором за критерієм ліміту часу / С.Т. Поліщук // Вісник НАУ. – 2009. – №3. – С. 87–90.
207. Поляк Б.Т. Робастная устойчивость и управление / Б.Т. Поляк, П.С. Щербаков. – М.: Наука, 2002. – 303 с.
208. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 245 с.
209. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа вычислительных актов / Д.А. Поспелов. – М.: Радио и связь, 1989. – 184 с.
210. Постон Г. Теория катастроф и ее приложения / Г. Постон, И. Стюарт; пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 617 с.
211. Присняков В.Ф. Математическое моделирование переработки информации оператором человеко-машинных систем / В.Ф. Присняков, Л.М. Приснякова. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.
212. 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.
213. Прокофьев А.И. Надежность и безопасность полетов: уч. пособие для вузов гражданской авиации / А.И. Прокофьев. – М.: Машиностроение, 1985. – 184 с.
214. Психодіагностика / І.М. Галян. – К.: Академвидав, 2009. – 464 с.
215. Райфа Х. Анализ решений: (введение в проблему выбора в условиях неопределенности) / Х. Райфа; пер. с англ. – М.: Наука, 1977. – 408 с.
216. Рева А.Н. Эргономические основы первоначальной профессиональной подготовки пилотов: монография / А.Н. Рева, К.М. Тумышев. – Алмааты, 2000. – 272 с.
217. Рева А.Н. Эргономические основы первоначальной профессиональной подготовки пилотов: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.14 / А.Н. Рева. – К., 1996. – 376 с.

218. Романенко В.Д. Адаптивное управление технологическими процессами на базе микроЭВМ: учеб. пособие / В.Д. Романенко, Б.В. Игнатенко. – К.: Выща шк., 1990. – 334 с.
219. Романов В.Н. Системный анализ для инженеров / В.Н. Романов. – СПб.: СЗГЗТУ, 2006. – 186 с.
220. Рубец М.И. Методика оценки пригодности подстилающей поверхности к выполнению вынужденной посадки гражданским воздушным судном / М.И. Рубец, В.В. Москвичев // Проблемы аэронавигации: тематич. зб. наук. пр. – Вип. III. – Ч. II: Удосконалення процесів діяльності та професійної підготовки авіаційних операторів. – Кіровоград: ДЛАУ, 1997. – С. 9–15.
221. Рубинштейн С.Л. Основы общей психологии / С.Л. Рубинштейн. – СПб.: Питер, 2007. – 713 с.
222. Рябинин И. Надежность, живучесть и безопасность кораблей / И. Рябинин // Морской сборник. – 1987. – № 8. – С. 62-65.
223. 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.
224. 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.
225. Сёмик Т.М. Современные информационные технологии для изучения механизмов индивидуальной психофизиологической адаптации человека / Т.М. Сёмик, Т.А. Андон // Проблемы програмування: спец. вип. – 2008. – № 2–3. – С. 695–702.
226. 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.
227. Сикирда Ю.В. Интегрированная адаптивная система управления воздушным движением во внештатных полетных ситуациях / Ю.В. Сикирда, Т.Ф. Шмелева // Искусственный интеллект. – 2003. – №4. – С. 365–372.
228. 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.
229. Сікірда Ю.В. Інформаційна модель системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях / Ю.В. Сікірда, О.В. Герасименко // Наукові праці академії: зб. наук. пр. – Кіровоград: ДЛАУ, 2003. – Вип. VII. – Ч. I. – С. 225–234.
230. 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.
231. 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.
232. Сікірда Ю.В. Оптимізація оцінювання дій оператора авіаційної ергатичної системи в особливих випадках польоту на базі нейронних сіток / Ю.В. Сікірда // Комп'ютери. Програми. Інтернет: міжнар. наук.-практ. конф. студ., аспірантів та молодих вчених, Київ, 21-23 квіт. 2003 р.: тези доповідей. – К.: “Політехніка”, 2003. – С. 60.
233. Сікірда Ю.В. Нейросіткова модель інформаційної підтримки оператора авіаційної ергатичної системи в особливих випадках польоту / Ю.В. Сікірда // Автоматика-2003: 10-а міжнар. конф. по автоматичному управлінню, Севастополь, 15-20 верес. 2003 р.: тези доповідей. – Севастополь: СевНТУ, 2003. – С. 109.
234. Сикирда Ю.В. Синтез адаптивной системы управления воздушным движением во внештатных полетных ситуациях / Ю.В. Сикирда, 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.
235. Сікірда Ю.В. Синтез системи інформаційної підтримки авіадиспетчера в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки повітряного судна / Ю.В. Сікірда, О.В. Герасименко // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем: междунар. науч.-практ. конф., Кировоград, 17-18 дек. 2003 г.: тезисы докладов. – Кировоград: ГЛАУ, 2003. – С. 26–27.
236. 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.
237. 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. – Кировоград: КНТУ, 2004.– Вип. 15. – С. 212–217.
238. 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.
239. Сікірда Ю.В. Моделирование развития внештатных ситуаций в полете / Ю.В. Сікірда // Наукові праці академії: зб. наук. пр. – Кировоград: ДЛАУ, 2005.– Вип. VIII. – С. 250–261.
240. Сікірда Ю.В. Проблеми впровадження сучасних інформаційних технологій технічного обслуговування і ремонту повітряних суден / Ю.В. Сікірда // Наукові праці академії: зб. наук. пр. – Кировоград: ДЛАУ, 2006.– Вип. XI. – С. 569–577.
241. Сікірда Ю.В. Автоматизована оцінка потенційних стратегій завершення польоту в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки повітряного судна / Ю.В. Сікірда // Автоматика-2004: 11-та міжнар. конф. по автоматичному управлінню, Київ, 27-30 верес. 2004 р.: тези доповідей. – Т. 3. — К.: НУХТ, 2004. – С. 24.
242. Сікірда Ю.В. Структура інформаційного забезпечення системи підтримки прийняття рішень авіаційного оператора в позаштатних польотних ситуаціях / Ю.В. Сікірда // 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. 104–106.
243. 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.
244. Сікірда Ю.В. Моделирование развития позаштатных полетных ситуаций в условиях риска и неопределенности / Ю.В. Сікірда // Автоматика-2006: 13-та міжнар. конф. з автоматичного управління, Вінниця, 26-29 верес. 2006 р.: тези доповідей. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – С. 274.
245. 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., Кировоград, 10 груд. 2008 р.: тези доповідей. – Кировоград: ДЛАУ, 2008. – С. 6–8.
246. Сікірда Ю.В. Проблеми емоційної стійкості у пілотів цивільної авіації / Ю.В. Сікірда, Н.О. Крохмалюк // Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем: міжнар. наук.-практ. конф., Кировоград, 28-29 жовт. 2009 р.: тези доповідей. – Кировоград: ДЛАУ, 2009. – С. 16–17.
247. Сікірда Ю.В. Автоматизация профессиональной подготовки специалистов аэронавигационного обеспечения полетов / Ю.В. Сікірда, Ю.В. Вовенко, Е.А. Подколзина //

- Автоматика-2008: 15-та міжнар. конф. з автоматичного управління, Одеса, 23-26 верес. 2008 р.: тези доповідей. – Одеса: ОНМА, 2008. – С. 536.
248. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления / И.Б. Сироджа. – К.: Наукова думка, 2002. – 420 с.
249. Сироджа И.Б. Принятие решений в управлении знаниями средствами инженерии квантов знаний / И.Б. Сироджа // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2009. – №2 (346). – С. 161–171.
250. 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.
251. Советов Б.Я. Моделирование систем: учеб. для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2001. – 343 с.
252. Соломенцев Ю.М. Информационно-вычислительные системы в машиностроении / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, В.В. Павлов, А.В. Рыбаков. – М.: Наука, 2003. – 292 с.
253. Состояние безопасности полетов в гражданской авиации государств-участников «Соглашения о ГА и об использовании воздушного пространства» в 2004 г. и за период 2000-2004 г.г. Доклад Межгосударственного авиационного комитета. – М.: МАК, 2005. – 15 с.
254. 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.
255. Стрелков Ю.К. Психология труда, инженерная и профессиональная психология / Ю.К. Стрелков. – М.: Академия, 2004. – 695 с.
256. Таран Т.А. Поддержка принятия решений при рефлексивном управлении / Т.А. Таран, В.Н. Шемаев // *Рефлексивные процессы и управление*. – 2005. – №2. – Июль–декабрь. – Том 5. – С. 101–115.
257. Таха Х.А. Введение в исследование операций: в 2х кн. / Х.А. Таха; пер. с англ. – Кн. 2. – М.: Мир, 1985. – 496 с.
258. Таха Х.А. Введение в исследование операций / Х.А. Таха; пер. с англ. – 6-е издание. – М.: Издат. дом «Вильямс», 2001. – 912 с.
259. Техническая кибернетика: в 2х кн. / под ред. В.В. Солодовникова. – Кн. 1. – М.: Машиностроение, 1967. – 770 с.
260. Технологии работы диспетчеров службы движения гражданской авиации. – М.: Воздуш. трансп., 1987. – 126 с.
261. Ткаченко А.П. Оценка влияния сложных метеоусловий на выполнение полета воздушного судна / А.П. Ткаченко, Ю.В. Сикирда // *Політ-2010. Сучасні проблеми науки: Х міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студ., Київ, 7-9 квіт. 2010 р.: тези доповідей*. – Т. 1. – К.: НАУ, 2010. – С. 35.
262. Ткаченко А.П. Анализ факторов, влияющих на состояние безопасности полетов / А.П. Ткаченко, Ю.В. Сикирда // *Політ-2011. Сучасні проблеми науки: XI міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студ., Київ, 6-7 квіт. 2011 р.: тези доповідей*. – Т. 1. – К.: НАУ, 2011. – С. 12.
263. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений / Э.А. Трахтенгерц. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 376 с.
264. Тулупов В.В. Автоматизована навчальна система для підготовки оперативно-диспетчерського персоналу газотранспортних систем: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / В.В. Тулупов. – Херсон, 2003. – 152 с.
265. Ухтомский А.А. Интуиция совести / А.А. Ухтомский. – СПб.: Петербургский писатель, 1996. – 528 с.
266. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника / Ф. Уоссермен; пер. с англ. – М.: Мир, 1992. – 223 с.
267. Факторы, влияющие на длину посадочной дистанции самолета // *Воздушный транспорт. Зарубежный опыт: Экспресс-информация*. – М.: ЦНТИГА, 1984. – №6. – С. 69–74.



268. Филлипс Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филлипс, Р. Харбор. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 616 с.
269. Филлипс Д. Методы анализа сетей / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас; пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 496 с.
270. Фоменко А.Г. Психологічні аспекти людини-оператора авіаційної ергатичної системи / А.Г. Фоменко, Ю.В. Сікірда // Політ-2008: VIII міжнар. наук. конф. студ. та молодих учених, Київ, 10-11 квіт. 2008 р.: тези доповідей. – Т. 1. – К.: НАУ, 2008. – С. 12.
271. Фоменко А.Г. Аналіз впливу непрофесійних факторів на діяльність людини-оператора авіаційної ергатичної системи / А.Г. Фоменко, Ю.В. Сікірда // XXVIII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та курсантів, яка присвячена Всесвітньому Дню авіації і космонавтики, Кіровоград, 10 квіт. 2008 р.: тези доповідей.– Кіровоград: ДЛАУ, 2008. – С. 36–37.
272. 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.
273. 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.
274. Харченко В.П. Стохастичний мережевий аналіз розвитку польотних ситуацій / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // АВІА-2011: X міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 19-21 квіт. 2011 р.: тези доповідей. – Том 2. – К.: НАУ, 2011. – С. 7.28–7.31.
275. Харченко В.П. Майбутнє аерокосмічних інформаційних систем і керування транспортом / В.П. Харченко // Вісник КМУЦА. – К.: КМУЦА, 1999. – № 2. – С.166–179.
276. 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.
277. Харченко В.П. Принципи організації повітряного простору: навч. посіб. / В.П. Харченко, О.Є. Луппо, В.П. Колотуша. – К.: НАУ, 2006. – 124 с.
278. Хьютсон А. Дисперсионный анализ / А. Хьютсон. – М.: Статистика, 1971. – 88 с.
279. Цибулевский И.Е. Человек как звено следящей системы / И.Е. Цибулевский. – М.: Наука, 1981. – 288 с.
280. 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.
281. Черчмен У. Введение в исследование операций / У. Черчмен, Р. Акоф, Л. Арноф; пер. с англ. – М.: Наука, 1967. – 488 с.
282. Шапкин А.С. Теория риска и моделирование рискованных ситуаций: учебник / А.С. Шапкин, В.А. Шапкин. – М.: Издат.-торг. корпорация «Дашков и К°», 2005. – 880 с.
283. 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.
284. Шевченко В. Нейронные сети / В. Шевченко // Компьютерное обозрение. – 4 дек. 1996 г. – №46 (70). – С. 19–25.
285. Шехтер М.С. Зрительное опознание: закономерности и механизм / М.С. Шехтер. – М.: Педагогика, 1981. – 264 с.
286. 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.
287. 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.
288. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах “человек–техника” / Г.П. Шибанов. – М.: Машиностроение, 1983. – 263 с.

289. Ширшов В.Г. Оцінка ризиків функціонування авіаційної транспортної системи / В.Г. Ширшов // Вісник КМУЦА. – К.: КМУЦА, 1999. – №1. – С. 265–268.
290. 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.
291. 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.
292. 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.
293. Шмелева Т.Ф. Аэронавигационные сборы: проблемы совершенствования / Т.Ф. Шмелева, В.И. Ляшко // Наукові праці академії. – 1998. – Вип. III. – Ч. II. – С. 131–136.
294. 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.
295. Шмельова Т.Ф. Метод динамічного моделювання в дослідженні процесів управління в складних полієргатичних системах / Т.Ф. Шмельова, Т.О. Слюсаренко // Збірник наукових праць КДТУ. – 2002. – Вип. 11. – С. 47–50.
296. 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. – 2002. – Вип. V. – Ч. I. – С. 237–243.
297. Шмелева Т.Ф. Моделирование деятельности диспетчерской смены методами теории графов / Т.Ф. Шмелева, Л.А. Сагановская // Искусственный интеллект. – 2003. – №4. – С. 372–375.
298. 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.
299. 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.
300. 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.
301. 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.
302. 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.
303. 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 КНТУ. – Вип 23. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – С. 45–51.
304. 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. КНТУ. – Вип 24. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 152–158.
305. 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.

306. Шмельова Т.Ф. Критерії формування змісту підготовки операторів авіаційних систем / Т.Ф. Шмельова, В.О. Кузнєцов, А.М. Невиніцин // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем: междунар. науч.-практ. конф., Кировоград, 17-18 дек. 2003 г.: тезисы докладов. – Кировоград: ГЛАУ, 2003. – С. 8–12.

307. Шмелева Т.Ф. Оптимизация топологии локальной сети тренажерного центра с помощью теории графов / Т.Ф. Шмелева, В.А. Зозуля // Современные информационные технологии в управлении и подготовке операторов сложных систем: междунар. науч.-практ. конф., Кировоград, 17-18 дек. 2003 г.: тезисы докладов. – Кировоград: ГЛАУ, 2003. – С. 79–81.

308. Шмелева Т.Ф. Оптимизация трудовой деятельности в диспетчерской смене методами теории игр / Т.Ф. Шмелева, Л.А. Сагановская // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем: междунар. науч.-практ. конф., Кировоград, 17-18 дек. 2003 г.: тезисы докладов. – Кировоград: ГЛАУ, 2003. – С. 31–32.

309. Шмелева Т.Ф. Построение информационной модели аэронавигационного обеспечения полетов с использованием нейронных сетей / Т.Ф. Шмелева, О.В. Артеменко // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем: междунар. науч.-практ. конф., Кировоград, 17-18 дек. 2003 г.: тезисы докладов. – Кировоград: ГЛАУ, 2003. – С. 22–24.

310. Шмелева Т.Ф. Автоматизация управления предотвращением возникновения внештатных ситуаций / Т.Ф. Шмелева // Автоматика-2004: 11-та міжнар. конф. по автоматичному управлінню, Київ, 27-30 верес. 2004 р.: тези доповідей. – Т. 3. – К.: НУХТ, 2004. – С. 18.

311. Шмельова Т.Ф. Автоматизація відбору персоналу служби аеронавігаційної інформації / Т.Ф. Шмельова, Н.В. Столярчук // 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. 107–109.

312. Шмельова Т.Ф. Аеронавігаційне планування та забезпечення польотів із застосуванням методів логістики / Т.Ф. Шмельова, М.А. Ротарь // 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. 116–118.

313. Шмелева Т.Ф., Иерархическая декомпозиция системі 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.

314. Шмелева Т.Ф. Корреляционно-регрессионный анализ объемов перевозок в авиакомпаниях / Т.Ф. Шмельова, А.А. Павленко // Політ-2005: V міжнар. наук. конф. студ. та молодих учених, Київ, 12-13 квіт. 2005 р.: тези доповідей. – К.: НАУ, 2005. – С. 45.

315. Шмельова Т.Ф. Методологічні аспекти проектування дизайну повітряного простору / Т.Ф. Шмельова, П.П. Кудь, С.А. Власов // VII міжнар. наук.-техн. конф. “АВІА-2006”, Київ, 25-27 верес. 2006 р.: тези доповідей. – К.: НАУ, 2006. – Т.1. – С. 21.57–21.59.

316. Шмельова Т.Ф. Проблематика відбору зразків трафіку для моделювання структур повітряного простору в умовах прискореного часу / Т.Ф. Шмельова, П.П. Кудь, С.А. Власов // Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці, освіті та економіці: всеукр. наук.-практ. конф., Луганськ, 11-13 груд. 2006 р.: тези доповідей. – Луганськ: ЛНПУ ім. Т. Шевченка, 2006. – С. 230–231.

317. Шмельова Т.Ф. Оцінювання ризику прийняття рішення пілотом з урахуванням індивідуальних якостей / Т.Ф. Шмельова, О.В. Коваленко // Політ-2007: VII міжнар. наук. конф. студ. та молодих учених, Київ, 12-13 квіт. 2007 р.: тези доповідей. – К.: НАУ, 2007. – С. 104.

318. Шмельова Т.Ф. Визначення умовної завантаженості авіадиспетчера з урахуванням складності технологічних процедур / Т.Ф. Шмельова, О.В. Пауков // Політ-2007: VII міжнар.

- наук. конф. студ. та молодих учених, Київ, 12-13 квіт. 2007 р.: тези доповідей. – К.: НАУ, 2007. – С. 103.
319. Шмельова Т.Ф. Формалізація процесу побудови дизайну повітряного простору в термінах методології структурного проектування і аналізу / Т.Ф. Шмельова, П.П. Кудь, С.А. Власов // 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. 22.13–22.16.
320. 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.
321. 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.
322. Шмелева Т.Ф. Расчет комплексного показателя пригодности специалиста к самостоятельной работе на авиапредприятии / Т.Ф. Шмелева, Л.А. Сагановская // 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. 197–198.
323. Шмелева Т.Ф. Автоматизация отбора персонала на авиационном предприятии / Т.Ф. Шмелева // Профессиональная подготовка авиационных специалистов в свете современных требований: междунар. науч.-практ. конф., Кировоград, 7 сент. 2006 г.: тезисы докладов. – Кировоград: ГЛАУ, 2006. – С. 129–131.
324. 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.
325. 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.
326. 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.
327. 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.
328. 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.
329. 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.
330. 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.
331. 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: ІХ міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 21-23 верес. 2009 р.: тези доповідей. – К.: НАУ, 2009. – С. 115–118.
332. Шмелева Т.Ф. Использование линий передачи данных как средства совершенствования взаимодействия авиадиспетчера и экипажа воздушного судна / Т.Ф. Шмелева, Ю.М. Кирилловский // 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. 194–196.
333. Шмелева Т.Ф. Автоматизация процесса загрузки воздушного судна / Т.Ф. Шмелева, А.В. Амосова, А.С. Тимошенко // 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. 191–194.
334. 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.
335. 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., Кіровоград, 27-28 жовт. 2011 р.: тези доповідей. – Кіровоград: ДЛАУ, 2011. – С. 44–47.
336. Шмельова Т.Ф. Інфологічна модель даних в автоматизованій системі відбору кадрів / Т.Ф. Шмельова, Л.А. Сагановська // 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. 38–40.
337. 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., Кировоград, 27-28 окт. 2010 г.: тезисы докладов. – С. 110–114.
338. Шмельова Т.Ф. Технологія розробки дерева прийняття рішень у випадку не випуску шасі / Т.Ф. Шмельова, М.С. Пархоменко // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем: междунар. науч.-практ. конф., Кировоград, 27-28 окт. 2010 г.: тезисы докладов. – С. 114–117.
339. 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., Кировоград, 27-28 окт. 2010 г.: тезисы докладов. – С. 122–125.
340. 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., Кировоград, 27-28 окт. 2010 г.: тезисы докладов. – С. 125–129.
341. 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. – Київ: НАУ, 2011. – С. 18.

342. Шмельова Т.Ф. Мережеве планування при плануванні курсів підготовки та підтримання/відновлення кваліфікації фахівців перед польотного інформаційного обслуговування / Т.Ф. Шмельова, О.О. Кеслер // Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем: VI міжнар. наук.-практ. конф., Кіровоград, 27-28 жовт. 2011 р. – Кіровоград: ДЛАУ, 2011. – С. 47–48.
343. 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.
344. Шмельова Т.Ф. Прийняття рішення 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.
345. 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.
346. Шмелева Т.Ф. Качественный анализ семантической модели развития полетной ситуации / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда // Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем: V міжнар. наук.-практ. конф., Кіровоград, 27-28 жовт. 2010 р.: тези доповідей. – Кіровоград: ДЛАУ, 2010. – С. 117–121.
347. 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.
348. 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.
349. 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.
350. 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.
351. 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.
352. Шмельова Т.Ф. Оптимізація інформаційної підготовки прийняття рішень в авіаційній ергатичній системі / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // Искусственный интеллект: междунар. науч.-техн. конф., п. Кацивели, Крым, Украина, 16-20 сент. 2002 г.: тезисы докладов. – Таганрог-Донецк: Таганрогский государственный радиотехнический университет, 2002. – С. 273–277.
353. 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.
354. 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.

355. 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.

356. 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.

357. 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.

358. Шмельова Т.Ф. Декомпозиція системи управління повітряним рухом при дослідженні процесів діяльності людини-оператора в неочікуваних умовах експлуатації повітряного судна / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, І.Л. Якуніна // 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.

359. Шмелева Т.Ф. Модель управления развитием полетной ситуации с учетом деятельности человека-оператора / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда // 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.

360. Шмельова Т.Ф. Прогнозна модель розвитку польотної ситуації з врахуванням прийняття рішення людиною-оператором авіаційної ергатичної системи / Т.Ф. Шмельова, 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.

361. Шмелева Т.Ф. Моделирование поведенческой деятельности человека-оператора авиационной эргатической системы / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда // Автоматизация: проблемы, идеи, решения – 2010: міжнар. наук.-техн. конф., Севастополь, 6-10 верес. 2010 р.: тези доповідей. – Севастополь: СевНТУ, 2010. – С. 76–80.

362. Шмельова Т.Ф. Моделювання прийняття рішення людиною-оператором авіаційної ергатичної системи в неочікуваних умовах експлуатації повітряного судна / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда // Автоматика-2009: 16-та міжнар. конф. з автоматичного управління, Чернівці, 22-25 верес. 2009 р. – Чернівці: ЧНУ, 2009. – С. 22–23.

363. Шмельова Т.Ф. Програма навчальної дисципліни «Теорія управління» галузі знань 0701 «Транспорт і транспортна інфраструктура» напрямку підготовки 6.070102 «Аеронавігація», професійного спрямування «Обслуговування повітряного руху» варіативної компоненти «Управління повітряним рухом», освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр, змістовий модуль 1 «Авіаційна ергатична система», змістовий модуль 2 «Управління складними системами» / Т.Ф. Шмельова. – Кіровоград, ДЛАУ, 2010. – 13 с.

364. Шмельова Т.Ф. Програма навчальної дисципліни «Теорія управління» галузі знань 0701 «Транспорт і транспортна інфраструктура» напрямку підготовки 6.070102 «Аеронавігація», професійного спрямування «Обслуговування повітряного руху» варіативної компоненти «Управління повітряним рухом», освітньо-кваліфікаційний рівень – спеціаліст, змістовий модуль 1 «Авіаційна ергатична система», змістовий модуль 2 «Управління складними системами» / Т.Ф. Шмельова. – Кіровоград, ДЛАУ, 2010. – 14 с.

365. Шмельова Т.Ф. Програма навчальної дисципліни «Теорія управління» галузі знань 0701 «Транспорт і транспортна інфраструктура» напрямку підготовки 6.070102 «Аеронавігація», професійного спрямування «Обслуговування повітряного руху» варіативної компоненти «Управління повітряним рухом», освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр, змістовий модуль 1 «Авіаційна ергатична система», змістовий модуль 2 «Управління складними системами», змістовий модуль 3 «Управління персоналом» / Т.Ф. Шмельова, М.І. Півень. – Кіровоград, ДЛАУ, 2010. – 18 с.

366. Шмельова Т.Ф. Програма навчальної дисципліни «Методологія та методи наукових досліджень» напрямку підготовки 1001 «Авіація і космонавтика», спеціальність 8.100108 «Експлуатація літальних апаратів», освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр / Т.Ф. Шмельова. – Кіровоград, ДЛАУ, 2010. – 10 с.
367. Шмельова Т.Ф. Програма навчальної дисципліни «Методологія та методи наукових досліджень» напрямку підготовки 1001 «Авіація і космонавтика», спеціальність 8.100109 «Обслуговування повітряного руху», освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр / Т.Ф. Шмельова. – Кіровоград, ДЛАУ, 2010. – 9 с.
368. Шмельова Т.Ф. Програма навчальної дисципліни «Методологія та методи наукових досліджень» галузі знань 0701 «Транспорт і транспортна інфраструктура» напрямку підготовки 6.070102 «Аеронавігація», професійного спрямування «Обслуговування повітряного руху» варіативної компоненти «Управління повітряним рухом», освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр / Т.Ф. Шмельова. – Кіровоград, ДЛАУ, 2010. – 13 с.
369. Щеголев Е.А. Проблема неопределенности положений нормативных документов, регламентирующих принятие решений во внестатных полетных ситуациях / Е.А. Щеголев, Ю.В. Сикирда // Політ-2007: VII міжнар. наук. конф. студ. та молодих учених, Київ, 12-13 квіт. 2007 р.: тези доповідей. – К.: НАУ, 2007. – С. 242.
370. Щоголев Є.А. Аналіз розвитку позаштатних польотних ситуацій за допомогою дерева рішень / Є.А. Щоголев, Ю.В. Сікірда // Політ-2006: VI міжнар. наук. конф. студ. та молодих учених, Київ, 11-12 квіт. 2006 р.: тези доповідей. – К.: НАУ, 2006. – С. 188.
371. Щепотко Л.А. Моделирование областей достижимости воздушного судна в аварийных ситуациях, требующих экстренного завершения полета / Л.А. Щепотко, В.Н. Неделько // Наукові праці академії: зб. наук. пр. – Кіровоград: ДЛАУ, 2000. – Вип. V. – Ч. I. – С. 217–226.
372. Юнг К.Г. Психологические типы / К.Г. Юнг; пер. с англ.. – М.: Университетская книга, АСТ, 1996. – 714 с.
373. Human Factors Guidelines for Safety Audits Manual / Doc. 9806-AN/763. – 1-st Edition. – Canada, Montreal: International Civil Aviation Organization, 2002. – 138 p.
374. ATM Services' Personnel / ESARR 5. – 2-nd ed. – European Organisation For The Safety Of Air Navigation, 2002. – 24 p.
375. ATM Training Progression and Concepts. – European Organisation For The Safety Of Air Navigation, 2004. – 56 p.
376. 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.
377. 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.
378. Boyd J.R. Organic Design for Command and Control / J.R. Boyd. – USA, Atlanta, Georgia, 2005. – 40 p.
379. Campbell R.D. Human Performance and Limitations in Aviation / R.D. Campbell, M. Bagshaw. – 3-rd ed. – UK: Blackwell Science Ltd, 2002. – 48 p.
380. 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.
381. 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.
382. Flueler T. Decision Making for Complex Socio-Technical Systems: Robustness from Lessons Learned in Long-Term Radioactive Waste Governance (Environment & Policy) / T. Flueler. – USA: Springer, 2006. – 386 p.
383. Fundamental Human Factors Concepts / CAP 719. – UK: CAA, 2002. – Retrieved from CAA on 12 September 2009. – 38 p.



384. Hertz J. Introduction to the Theory of Neural Computation / J. Hertz, A. Krogh, R.G. Palmer. – USA: Addison-Wesley Publishing Company, 1991. – 327 p.
385. Magee J.F. Decision Trees for Decision Making / J.F. Magee // Harvard Business Review. – 1964. – July-August. – P. 126–138.
386. Minsky M.L. Perceptrons / M.L. Minsky, S.A. Papert. – USA, Massachusetts, Cambridge: MIT press, 1969. – 321 p.
387. Haykin S. Neural Networks: a Comprehensive Foundation / S. Haykin. – USA, New York: MacMillan College Publishing Co., 1994. – 345 p.
388. 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.
389. 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.
390. 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. – №3. – P. 5–17.
391. Shmelova T. Using of GEO Informaision System Based on WEB Tehnologies for Quality Assurance in the Air Navigaion Services / T. Shmelova, S. Vlasov // Aviation in the XXIst century: Second World Congress, NAU, Sept. 19-21, 2005. – K.: NAU, 2005. – P. 46–49.
392. 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.
393. 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.
394. Aviation Accident Statistics [Electronic resource] / National Transportation Safety Board. – Mode of access: [www.ntsb.gov/aviation/aviation.htm](http://www.ntsb.gov/aviation/aviation.htm). – Last access: 2012. – Title from the screen.
395. ASN Aviation Safety Database [Electronic resource] / Flight Safety Foundation. – Mode of access: <http://aviation-safety.net>. – Last access: 2012. – Title from the screen.
396. EASA [Electronic resource] / European Aviation Safety Agency. – Mode of access: [easa.europa.eu](http://easa.europa.eu). – Last access: 2012. – Title from the screen.
397. 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: 2012. – Название с экрана.
398. Аналіз рівня безпеки польотів та виявлення потенційних факторів аварійності з цивільними повітряними суднами України у 1 півріччі 2010 року [Електронний ресурс] / Державіаслужба.– Режим доступу: [avia.gov.ua>uploads/documents/7555.doc](http://avia.gov.ua/uploads/documents/7555.doc). – Последний доступ: 2012. – Название с экрана.
399. МАК [Электронный ресурс] / Межгосударственный авиационный комитет. – Режим доступа: [www.mak.ru](http://www.mak.ru). – Последний доступ: 2012. – Название с экрана.
400. 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: 2012. – Название с экрана.
401. 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.
402. А.с. Комп'ютерна програма «Вибір передпольотної інформації і прийняття рішення на виліт для автоматизованої системи підготовки передпольотної інформації (АСПІ)»: 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.

403. 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.

404. 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.

# ДОДАТКИ

## Додаток А

### Класифікація причин, видів та наслідків позаштатних польотних ситуацій. Імовірності виникнення позаштатних польотних ситуацій

#### А.1. Класифікація причин виникнення позаштатних польотних ситуацій

**Причиною** виникнення позаштатної польотної ситуації називається сукупність взаємопов'язаних факторів, що призвели до позаштатної ситуації.

**Фактором** є суттєва обставина, яка впливає на виникнення небезпечної ситуації (ризик).

Фактори, що впливають на безпеку польотів, поділяються на три основні групи: людський, технічний фактори і фактор середовища, пов'язаний з недоліками ОПР, метеозабезпечення та аеродромно-технічного забезпечення польотів.

Причинність авіаційних подій останнє десятиріччя практично не змінюється: 70-80 % аварій і катастроф відбувається через людський фактор і 15-20 % – через конструктивно-виробничі недоліки авіаційної техніки.

Класифікація причин виникнення позаштатних ситуацій з урахуванням їх взаємозв'язку включає три рівні (рис. А.1):

- безпосередні причини/фактори (помилки екіпажу, відмови авіаційної техніки, небезпечний вплив зовнішнього середовища);
- супутні причини/фактори, котрі сприяють негативному розвитку особливої ситуації в польоті (втома екіпажу, складні метеоумови та ін.);
- головні причини/фактори, котрі включають недоліки в організації на всіх рівнях авіаційно-транспортної системи, ергономічні та конструктивно-виробничі недоліки ПК.

**Головні фактори** – обставини, пов'язані з недоліками в організації та управлінні діяльністю авіації, ергономічними і конструктивно-виробничими недоліками ПК.

Головними факторами, що впливають на безпеку польотів, є організаційні фактори на всіх рівнях управління цивільною авіацією, у тому числі досконалість системи державного регулювання і нормативного забезпечення та нагляду за діяльністю цивільної авіації, забезпечення професійної придатності авіаційного персоналу, забезпечення льотної придатності ПК, забезпечення безпеки польотів під час організації льотної роботи, ОПР, аеродромному та метеорологічному забезпеченні, уніфікація пілотажно-навігаційного обладнання ПК.

У сучасних умовах актуальною є проблема невідповідності положень міжнародних і внутрішньодержавних нормативних документів, які регламентують виконання польотів, наприклад, розбіжності в метричних одиницях вимірювання параметрів польоту ПК (табл. А.1), що при взаємодії з екіпажами різних держав в єдиному повітряному просторі може призвести до помилки оператора і створення позаштатної ситуації.

Таблиця А.1

Порівняльна таблиця невідповідності метричних числень

Параметри	Одиниця вимірювання (Україна)	Одиниця вимірювання (ІКАО)
Швидкість польоту	км/год	вузол
Ешелонування	м	фут
Швидкість зниження	м/с	фут/хв
Атмосферний тиск	мм. рт. ст.	мбар
Початковий рівень вимірювання висоти під час заходу на посадку	Відносно висоти аеродрому (відносна висота)	Барометрична висота стандартної атмосфери (абсолютна висота)

Головні причини/фактори зубумовлюють виникнення безпосередніх причин виникнення позаштатних польотних ситуацій, тому основні напрями профілактичної діяльності повинні бути спрямовані на усунення недоліків на рівні головних причин/факторів.

**Безпосередні фактори** – обставини, котрі безпосередньо призвели до авіаційної події і пов'язані з помилками екіпажу або відмовами техніки.

Безпосередніми факторами аварійності ПК є фактори: екіпажу (людський фактор), технічний фактор (відмови систем ПК) і недоліки в організації підготовки та забезпечення польотів.

**Супутні фактори** – обставини, які сприяли негативному розвитку ОСП. Супутніми факторами, що впливають на розвиток аварійної ситуації в польоті, є психофізіологічний стан екіпажу, недоліки в підготовці та забезпеченні польоту, стан зовнішнього середовища.

З усіх перерахованих причин особливу увагу привертають три групи (класи) причин АП, що обумовлені недостатньою ефективністю функціонування одного з ланок складної ЛМС: екіпаж, авіаційна техніка, умови польоту. Відповідно до цього більшість дослідників-аваріологів у якості *основних груп причин АП* розглядають: відмови техніки, помилкові дії екіпажу та вплив екстремальних факторів польоту.

**Відмовний стан** (функціональна відмова, вид відмови системи) – непрацездатний стан системи в цілому, що характеризується конкретним порушенням її функцій незалежно від причин, що викликають цей стан. Відмовний стан (вид відмови системи) визначається на рівні кожної системи через наслідки, що впливають на функціонування цієї системи. Він характеризується впливом на інші системи і на літак у цілому.

**Помилка** – подія, що полягає у неправильних діях екіпажа або персоналу з технічного обслуговування.

**Зовнішні впливи (явища)** – події, джерело походження яких не пов'язане з конструкцією літака, такі як атмосферні умови (наприклад, порив вітру, температурна інверсія, зледеніння й удар блискавки), стан ЗПС, пожежа в кабіні або багажному відсіку. Сюди не відносяться диверсійні акти.

**Продовжений безпечний політ і посадка** – здатність продовжити керований політ і виконати посадку в придатному аеропорті, можливо з використанням аварійних процедур, але без необхідності застосування пілотом виняткової льотної майстерності або надмірних зусиль. При цьому під час польоту або посадки можуть мати місце деякі ушкодження літака, спричинені відмовним станом.

Дуже важливим критерієм розподілу АП на різні класи, групи може бути така проста ознака, як наявність або відсутність можливостей у ПК як об'єкта керування, благополучно завершити виконання польоту. Так, якщо АП відбулося з причин, пов'язаних з відмовами авіаційної техніки, то вважається, що в екіпажа були відсутні які-небудь можливості закінчити політ благополучно. Якщо АП відбулося через зовнішні причини, то вважається, що після відмови авіаційної техніки, що спричинило істотне зниження можливостей ПК, екіпаж не справився з керуванням ПК. У тому випадку, якщо АП було викликано помилковими діями екіпажу на справному літаку, то вважається, що ПК мало достатні можливості і були способи керування, що приводять до успішного завершення польоту.

## **А.2. Класифікація позаштатних польотних ситуацій**

Функціонування АТС обумовлюється впливом на неї безлічі системних і позасистемних факторів, у тому числі і несприятливих. Результатом впливу цих факторів, як і їхньої сукупності, може стати неблагополучне завершення будь-якого польоту.

Виникнення в діяльності АТС потенційної небезпеки для успішного завершення польоту називається *позаштатною (особливою) ситуацією*.

**Особлива (позаштатна) ситуація (ефект)** – ситуація, що виникає в польоті в результаті впливу несприятливих факторів або їх сполучення, та призводить до зниження безпеки польоту.

*За ступенем небезпеки позаштатні ситуації поділяють на такі:*

- нормальна ситуація;
- ускладнення умов польоту;
- складна ситуація;
- аварійна ситуація;

– катастрофічна ситуація.

На рис. А.2 наводиться схема процесу виникнення несприятливої події.



Рис. А.1. Класифікація причин виникнення позаштатних польотних ситуацій

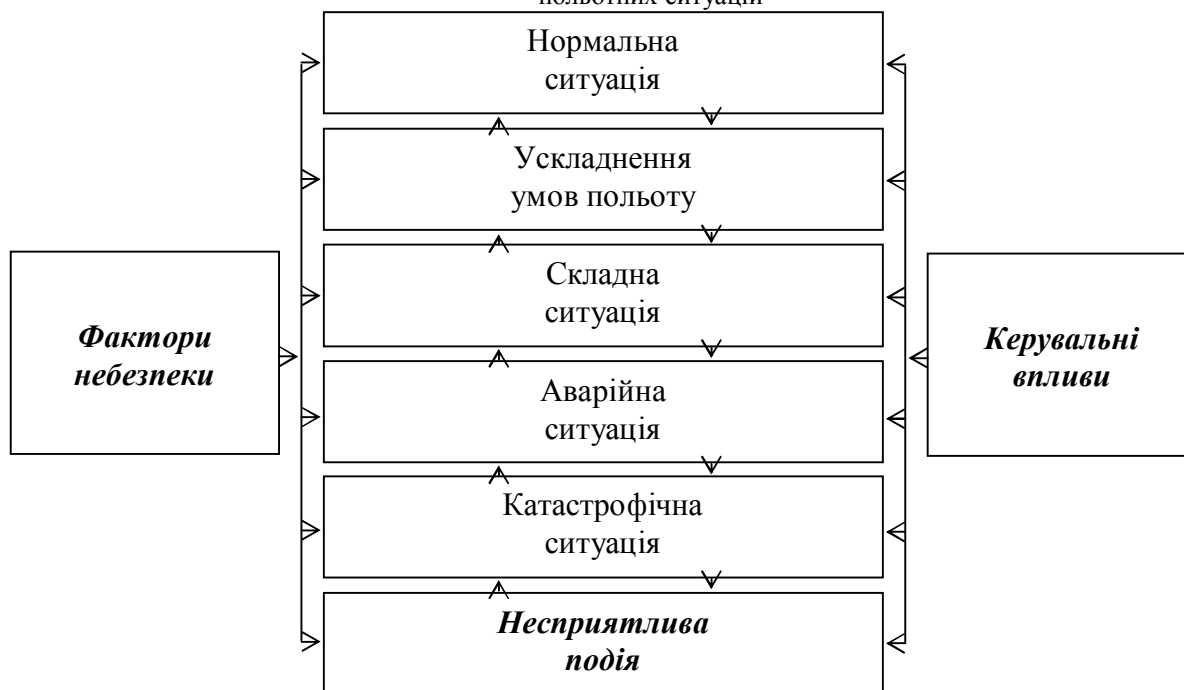


Рис. А.2. Схема процесу виникнення несприятливої події

*В якості критеріїв класифікації позаштатних ситуацій прийняті:*

- ступінь погіршення льотних характеристик, характеристик стійкості й керованості, міцності і роботи систем;
- ступінь збільшення робочого (психофізіологічного) навантаження на екіпаж;
- дискомфорт, травмування або загибель людей, що знаходяться на борту.

З огляду на зазначені критерії, розглянемо формулювання позаштатних ситуацій.

**Нормальна ситуація (нормальний ефект)** характеризується відсутністю погрози для життя і здоров'я людей, тобто коли на систему не діють фактори небезпеки або діючим факторам протипоставлені еквівалентні за своєю ефективністю керуючі впливи системи забезпечення польотів.

**Ускладнення умов польоту (незначний ефект)** – позаштатна ситуація, що характеризується незначним збільшенням робочого (психофізіологічного) навантаження на екіпаж, або незначним погіршенням характеристик стійкості й керованості чи льотних характеристик.

Ускладнення умов польоту не призводить до необхідності негайної або непередбаченої заздалегідь зміни плану польоту і не перешкоджає його благополучному завершенню.

У разі ускладнення умов польоту допускається зміна плану польоту відповідно до вказівок КЛЕ (при дотриманні ознак, зазначених вище).

Прикладом ускладнення умов польоту може бути відмова одного з трьох двигунів на літаку під час польоту на ешелоні, або відмова під час УПР основного, двічі зарезервованого комплексу радіостанції.

**Складна ситуація (істотний ефект)** – позаштатна ситуація, що характеризується:

- помітним погіршенням характеристик стійкості та керованості або льотних характеристик, і / або виходом одного чи декількох параметрів за експлуатаційні обмеження, але без досягнення граничних обмежень, або

- зменшенням здатності екіпажу справитися з несприятливими умовами (виниклою ситуацією) як через збільшення робочого навантаження, так і через умови, що знижують ефективність дій екіпажу.

Запобігання переходу складної ситуації в аварійну або катастрофічну може бути забезпечено своєчасними і правильними діями членів екіпажу (відповідно до КЛЕ), у тому числі негайною зміною плану, профілю або режиму польоту.

Прикладами складної ситуації можуть бути:

- ситуація, що виникає в разі відмові другого двигуна в режимі крейсерського польоту з одним двигуном, що відмовив, на багатодвигуновому літаку;

- ситуація, що виникає під час виходу літака за межі допустимого кута атаки, але не досягає кута атаки звалювання;

- відмова при УПР двох комплектів радіостанцій у наведеній вище ситуації.

**Аварійна ситуація (аварійний ефект)** – позаштатна ситуація, що характеризується:

- значним погіршенням характеристик стійкості й керованості або льотних характеристик, і/або досягненням (перевищенням) граничних обмежень;

- фізичним стомленням або таким робочим навантаженням екіпажа, що вже не можна покладатися на те, що він виконає свої задачі точно або цілком.

Запобігання переходу аварійної ситуації в катастрофічну вимагає високої професійної майстерності членів екіпажу.

Приклади аварійної ситуації:

- ситуація, що виникає в разі відмові такої кількості двигунів на літаку, за якого горизонтальний політ на будь-якій висоті неможливий;

- ситуація, що виникає при мимовільному виході літака на кути атаки, за яких відбувається звалювання літака;

- відмова всіх комплектів радіостанцій у наведених ситуаціях.

**Катастрофічна ситуація (катастрофічний ефект)** – позаштатна ситуація, для якої припускається, що при її виникненні запобігти загибелі людей виявляється практично неможливим.

З наведених визначень видно, що тільки в одній ситуації – катастрофічній – однозначно визначені її наслідки – катастрофа. Результатами інших ситуацій можуть бути як авіаційні події (катастрофа, аварія, поломки), так і передумови до авіаційних подій.

Особливе значення в забезпеченні безпеки польоту надається у разі відмов таких життєво важливих систем літака, як силова установка й енергоживлення літака (відмова двигуна

(двигунів), відмова систем ПК, що призводять до необхідності зміни плану або профілю польоту, у тому числі до вимушеної посадки, пожежа на ПК).

У Наставлянні з виконання польотів у цивільній авіації розглядаються *особливі випадки* – ситуації, що виникають у результаті раптової відмови авіаційної техніки або потрапляння ПК в умови, що вимагають від екіпажу дій, які відрізняються від звичайного пілотування ПК.

*До особливих випадків у польоті належать:*

- пожежа на ПК;
- утрата стійкості, керованості, порушення міцності;
- відмови систем ПК, що призводять до необхідності зміни плану або профілю польоту, у тому числі до вимушеної посадки;
- відмова двигуна (двигунів);
- вимушена посадка поза аеродромом;
- потрапляння ПК у небезпечне метеорологічне явище;
- утрата радіозв'язку (відмова бортових або наземних систем радіозв'язку);
- втрата орієнтування;
- напад на екіпаж (пасажирів);
- поранення або раптове погіршення здоров'я членів екіпажа (пасажирів);
- відмова радіолокаційних засобів УПР і радіотехнічного забезпечення на аеродромі посадки.

У документах ІКАО розглядаються *аварійні стадії* – загальний термін, що означає різних обставин стадію невизначеності, стадію тривоги або стадію нещастя.

*Стадія невизначеності* – ситуація, що характеризується наявністю непевності щодо безпеки ПК і осіб, що перебувають на його борту (кодове слово, яке використовується для позначення стадії невизначеності - INCERFA).

*Стадія тривоги* – ситуація, за якої існує побоювання за безпеку ПК і осіб, що перебувають на його борту (ALERFA).

*Стадія нещастя* – ситуація, що характеризується наявністю обґрунтованої впевненості в тому, що ПК і особам, що перебувають на його борту, загрожує серйозна і безпосередня небезпека або потрібна негайна допомога (DETRESFA).

Таким чином, можна зробити такі висновки:

- по-перше, усі переходи авіаційної транспортної системи з однієї ситуації в іншу зумовлені дією на неї факторів небезпеки (спрямованих на збільшення імовірності катастрофічного результату) і керувальних впливів (спрямованих на зменшення імовірності катастрофічного результату);
- по-друге, процес виникнення і розвитку несприятливих подій характеризується переводом стану системи з менш небезпечної ситуації в більш небезпечну, що може відбуватися миттєво або поступово;
- по-третє, процес розвитку несприятливої події носить оборотний характер.

Важливість зроблених висновків полягає в їх необхідності для побудови стратегії профілактичної роботи в попередженні несприятливих подій, оскільки оцінити небезпеку факторів цих подій і ефективність керувальних дій можна, тільки якщо відоме значення небезпеки кожної ситуації.

Оцінювання небезпеки ситуацій - процедура визначення імовірності її розвитку в катастрофу і встановлення середніх значень небезпеки ситуацій, їх верхніх і нижніх меж.

Для оцінювання значення небезпеки позаштатних ситуацій використовуються такі методи:

- аналіз даних статистики несприятливих подій;
- експертна оцінка небезпеки;
- тренажерне і математичне моделювання.



### А.3. Класифікація наслідків позаштатних польотних ситуацій

Позаштатні ситуації призводять до виникнення певних несприятливих подій, ступінь важкості яких зумовлюється ступенем відхилення від нормального функціонування ПК, екіпажу, служб управління і забезпечення польотів, впливом зовнішнього середовища.

**Подія** – результат прояву об'єктивно існуючих чи суб'єктивно створених факторів, або їхньої сукупності.

На рис. А.3 наводиться класифікація несприятливих подій.

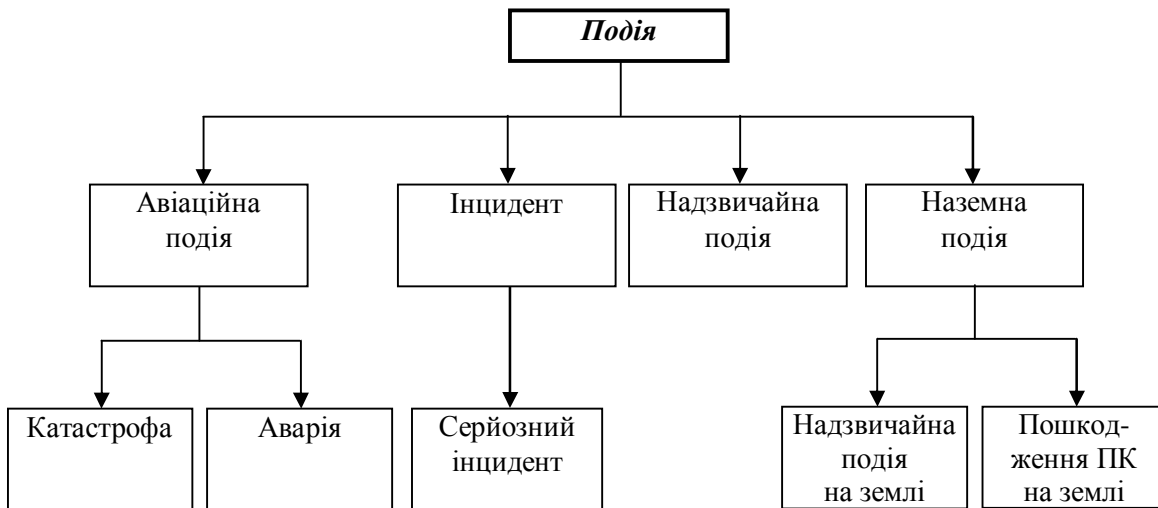


Рис. А.3. Класифікація несприятливих подій

*При експлуатації ПК можуть мати місце:*

- авіаційні події (катастрофа, аварія);
- інциденти (серйозні інциденти, інциденти);
- надзвичайні події;
- наземні події (надзвичайна подія на землі, пошкодження ПК на землі).

**Авіаційна подія** – подія, пов'язана з використанням ПК, яка мала місце з моменту, коли будь-яка особа піднялась на борт з наміром здійснити політ, до моменту, коли всі особи, що перебували на борту, покинули ПК, і в ході якої:

- хоча б одна особа, що перебувала на борту, отримала серйозні тілесні ушкодження, загинула або її здоров'ю був нанесений збиток, що призвів до смерті протягом 30-ти діб з моменту АП;
- хоча б одна особа, що перебувала на борту, пропала безвісти, і офіційні пошуки її припинені;
- ПК одержав пошкодження силових елементів планера або здійснив посадку на місцевість, евакуація з якої є технічно неможливою чи недоцільною.

*До АП не належать:*

- загибель будь-якої особи, що перебувала на борту ПК, у результаті природних причин, навмисних дій самого потерпілого або інших осіб, не пов'язаних з функціонуванням ПК;
- загибель будь-якої особи, яка без достатніх підстав або документів самовільно проникла у ПК і перебувала поза зоною, куди відкритий доступ пасажиром;
- руйнування і ушкодження будь-якої частини ПК, якщо це не призвело до порушення загальної міцності його конструкцій.

*Авіаційні події залежні від важкості наслідків, що настали, поділяються на:*

- АП з людськими жертвами (катастрофи);

– АП без людських жертв (аварії).

**Серйозне пошкодження ПК** – пошкодження ПК, отримане внаслідок авіаційної події і яке призвело до втрати міцності його конструкції або (та) значного погіршення льотних характеристик, необхідності великого ремонту або заміни пошкодженого силового елемента конструкції.

**Серйозне тілесне ушкодження** – тілесне ушкодження, отримане особою під час авіаційної події, яке:

а) вимагає госпіталізації особи більше ніж на 48 годин протягом 7 діб з моменту авіаційної події;

б) призвело до перелому будь-якої кістки (за винятком простих переломів пальців рук, ніг або носа);

в) пов'язане з одержанням опіків другого і третього ступенів чи будь-яких опіків, що ушкоджують понад 5 % поверхні тіла;

г) пов'язане з підтвердженим фактом дії токсичних речовин чи вражаючої радіації;

г) призвело до переривання вагітності.

**Аварія** – АП без людських жертв, що призвела до серйозного тілесного ушкодження пасажирів або членів екіпажу та третіх осіб, у разі якої:

– порушується міцність конструкції планера ПК через руйнування силових елементів;

– значно погіршуються технічні або льотні характеристики ПК, і необхідний значний ремонт для їх відновлення, або неможливо відновити його льотну придатність;

– ПК опиняється в такому місці, де доступ до нього та його евакуація з місця події неможливі;

*До аварій не відносяться поломки:*

- для літаків – випадки відмови або пошкодження двигуна, коли пошкоджений тільки сам двигун, його капоти чи допоміжні агрегати або коли пошкоджені тільки повітряні гвинти, закінцівки крила, антени, пневматики, гальмівні пристрої, обтічники, або коли в обшивці є невеликі вм'ятини або пробоїни;

- для вертольотів – руйнування чи пошкодження елементів несучих та рульових гвинтів, вентиляторної установки, редуктора, обшивки, руйнування чи роз'єднання трансмісії, якщо вони не призвели до пошкодження чи руйнування силових елементів фюзеляжу або балок.

**Катастрофа** – АП з людськими жертвами, що призвела до загибелі або зникнення безвісти когось з пасажирів або членів екіпажу, а також у разі отримання ними тілесних ушкоджень зі смертельним наслідком під час:

– перебування на даному ПК;

– безпосереднього зіткнення з будь-якою частиною ПК, включаючи частини, що відокремились від даного ПК;

– безпосередньої дії струменя газів реактивного двигуна;

– зникнення безвісти ПК.

*Повітряний корабель вважається таким, що зник безвісти, якщо був припинений офіційний розшук і не було встановлене місцезнаходження елементів його конструкції. Рішення про припинення пошуку ПК, що пропав безвісти, приймає повноважний орган держави з розслідування АП, на території якої трапилась АП;*

– аварійної евакуації з ПК.

**Інцидент** – подія, пов'язана з використанням ПК, яка мала місце з моменту, коли будь-яка особа піднялась на борт з наміром здійснити політ, до моменту, коли всі особи, що перебували на борту, покинули ПК, обумовлена відхиленням від нормального функціонування ПК, екіпажу, служб ОНР та забезпечення польотів, впливом зовнішнього середовища, що погіршилр або могло погіршити безпеку польоту, але не закінчилася АП; тобто подія, пов'язана з виникненням позаштатних ситуацій у вигляді ускладнень умов польоту або складної ситуації.

### Перелік інцидентів

1. Руйнування або пошкодження несилкових елементів ПК з порушенням герметичності гермокабін або відокремлення частин.
2. Руйнування або роз'єднання вузлів підвіски аеродинамічних поверхонь, пілонів, двигунів.
3. Поява недопустимих тріщин на силових елементах планера, силовому склі.
4. Руйнування лопаті повітряного гвинта, пошкодження понад установлений для ремонту допусків, відрив обтічника втулки повітряного гвинта або обігрівальної накладки (для ПК з повітряними гвинтами).
5. Руйнування або пошкодження елементів несучого або рульового гвинта, втулки несучого або рульового гвинта (для вертольотів).
6. Зміна (незміна) заданих параметрів роботи двигуна або спрацювання попереджувальної сигналізації, що призводить до необхідності вимкнення двигуна в польоті.
7. Вимкнення двигуна, що не передбачено завданням.
8. Локалізоване руйнування двигуна, допоміжної силової установки або їх агрегатів, незапуск двигуна в польоті.
9. Руйнування або роз'єднання трансмісії, руйнування редуктора, спрацювання сигналізації небезпечних режимів його роботи (для вертольотів).
10. Невимкнення, невимкнення, самовільне або помилкове ввімкнення або вимкнення реверсу тяги.
11. Незняття повітряних гвинтів з упору.
12. Невироблення палива з окремих баків, його нерівномірне вироблення або розподіл його за баками, що не може бути усунуто діями, передбаченими КЛІЕ.
13. Порушення живлення двигуна пальним.
14. Витік пального в польоті.
15. Відмова системи вимірювання витрати або кількості пального, що не дає екіпажу змоги визначити витрати або залишок пального.
16. Невипуск однієї або декількох опор шасі від основної системи.
17. Неприбирання однієї або декількох опор шасі, самовільний або помилковий випуск чи прибирання опори (опор) шасі, відкриття стулок ніші шасі.
18. Руйнування елементів опор шасі, підкосів, візків.
19. Неспрацювання або помилкове спрацювання сигналізації положення опор шасі.
20. Відмова або невимкнення екіпажем системи керування колесами передньої опори шасі.
21. Відмова основної системи гальмування.
22. Самовільне загальмування або розгальмування коліс.
23. Руйнування половини і більше авіашин на одній з опор шасі.
24. Руйнування авіашин, що призвело до пошкодження конструкції планера або двигуна.
25. Неможливість відхилення рульових поверхонь ПК на потрібний кут.
26. Вхід у флюгерне положення або самовільне відхилення однієї або декількох секцій рульових поверхонь.
27. Порушення зв'язку між проводками укерування (для ПК з подвійною проводкою).
28. Незмінність, самовільна або помилкова зміна передатного відношення передавання від органів керування до рульових поверхонь.
29. Невведення обмеження або невідновлення повного діапазону кутів відхилення руля висоти або руля напрямку.
30. Порушення нормальної реакції ПК на керівні дії екіпажу.
31. Недопустиме зростання (зменшення) зусиль, перекомпенсація органів керування.
32. Неможливість гідропідсилення (перехід на безбустерне керування рульовими поверхнями).
33. Неможливість тримерування зусиль на органах керування.

34. Невипуск, неприбрання, самовільний або помилковий випуск або прибирання механізації крила (передкрилків, закрилків, гасників підйомної сили (спойлерів), інтерцепторів, щитків).

35. Неприпустима зміна діапазону кутів відхилення або швидкості переміщення механізації крила і стабілізатора.

36. Недопустима розбіжність між положенням секцій передкрилків, закрилків, гасників підйомної сили (спойлерів), інтерцепторів.

37. Неспрацювання або помилкове спрацювання сигналізації та/або індикації положення стабілізатора або механізації крила.

38. Неможливість визначення за одним чи декількома приладами відносної висоти польоту, приборної або істинної швидкості польоту.

39. Відмова або невімкнення однієї чи декількох навігаційних систем.

40. Відмова одного авіагоризонту на ПК з одним чи двома авіагоризонтами.

41. Відмова двох авіагоризонтів на ПК з трьома чи декількома авіагоризонтами.

42. Відмова одного авіагоризонту в сполученні з відмовою системи контролю.

43. Втрата радіозв'язку в польоті.

44. Втрата просторового або навігаційного орієнтування.

45. Відмова автоматичної системи керування польотом, що призводить до відхилення одного чи декількох параметрів польоту (висотно-швидкісних параметрів, перевантаження, кутів крену, тангажу, атаки, сковзання, траєкторних параметрів) від заданих.

46. Розгерметизація гідросистеми.

47. Падіння тиску в одній чи декількох гідросистемах без розгерметизації.

48. Недопустиме порушення характеристик електроживлення постійним та/або змінним струмом від одного чи декількох розподільних пристроїв системи електропостачання.

49. Перехід на аварійне живлення постійним або змінним струмом.

50. Попадання в зону небезпечних метеоявищ.

51. Ураження ПК розрядом атмосферної електрики в польоті, що призвело до пошкодження елементів конструкції ПК, відмови двигуна або хоча б однієї із систем.

52. Пошкодження ПК градом.

53. Відмова бортового радіолокатора під час польотів у зонах грозової діяльності.

54. Зіткнення з птахами або іншими об'єктами в польоті, яке призвело до пошкодження елементів планера, двигуна або порушення режиму його роботи.

55. Порушення порядку і термінів передачі на борт ПК штормових попереджень або інформації про стан погоди за маршрутом польоту, у пунктах зльоту і посадки, що потребує зміни плану польоту.

56. Порушення метеорологічного мінімуму під час зльоту, посадки.

57. Порушення норм завантаженості чи центрівки, які рекомендовані КЛЕ, правил перевезення небезпечних вантажів (у тому числі їх оформлення).

58. Порушення встановлених правил і схем набирання висоти, виходу із зони аеродрому, зниження чи заходження на посадку.

59. Зміна заданої висоти польоту без відома диспетчера.

60. Політ ПК, здійснюваний без заявок та дозволу органів ОНР.

61. Зліт, політ або посадка ПК з конфігурацією, що не відповідає вимогам КЛЕ.

62. Вимушена посадка ПК.

63. Груба посадка ПК, після якої необхідне спеціальне технічне обслуговування.

64. Виконання польоту екіпажем без передпольотного медичного огляду чи з порушенням передпольотного відпочинку або нормативів робочого часу перед виконанням польоту поза базовим аеродромом.

65. Вживання членами екіпажу в польоті або безпосередньо перед польотом алкогольних напоїв та/або наркотичних засобів.

66. Прийняття і випуск ПК з непередбаченої ЗПС.

67. Самовільне скидання вантажу.

68. Відмова в роботі наземного радіотехнічного та світлотехнічного забезпечення під час виконання польоту ПК, що призвів до втрати радіозв'язку, орієнтування, відходу на друге коло або на запасний аеродром або зумовив посадку в умовах нижче встановленого метеорологічного мінімуму.

69. Перерваний зліт незалежно від наслідків.

70. Випуск обледенілого ПК у політ.

71. Відмова системи очищення вікон кабіни екіпажу, що призвело до погіршення видимості до меж, коли командир ПК не може виконувати посадку в даних умовах.

72. Падіння тиску або перенадув гермокабіни, що призвело до необхідності екстреного зниження або неможливості продовження безпечного польоту ПК.

73. Помилкове спрацювання системи пожежегасіння або сигналізації про пожежу.

74. Виліт ПК у разі наявності відмов, що не входять у перелік відмов, дозволених для вильоту.

75. Випуск ПК у політ з незавершеним технічним обслуговуванням.

76. Заправлення ПК некондиційним паливно-мастильним матеріалом.

77. Неспрацювання системи розпізнання або системи сигналізації небезпечного зближення із землею.

78. Обрив зовнішньої підвіски.

Не відноситься до інцидентів відмова будь-якої системи повітряного ПК, яка виявляється екіпажем до моменту вирулювання і яка не призвела до будь-яких наслідків для пасажирів, екіпажу, третіх осіб, повітряного корабля та навколишнього середовища.

**Серйозний інцидент** – інцидент, що пов'язаний зі значним підвищенням імовірності АП і характеризується наступними ознаками:

- вихід ПК за межі очікуваних умов експлуатації;
- виникнення значних шкідливих впливів на екіпаж або пасажирів;
- значне підвищення робочого навантаження на екіпаж;
- втрата працездатності екіпажа в польоті;
- значні погіршення льотних і технічних характеристик та ускладнення в управлінні ПК.

Тобто, серйозний інцидент – подія, пов'язана з виникненням аварійної або катастрофічної ситуації.

### **Перелік серйозних інцидентів**

1. Небезпечні зближення, при яких для запобігання зіткненню необхідно виконати маневр відхилення.

2. Ситуація, у якій ледь вдалося уникнути зіткнення справного ПК з поверхнею землі (виконання маневру за командою системи попередження небезпечного зближення з землею).

3. Перервані зльоти із закритої або зайнятої ЗПС.

4. Зльоти із закритої або зайнятої ЗПС з мінімальною відстанню від перешкоди (перешкод).

5. Посадка на закриту або зайняту ЗПС.

6. Явна нездатність досягти необхідних характеристик під час розбігу при зльоті або на початковій ділянці набирання висоти.

7. Пожежі та випадки появи диму в кабіні екіпажу, пасажирському салоні, вантажних відсіках або пожежі двигуна, навіть якщо такі пожежі погашені.

8. Розгерметизація кабіни пасажирів у польоті, а також ситуації, при яких виникла потреба використання членами льотного екіпажу аварійного кисню.

9. Випадки руйнування конструкції ПК або руйнування двигуна, що не класифікуються як катастрофи і аварії.

10. Випадки втрати працездатності членами льотного екіпажу в польоті.

11. Мінімальний залишок палива, що потребує оголошення командиром ПК аварійних обставин.

12. Недоліт або викочування за межі ЗПС під час зльоту та посадки ПК.

13. Попадання ПК у зону небезпечних метеоумов, вихід за межі встановлених льотних обмежень або інші ситуації, що можуть створити труднощі в керуванні ПК.
14. Руйнування або роз'єднання проводки системи управління.
15. Зліт із застопореними або заклиненими рулями.
16. Неможливість відхилення, самовільне або помилкове відхилення стабілізатора.
17. Випуск обледенілого ПК у політ, що призвело до вимушеної посадки.
18. Виникнення автоколиваний типу “бафтінг”, “флатер”, “земний резонанс”.
19. Переміщення вантажів у польоті, що призвело до вимушеної посадки, руйнування герметичної тари (упаковки) під час перевезення небезпечних вантажів.
20. Посадка з кількістю пального, якого замало для виконання повторного заходження на посадку.
21. Посадка з прибраними опорами (опорою) шасі.
22. Вимушена посадка ПК поза межами аеродрому.
23. Виліт у неповному складі екіпажу.
24. Зіткнення або загроза зіткнення з об'єктами на землі.
25. Відокремлення або відкриття в польоті вікон, дверей, люків, гермо-трапів, капотів обтічників або інших частин ПК.

**Надзвичайна подія** – подія, пов'язана з використанням ПК, яка мала місце з моменту, коли будь-яка особа піднялась на борт з наміром здійснити політ, до моменту, коли всі особи, що перебували на борту, покинули ПК, що не підпадає під визначення АП і при якій настав один з наступних наслідків:

- загибель або серйозне тілесне ушкодження, отримане будь-якою особою під час її перебування на борту ПК, у результаті навмисних чи необережних дій самого потерпілого або інших осіб, не пов'язаних з порушенням функціонування ПК та його систем;
- загибель або серйозне тілесне ушкодження, отримане будь-якою особою, яка без достатніх підстав або документів самовільно проникла за межі на ПК, куди відкритий доступ пасажиром;
- загибель або серйозне тілесне ушкодження, отримане будь-якою особою, що знаходилась на борту ПК, у результаті несприятливого впливу зовнішнього середовища після вимушеної посадки ПК за межами аеродрому;
- захоплення ПК або спроба його захоплення; диверсійні акти; самовільний виліт екіпажу (окремих його членів, інших посадкових осіб) без завдання на виліт (незалежно від наслідків), незаконний провіз небезпечних предметів, речовин, вантажів.

**Наземна подія** – подія, пов'язана з технічним обслуговуванням, зберіганням, транспортуванням, ремонтом ПК, що не попадає під визначення АП.

Наземні події в залежності від важкості наслідків, що наступили, поділяються на:

- надзвичайну подію на землі;
- пошкодження ПК на землі.

**Надзвичайна подія на землі** – наземна подія, при якій настав один з наступних наслідків:

- загибель або важке тілесне ушкодження, отримане будь-якою особою під час її перебування на борту в результаті навмисних чи необережних дій самого потерпілого чи інших осіб, не пов'язане з порушенням функціонування ПК і його систем;
- загибель або важке тілесне ушкодження, отримане будь-якою особою, що самовільно проникла на ПК і ховалася в ньому;
- загибель або важке тілесне ушкодження, отримане будь-якою особою, що знаходилась поза ПК, у результаті безпосереднього контакту з ПК, його елементами або струменем газів двигунів;
- диверсійні акти; викрадення або їхні спроби на землі; самовільні вильоти екіпажів (його окремих членів, інших посадкових осіб);
- руйнування або пошкодження ПК на землі (водяній чи льодовій поверхні), які призвели до порушення міцності конструкції чи погіршення льотно-технічних характеристик у результаті

стихійного лиха або порушення технології обслуговування, правил збереження, транспортування;

– втрата ПК, одержання їм додаткових пошкоджень, що виключають можливість відновлення, у результаті впливу зовнішнього середовища на місці вимушеної посадки або при евакуації з місця події.

До надзвичайних подій на землі не відносяться випадки смерті і важких тілесних травм осіб, що знаходяться на борту ПК, унаслідок природних причин, не пов'язаних з функціонуванням ПК або його систем.

**Пошкодження ПК на землі** – наземна подія з ПК, при якій йому заподіяні пошкодження, що не порушують міцність конструкції ПК і не погіршують його льотно-технічні характеристики, усунення яких можливо в експлуатаційних умовах.

Таким чином, реалізація оператором АТС  $i$ -ї альтернативи  $a_i$  в польоті може привести до  $m$ -мірного векторного простору різних *можливих наслідків*  $\overline{Q}_i = \{q_{i1}, q_{i2}, q_{i3}, q_{i4}, q_{i5}\} = \{q_{ij}\}$ , ступінь важкості яких обумовлюється ступенем відхилення від нормального функціонування ПК, екіпажа, служб управління і забезпечення польотів, впливом зовнішнього середовища,  $i = 1, n; j = 1, m$ :

1. Економічних витрат, зумовлених зміною плану польоту (додаткові витрати часу та палива), без відхилення від стандартної процедури виконання польоту.

2. Інциденту, який супроводжується відхиленням від стандартної процедури виконання польоту, але не закінчується пошкодженням ПК або загибеллю людей на борту.

3. Поломки, яка супроводжується руйнуванням або пошкодженням будь-якої частини ПК, але без порушення загальної міцності його конструкцій.

4. Аварії, яка не призводить до загибелі осіб, що знаходились на борту, але при якій ПК отримує пошкодження силових елементів планеру 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 числа тих, хто знаходився 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  $\overline{Q} = f(\overline{G}, \overline{P})$ .

#### А.4. Ймовірності виникнення позаштатних польотних ситуацій

За частотою виникнення причини/фактори виникнення позаштатних ситуацій (відмовні стани, зовнішні впливи, помилки й ін.) поділяються на такі *категорії*.

**Ймовірні.** Можуть відбутися один чи кілька разів протягом терміну служби кожного літака певного типу. Ймовірні події підрозділяються на **часті** і **помірковано ймовірні**.

**Рідкі (неймовірні).** Рідкісні причини підрозділяються на дві категорії:

(а) **Малоймовірні.** Навряд чи відбудуться на кожному літаку протягом його терміну служби, але можуть відбутися кілька разів, якщо розглядати велику кількість літаків цього типу.

(б) **Вкрай малоймовірні.** Навряд чи виникнуть за весь термін експлуатації всіх літаків цього типу, але проте їх потрібно розглядати як можливі.

**Практично неймовірні.** Настільки неймовірні, що немає необхідності вважати за можливе їхнє виникнення.

При необхідності *кількісної оцінки ймовірностей виникнення причин позаштатних ситуацій* можуть використовуватися зазначені нижче величини:

1. Ймовірні – більш ніж  $10^{-5}$ .
2. Часті – більш ніж  $10^{-3}$ .
3. Помірковано ймовірні – у діапазоні  $10^{-3} - 10^{-5}$ .
4. Рідкі (неймовірні) – у діапазоні  $10^{-5} - 10^{-9}$ .
5. Малоймовірні – у діапазоні  $10^{-5} - 10^{-7}$ .

6. Вкрай малоімовірні – у діапазоні  $10^{-7}$  –  $10^{-9}$ .

7. Практично неймовірні – менш ніж  $10^{-9}$ .

Імовірності повинні встановлюватися як середній ризик на годину польоту, тривалість якого дорівнює середньому часу польоту за типовим профілем. У тих випадках, коли відмова критична для певного етапу польоту, імовірність його виникнення на цьому етапі польоту може бути також осереднена на годину польоту за типовим профілем.

**Очікувані умови експлуатації** – умови, які відомі з практики або виникнення яких можна з достатньою підставою передбачати протягом терміну експлуатації літака з урахуванням його призначення. Ці умови містять у собі параметри стану і фактори впливу на літак зовнішнього середовища, експлуатаційні фактори, що впливають на безпеку польоту. Очікувані умови експлуатації не включають:

– екстремальні умови, зустрічі з якими можна надійно уникнути шляхом введення експлуатаційних обмежень і правил; і

– екстремальні умови, які виникають настільки рідко, що вимога виконувати норми льотної придатності в цих умовах привела б до забезпечення більш високого рівня льотної придатності, ніж це необхідно і практично обґрунтовано.

**Граничні обмеження** – обмеження режимів польоту, вихід за які не допустимий ні за яких обставинах.

**Експлуатаційні обмеження** – умови, режими і значення параметрів, навмисний вихід за межі яких не допустимий в процесі експлуатації літака.

**Режими польоту, що рекомендуються** – режими всередині області, обумовленої експлуатаційними обмеженнями, які встановлені в КЛЕ для виконання польотів.

**Функціональна система літака** – сукупність взаємозалежних елементів, вузлів (блоків) і агрегатів, призначена для виконання заданих загальних функцій.

Як причини відмовного стану (виду відмови системи) розглядаються відмови і сукупності відмов її елементів, а також відмови систем, функціонально пов'язаних з цією системою.

Літак має бути спроектований і побудований таким чином, щоб в очікуваних умовах експлуатації при діях екіпажу відповідно до КЛЕ:

Кожний відмовний стан (функціональна відмова, вид відмови системи), що приводить до виникнення катастрофічної ситуації, оцінювався як практично неймовірний, або сумарна імовірність виникнення катастрофічної ситуації, викликаній відмовними станами (функціональними відмовами, видами відмов систем), для літака в цілому не перевищувала  $10^{-7}$  на годину польоту.

Сумарна імовірність виникнення аварійної ситуації (аварійного ефекту), викликаній відмовними станами (функціональними відмовами, видами відмов систем), для літака в цілому не перевищувала  $10^{-6}$  на годину польоту; при цьому рекомендується, щоб будь-який відмовний стан (функціональна відмова, вид відмови системи), що приводить до аварійної ситуації (аварійного ефекту), оцінювався як подія не більш часта, чим у край малоімовірна.

Сумарна імовірність виникнення складної ситуації (істотного ефекту), викликаній відмовними станами (функціональними відмовами, видами відмов систем), для літака в цілому не перевищувала  $10^{-4}$  на годину польоту; при цьому рекомендується, щоб будь-який відмовний стан (функціональна відмова, вид відмови системи), що призводить до складної ситуації, оцінювався як подія не більш часта, ніж малоімовірна.

Усі ускладнення умов польоту й відмовні стани (функціональні відмови, види відмов систем), що приводять до їх виникнення, підлягають аналізу з метою відпрацювання відповідних рекомендацій з дій екіпажу в польоті.

Бажано, щоб будь-який відмовний стан (функціональна відмова, вид відмови системи), що призводить до ускладнення умов польоту (незначного ефекту), не міг бути віднесений до частих подій.

Виконуючи аналіз особливої ситуації (ефекту), викликаній відмовним станом (функціональною відмовою, видом відмови системи), необхідно враховувати фактори, що можуть збільшити наслідки (ступінь небезпеки) початкового відмовного стану (функціональної



відмови, виду відмови системи), включаючи пов'язані з відмовою умови на літаку, що можуть впливати на здатність екіпажу справитися з прямими наслідками (наприклад, наявність диму, перевантаження, переривання зв'язку, зміна тиску в кабіні і т.п.).

Аналізуючи наслідки визначеного відмовного стану (функціональної відмови, виду відмови системи), включаючи необхідні дії екіпажу, потрібно враховувати ймовірність відмови (відмов), складність дій екіпажу, а також періодичність відповідного тренування екіпажу. Велика кількість відмовних станів (видів відмов систем), що потребують неінстинктивних дій екіпажу, може вплинути на правильність дій екіпажу по парированню відмов.

Під час аналізу наслідків відмовних станів (функціональних відмов, видів відмов систем) в оцінці мають бути враховані критичні (визначальні) зовнішні впливи (явища) і їх імовірність.

Експлуатаційні обмеження повинні встановлюватися з урахуванням імовірності зовнішніх впливів (явищ) і відмовних станів (функціональних відмов, видів відмов систем), характеристик літака, точності пілотування, а також похибок бортових систем і устаткування.

Відповідність вимогам повинна доводитися шляхом аналізу і розрахунку безвідмовності й оцінювання впливу можливих видів відмов функціональних систем на безпеку польоту літака. Ця оцінка має проводитися для кожної системи і у взаємозв'язку з іншими системами і, в разі потреби, підкріплюватися наземними і (чи) льотними випробуваннями, випробуваннями на пілотажному стенді або іншими видами стендових іспитів, розрахунками або моделюванням.

(а) Аналіз повинний включати можливі види відмов (у тому числі ймовірні поєднання видів відмов у різних системах), оцінку ймовірностей видів відмов, наслідки для літака і людей, що перебувають на борту, з урахуванням етапу польоту й умов експлуатації, раптовість для екіпажу виникнення відмовного стану і необхідні дії з парировання, можливість виявлення відмови, процедури контролю стану й обслуговування літака.

(в) Під час аналізу конкретних систем можна враховувати досвід експлуатації аналогічних систем.

(с) В аналізі повтробібно враховувати розкид характеристик системи (систем). При цьому може бути використаний статистичний розподіл зазначених характеристик.

Відмовний стан (функціональна відмова, вид відмови системи) можна віднести до подій майже неймовірних, якщо виконується одна з таких умов:

(а) зазначений стан виникає в результаті двох і більше послідовних відмов різних елементів розглянутої системи або взаємодіючих з нею систем з імовірністю менше  $10^{-9}$  на годину польоту за типовим профілем;

(б) зазначений стан є наслідком конкретної механічної відмови (руйнування, заклинювання, роз'єднання) одного з елементів системи і розробник обґрунтує практичну неймовірність такої відмови, використовуючи для доказу:

- аналіз схеми і реальної конструкції;
- статистичну оцінку безвідмовності подібних конструкцій за тривалий період експлуатації (за наявності необхідних даних);
- результати випробувань зі встановлення призначеного ресурсу відповідним елементам відповідно до вимог відповідних глав чинних Авіаційних правил або зі встановлення інших обмежень контрольованих параметрів припустимого передвідмовного стану;
- аналіз принципів контролю якості виготовлення і застосовуваних конструкційних матеріалів у серійному виробництві, а також стабільності технологічних процесів;
- аналіз передбачених експлуатаційною документацією засобів, методів і періодичності технічного обслуговування.

У тих випадках, коли розглядається конкретний короткий етап (ділянка) польоту, його тривалість може враховуватися під час оцінювання ймовірності одиничних і множинних відмов.

Для доказу відповідності літака вимогам повинна бути додатково виконана одна з таких умов:

- відмовний стан (функціональна відмова, вид відмови системи) виникає в результаті збігу двох і більш незалежних послідовних відмов;

– відмовний стан може бути віднесений до майже неймовірного відповідно.

У випадку, якщо відмовний стан (функціональна відмова, вид відмови системи) призводить до виникнення аварійної ситуації (аварійного ефекту) і не віднесений до категорії майже неймовірних, КЛЕ повинне містити рекомендації, що дозволяють екіпажу вжити всіх можливих заходів для запобігання переходу аварійної ситуації в катастрофічну.

Бажано, щоб зазначені рекомендації були перевірені в льотних випробуваннях. У тих випадках, коли льотна перевірка пов'язана з пошкодженнями літака, з особливо високим ступенем ризику або свідомо недоцільна, розроблені рекомендації повинні підтверджуватися результатами аналізу досвіду експлуатації інших літаків, близьких за конструкцією до сертифікованого, а також результатами відповідних лабораторних, стендових випробувань, моделювання і розрахунків.

У випадку, якщо відмовний стан (функціональна відмова, вид відмови системи) призводить до виникнення складної ситуації (істотного ефекту) і не віднесений до категорії майже неймовірних, КЛЕ має містити вказівки екіпажу по завершенню польоту в цьому випадку. Указівки КЛЕ щодо дій у складних ситуаціях мають бути перевірені під час льотних випробувань і не повинні вимагати від екіпажу надмірних зусиль і незвичайних прийомів пілотування. В окремих випадках, коли конструкція літака і його систем не забезпечує можливості імітації якого-небудь виду відмови в льотних випробуваннях, допускається перевірка відповідних указівок КЛЕ в випробуваннях на пілотажному стенді, атестованому для проведення таких випробувань, або перерахування результатів випробувань на несприятливі умови.

У випадку, якщо відмовний стан (функціональна відмова, вид відмови системи) призводить до ускладнення умов польоту, КЛЕ має містити вказівки екіпажу щодо продовження польоту, методів експлуатації систем і парирування несправностей у польоті. Якщо при цьому відмовний стан (вид відмови системи) впливає на пілотування, то рекомендації КЛЕ повинні бути перевірені льотними випробуваннями або випробуваннями на пілотажному стенді.

Таким чином, КЛЕ розраховано тільки на очікувані умови експлуатації ПК і не включає в себе дії екіпажу в екстремальних умовах, зустрічі з якими можна надійно уникнути шляхом введення експлуатаційних обмежень і правил, а також в екстремальних умовах, які виникають настільки рідко, що вимога виконувати норми льотної придатності в них привела б до забезпечення більш високого рівня льотної придатності, ніж це необхідно і практично обґрунтовано. Через це в близько 20% випадків екіпаж не має чітких інструкцій з парирування особливих ситуацій на борту ПК. У цих умовах актуальним є своєчасне виявлення потрапляння екіпажу ПК у подібну ситуацію та надання йому оперативної допомоги з боку органів служби руху.

**Додаток Б**  
**Приклади детермінованих моделей прийняття рішень людиною-оператором**  
**аеронавігаційної системи в особливих випадках в польоті**

**Приклад 1.** Завдання, що виконувалось курсантом 77-ї роти відповідно до програми «Планування виконання дій авіадиспетчера ОВП» – моделювання ПР Л-О у разі виникнення ОВП на етапі зльоту - зіткнення ПК з птахом.

Рейс американської авіакомпанії Northwest Airlines був перерваний через потрапляння птаха в двигун лайнера. Буквально через пару хвилин після того, як Airbus A320 рейсу 1546 9 серпня 2009 р. о 08:45 відірвався від землі в аеропорту міста Ролі-Дарем (штат Північна Кароліна), в один з двох двигунів літака ударив птах. Командир корабля, почувши сторонній шум, заглушив двигун і на одній турбіні повернув аеробус в аеропорт, здійснивши аварійну посадку. В результаті грамотних дій пілотів ніхто з 148 пасажирів і 5 членів екіпажу, що летіли в Міннеаполіс (штат Міннесота), не постраждав.

Зіткнення з птахами не входить до переліку основних причин авіакатастроф. Проте Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) щороку реєструє в світі приблизно 5400 зіткнень літаків з птахами.

Спрощену технологію роботи диспетчера при попаданні птаха у двигун ПК наведено в табл. Б.1. Для більш повного уявлення про послідовність дій, спрямованих на парировання ОВП, побудуємо алгоритм у вигляді блок-схеми, в якому наочно представимо всі дії авіафахівців в даному випадку (рис. Б.1).

Час, необхідний для виконання дій, спрямованих на парировання ОВП, визначений за допомогою методу експертних оцінок. Експертами були провідні фахівці Кіровоградської льотної академії НАУ, а також фахівці кількох авіакомпаній.

*Таблиця Б.1*

**Технологічні дії диспетчера при виникненні особливого випадку в польоті – попадання птаха у двигун ПК**

№ з/п	Порядок дій диспетчера
1	Отримати від командира ПК (КПК) повідомлення про зіткнення з птахом
2	Повідомити КПК місцезнаходження, зафіксувати час
3	Перевірити встановлення КПК сигналу «Лихо»
4	Доповісти керівника польотів (КП) про виникнення ОВП на борту ПК
5	При необхідності ввести режим радіомовчання
6	Уточнити подальші наміри КПК щодо негайного заходу на посадку на аеродромі вильоту або необхідності зливу палива
7	При необхідності сформувати зону зливу палива і направити до неї ПК
8	Передати інформацію про аварійний ПК
9	Запитати у АМСЦ погоду для посадки
10	Отримати доповідь від КПК про завершення зливу палива
11	Дати вказівки ЕПК для заходу на посадку
12	Передати ПК на управління диспетчеру аеродромної диспетчерської вишки (АДВ)

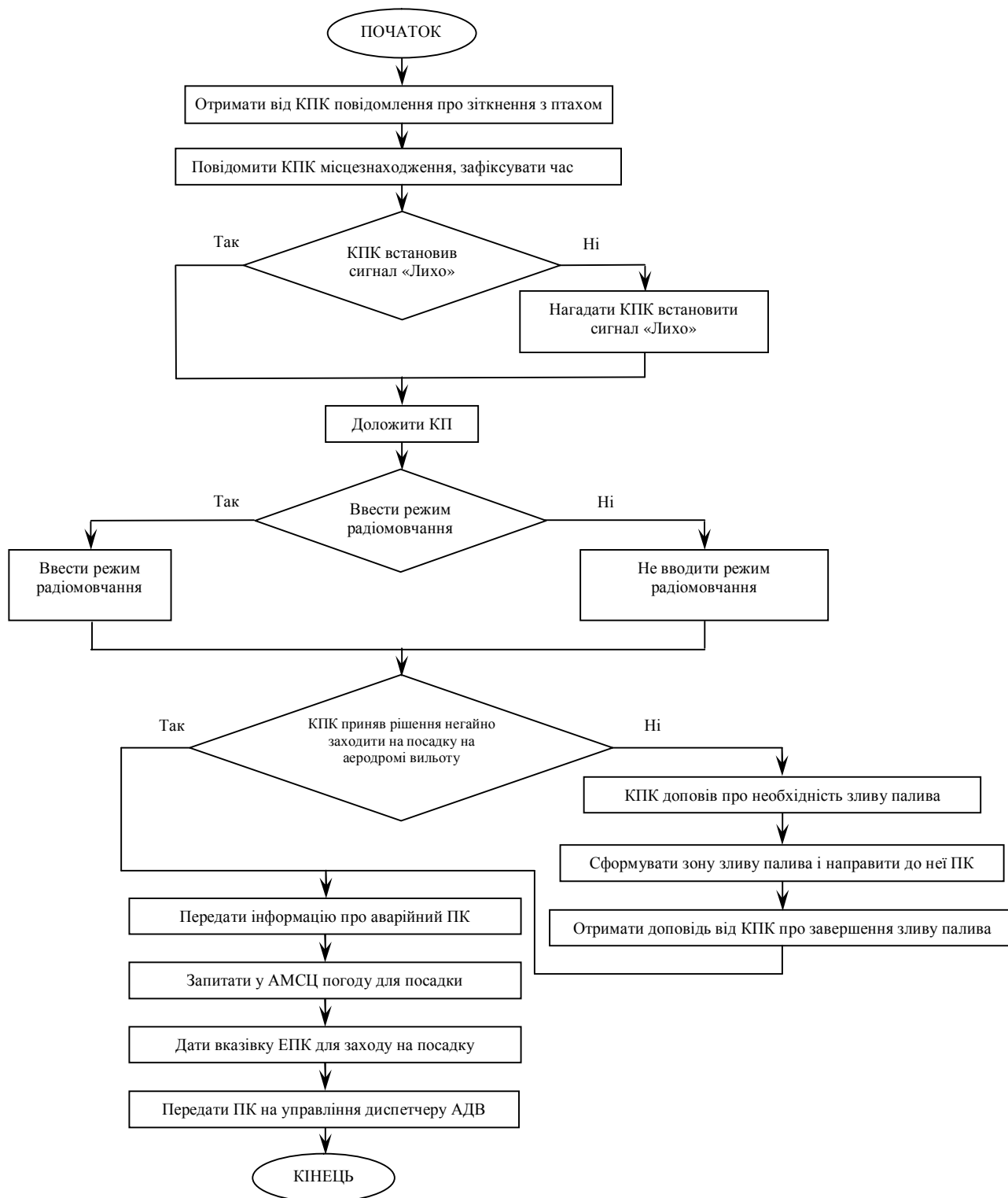


Рис. Б.1. Блок-схема алгоритму діяльності диспетчера у разі потряплення птаха у двигун ПК

Отримані дані статистично оброблено, статистичні характеристики – в допустимих межах:  
 – стандартне відхилення не перевищує 0,5 с;  
 – коефіцієнт варіації не перевищує 19%.

Тому можна вважати отримані середні результати достовірними.

Також була проведена оцінка компетентності експертів за допомогою аналізу їх професійної діяльності, широти кругозору та загальної ерудиції, отримано коефіцієнти компетентності експертів.

Побудуємо структурно-часову таблицю виконання дій авіадиспетчером у разі потрапляння птаха у двигун ПК (табл. Б.2).

Таблиця Б.2

Структурно-часова таблиця виконання дій авіадиспетчером при попаданні птаха у двигун ПК

№ з/п	Робота	Опис роботи	Час виконання роботи, $t$ , с
1	$a_1$	Отримати від КПК повідомлення про зіткнення з птахом	5
2	$a_2$	Повідомити КПК місцезнаходження, зафіксувати час	10
3	$a_3$	Перевірити встановлення КПК сигналу «Лихо»	5
4	$a_4$	Доповісти КП про виникнення ОВП на борту ПК	10
5	$a_5$	При необхідності ввести режим радіомовчання	10
6	$a_6$	Уточнити подальші наміри КПК щодо негайного заходу на посадку на аеродромі вильоту або необхідності зливу палива	10
7	$a_7$	При необхідності сформувати зону зливу палива і направити до неї ПК	15
8	$a_8$	Передати інформацію про аварійний ПК	5
9	$a_9$	Запросити у АМСЦ погоду для посадки	10
10	$a_{10}$	Отримати доповідь від КПК про завершення зливу палива	5
11	$a_{11}$	Дати вказівки ЕПК для заходу на посадку	10
12	$a_{12}$	Передати ПК на управління диспетчеру АДВ	5

За даними табл. Б.2 будуємо мережевий графік виконання комплексу дій диспетчером (рис. Б.2).

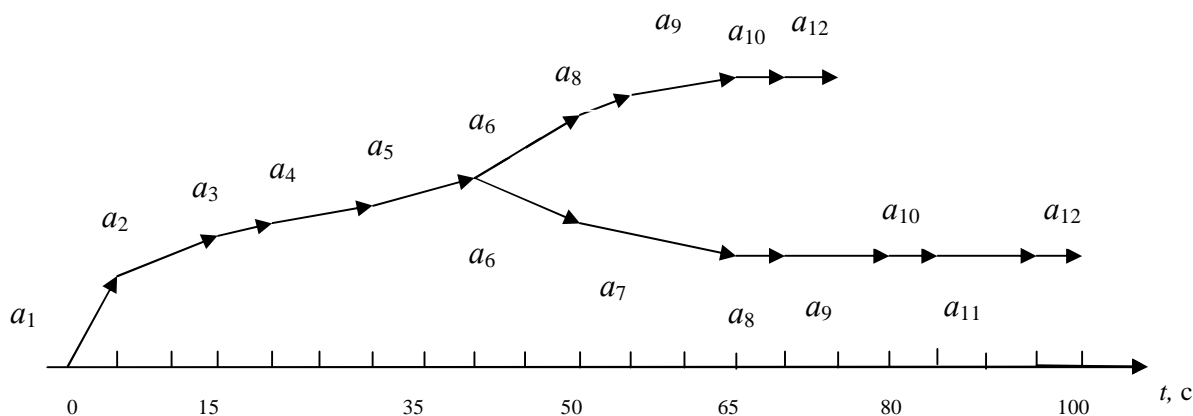


Рис. Б.2. Мережевий графік виконання дій, спрямованих на парирування ОВП – зіткнення з птахом на етапі зльоту

Наведений мережевий графік ПР Л-О при виникненні ОВП (зіткнення ПК з птахом) дозволяє визначити критичний час залежно від рішення, прийнятого КПК (здійснювати посадку на аеродромі вильоту негайно або спочатку злити паливо), який становить  $T_{\text{крит1}} = 75$  с і  $T_{\text{крит2}} = 100$  с відповідно.

**Приклад 2.** Завдання, що виконувалось курсантом 77-ї роти відповідно до програми «Планування виконання дій авіадиспетчера в ОВП» – моделювання ПР Л-О у разі виникнення ОВП на етапі посадки – обмерзання ПК.

Обмерзання літака – небезпечне явище, яке погіршує аеродинамічні характеристики і льотні якості літака, його стійкість і керованість, збільшує лобовий опір. Характер відкладення льоду при обмерзанні літака в польоті, його форма, структура, інтенсивність утворення визначаються розмірами і концентрацією крапель, а також процесами теплообміну поверхні, що обмерзає.

Обмерзання літака може порушити роботу двигунів, навігаційних приладів і радіозв'язок та призвести до катастрофи. Як, наприклад, сталося 29 грудня 2010 р. з транспортним літаком Ан-22 «Антей» під Тулою. Як основна версія катастрофи розглядається обмерзання рухомих частин крил літака. Жертвами авіакатастрофи стали 12 льотчиків - члени основного і запасного екіпажів.

Спрощену технологію роботи диспетчера у разі обмерзання ПК наведено в табл. Б.3.

Таблиця Б.3

## Технологічні дії диспетчера у разі виникнення ОВП – обмерзання ПК

№ з/п	Порядок дій диспетчера
1	Отримати від ЕПК доповідь про попадання в зону обмерзання
2	Підтвердити отримання інформації та уточнити подальші наміри КПК
3	Отримати від ЕПК запит на зміну ешелону з подальшим польотом за маршрутом
4	Дозволити ЕПК набирати висоту / знижуватись, при необхідності попередньо узгодивши ешелон польоту з військовим сектором
5	Отримати від ЕПК доповідь про заняття призначеного ешелону
6	Передати розрахункові дані про ПК з урахуванням зміни ешелону польоту суміжному диспетчерському пункту. При необхідності виконання вимушеної посадки уточнити умови на найближчому аеродромі
7	Передати ПК на управління суміжному диспетчерському пункту. При необхідності виконання вимушеної посадки видати КПК інформацію про найближчий аеродром
8	Отримати від ЕПК підтвердження частоти
9	Проінформувати всі ПК, які знаходяться на управлінні, про зону обмерзання
10	Проінформувати АМСЦ про висоти, на яких спостерігається обмерзання (по доповіді)

Для чіткого уявлення про порядок виконання дій Л-О (авіадиспетчером), спрямованих на парировання ОВП – обмерзання ПК, побудуємо алгоритм (блок-схему) діяльності авіадиспетчера (рис. Б.3).

Для побудови мережевої моделі необхідно скласти структурно-часову таблицю виконання дій авіадиспетчером у разі виникнення обмерзання ПК. Час, який потрібний авіадиспетчеру для виконання своєї роботи у разі виникнення ОВП, визначений за допомогою методу експертних оцінок (табл. Б.4). Застосування статистичних методів в подібних випадках недоцільне, так як особливі випадки в польоті трапляються дуже рідко і матеріали їх розслідування не завжди знаходяться у вільному доступі. Використання методу експертних оцінок є доцільним, оскільки в ролі експертів виступають досвідчені авіафахівці, які в своїй багаторічній практиці якщо і не зіштовхувались з подібними подіями, то відпрацьовували їх на тренажерах.

Таблиця Б.4

## Структурно-часова таблиця виконання дій авіадиспетчером у разі обмерзання ПК

№ з/п	Робота	Опис роботи	На яку роботу спирається	Час виконання роботи, t, с
1	$a_1$	Отримати від ЕПК доповідь про попадання в зону обмерзання	-	15
2	$a_2$	Підтвердити отримання інформації та уточнити подальші наміри КПК	$a_1$	10
3	$a_3$	Отримати від ЕПК запит на зміну ешелону з подальшим польотом за маршрутом	$a_1, a_2$	10
4	$a_4$	Дозволити ЕПК набирати висоту / знижуватись, при необхідності попередньо узгодивши ешелон польоту з військовим сектором	$a_3$	5
5	$a_5$	Проінформувати всі ПК, які знаходяться на управлінні, про зону обмерзання	$a_1$	5
6	$a_6$	Проінформувати АМСЦ про висоти, на яких спостерігається обмерзання (по доповіді)	$a_1$	5
7	$a_7$	Передати розрахункові дані про ПК з урахуванням зміни ешелону польоту суміжному диспетчерському пункту	$a_1, a_3, a_4$	10
8	$a_8$	Отримати від ЕПК доповідь про заняття призначеного ешелону	$a_4$	5
9	$a_9$	Передати ПК на управління суміжному диспетчерському пункту	$a_8$	5
10	$a_{10}$	Отримати від ЕПК підтвердження частоти	$a_9$	5

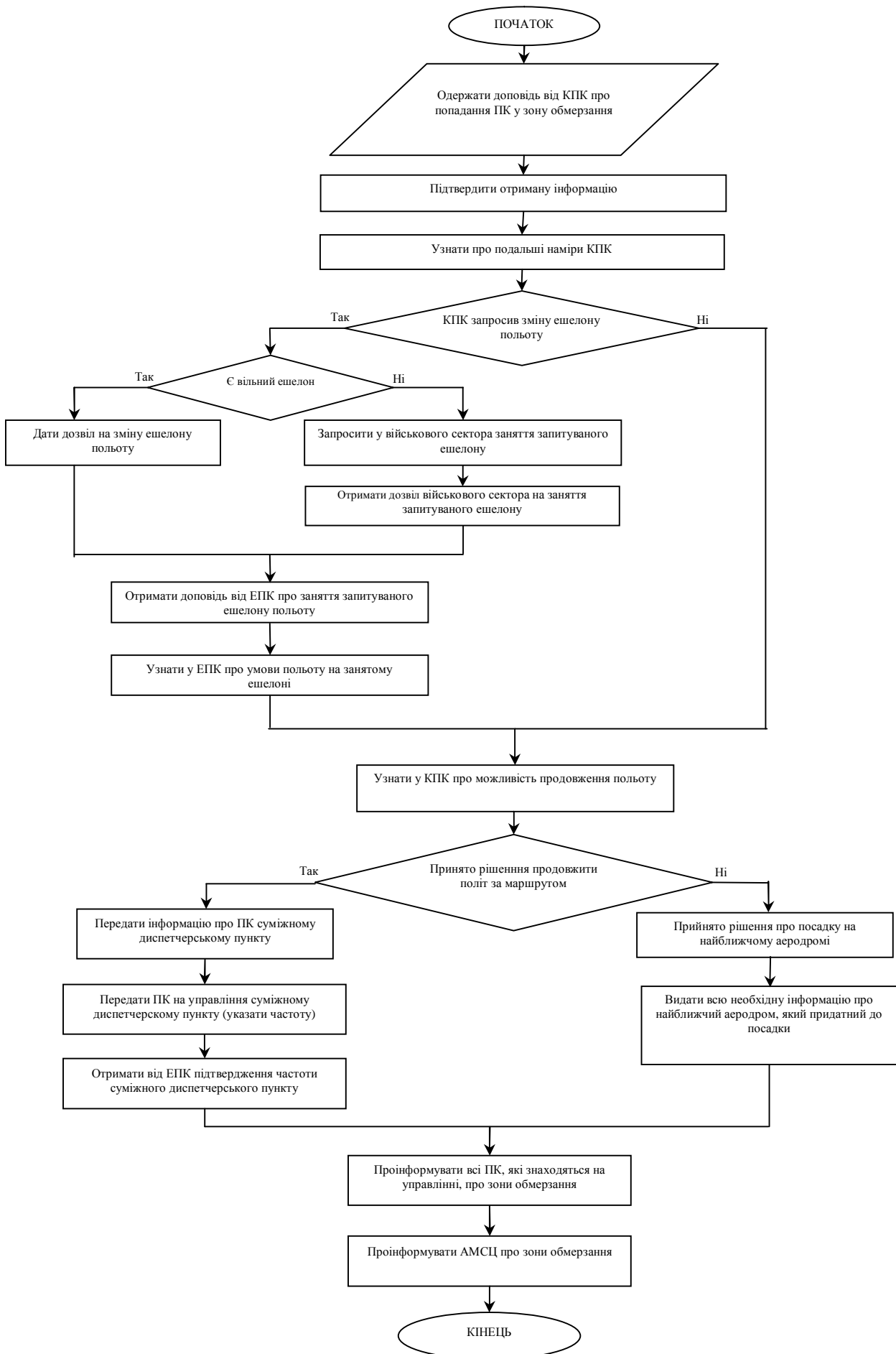


Рис. Б.3. Блок-схема алгоритму діяльності диспетчера при обмерзанні ПК

За даними табл. Б.4 будемо мережевий графік виконання комплексу дій диспетчером (рис.Б.4).

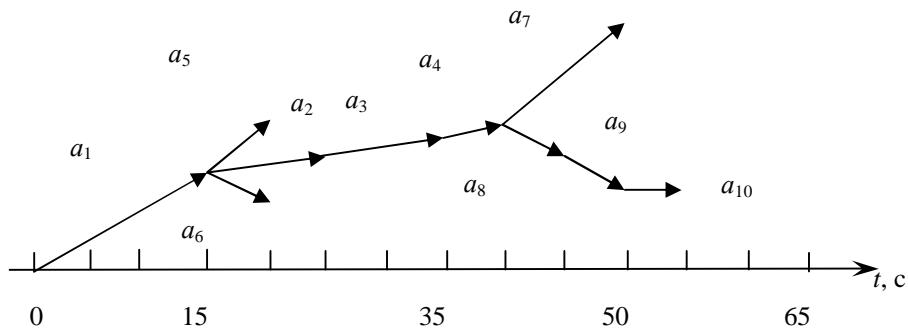


Рис. Б.4. Мережевий графік визначення критичного часу виконання необхідної роботи авіадиспетчером у разі обмерзання ПК

Наведений мережевий графік ПР Л-О у разі виникнення ОВП (обмерзання) дозволяє визначити критичний час, який у випадку обмерзання ПК становить  $T_{\text{крит}} = 55$  с. Проведені дослідження дозволили знайти критичний (оптимальний) час, необхідний для ПР Л-О – авіадиспетчером – при виконанні ним дій у випадках потряплення птаха в двигун і обмерзання ПК для видачі оптимальних і своєчасних рекомендацій по завершенню польоту екіпажу ПК.

**Приклад 3.** Завдання, що виконувалось аспірантом: «*Моделювання дій авіадиспетчера при виникненні ОВП «Проблеми з шасі на етапі заходу на посадку ПК»*»

Операційні процедури при виникненні ОВП «проблеми з шасі» на етапі заходу на посадку ПК в табл. Б.5.

Таблиця Б.5

**Перелік дій авіадиспетчера у разі виникнення ОВП «проблеми з шасі» на етапі заходу на посадку ПК**

№ п/п	Операційні процедури диспетчера у разі виникнення ОВП (проблеми з шасі – індикація не випуску під час заходу на посадку)
1	Отримати від диспетчера ДОП-3 інформацію про ПК на етапі заходу на посадку
2	Підтвердити отриману інформацію
3	Ідентифікувати ПК на моніторі оглядового радіолокатора (РЛК)
4	Встановити зв'язок з ПК
5	Оцінити динамічну повітряну обстановку (ДПО)
6	Чи можна дозволити посадку?
7	Так: повідомити екіпажу умови и дозволити посадку
8	Ні: повідомити екіпажу умови подальшого заходу
9	Контролювати захід ПК по РЛК
10	Отримати доповідь екіпажу про спрацювання сигналізації невипуску шасі (сигнал терміновості)
11	Підтвердити отриману доповідь (сигнал) екіпажу
12	Повідомити екіпажу віддалення на прямій і запросити рішення КПК
13	Повідомити КП і отримати вказівки
14	Діяти згідно вказівок КП

2. Блок-схема алгоритму виконання операційних процедур диспетчером у разі виникнення ОВП – «проблеми з шасі» на етапі заходу на посадку ПК наводиться на рис. Б.5.



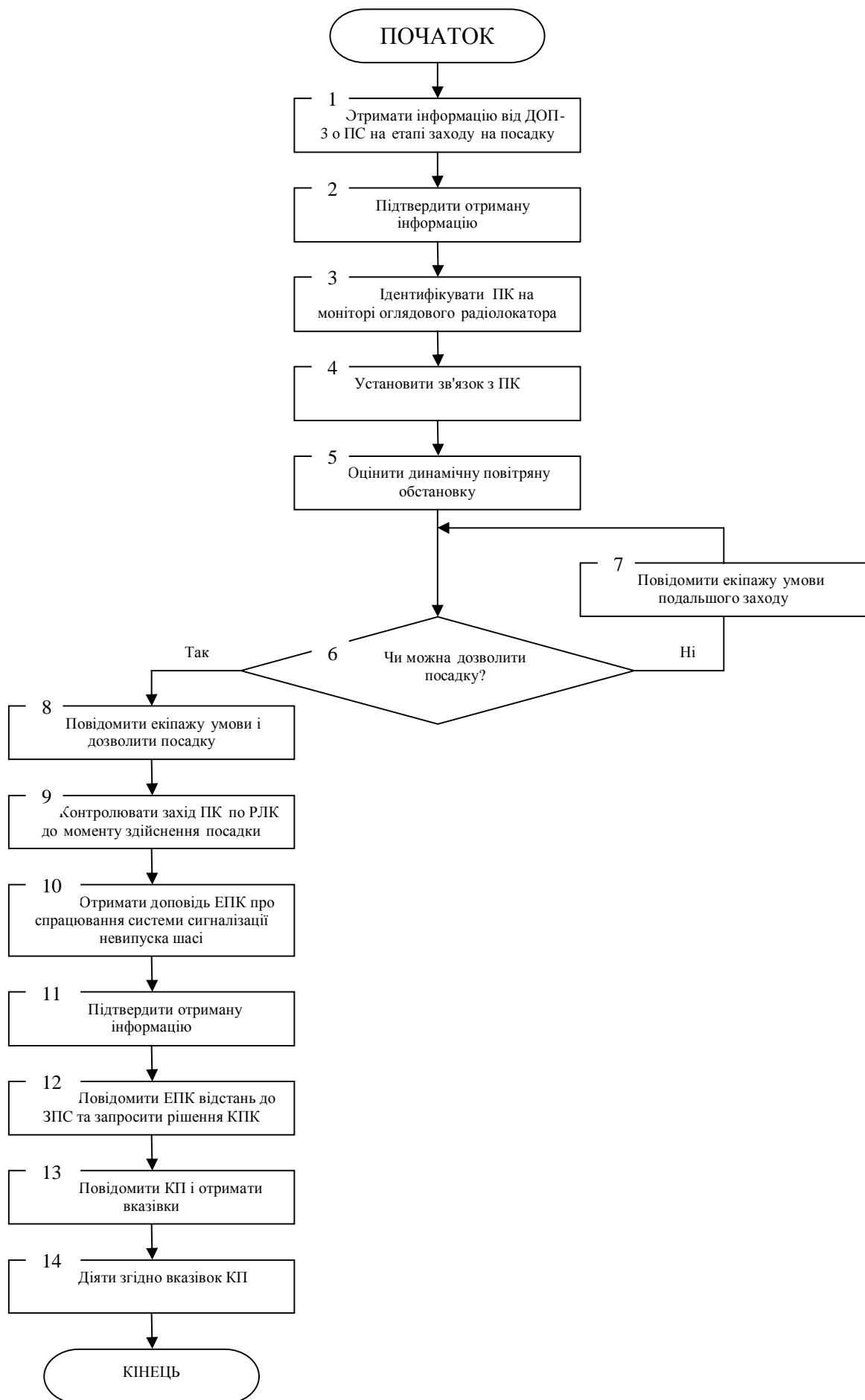


Рис.Б.5. Блок-схема алгоритму діяльності диспетчера

Структурно-часова таблиця виконання операційних процедур диспетчером у разі виникнення ОВП «проблеми з шасі» на етапі заходу на посадку ПК наводиться в табл. Б.6.

Таблиця Б.6

Структурно-часова таблиця виконання дій авіадиспетчера при виникненні ОВП «проблеми з шасі» на етапі заходу на посадку ПК

№ з/п	Робота	Опис роботи	Час виконання роботи, $t_{\text{сеп}}, \text{с}$
1	$a_1$	Отримати інформацію від ДОП-3 про ПК на етапі заходу на посадку	10
2	$a_2$	Підтвердити отриману інформацію	5
3	$a_3$	Ідентифікувати ПК на моніторі РЛК	5
4	$a_4$	Встановити зв'язок з ПК	5
5	$a_5$	Оцінити ДПО	5
6	$a_6$	Чи можна дозволити посадку?	5
7	$a_7$	Повідомити екіпажу умови подальшого заходу	0
8	$a_8$	Повідомити екіпажу умови и дозволити посадку	8
9	$a_9$	Контролювати захід ПК по РЛК до моменту здійснення посадки	5
10	$a_{10}$	Отримати доповідь ЕПК про спрацювання системи сигналізації невипуску шасі	10
11	$a_{11}$	Підтвердити отриману інформацію	5
12	$a_{12}$	Повідомити ЕПК відстань до ЗПС та запросити рішення КПК	10
13	$a_{13}$	Повідомити КП і отримати вказівки	10
14	$a_{14}$	Діяти згідно з вказівками КП	10
$T_{\text{кр}}$			93

Мережевий графік виконання операційних процедур диспетчером, направлених на парировання ОВП «проблеми з шасі» на етапі заходу на посадку ПК, наведено на рис. Б.6. Критичний час на парировання ОВП  $T_{\text{кр}} = 93 \text{ с}$ .

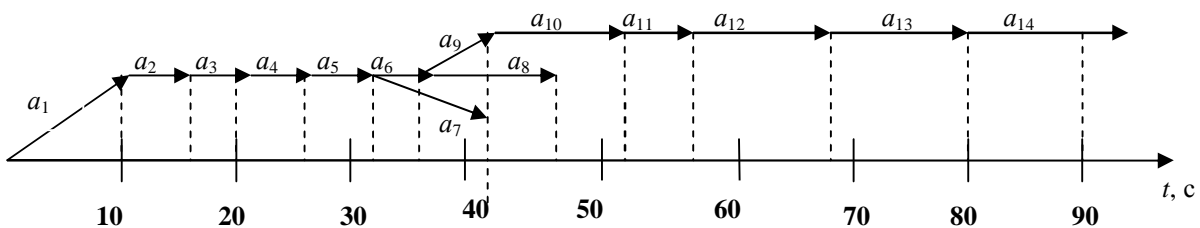


Рис. Б.6. Мережевий графік визначення критичного часу виконання необхідної роботи авіадиспетчером у разі виникнення ОВП «проблеми з шасі» на етапі заходу на посадку ПК

**Оброблення анкетних даних (розрахунок  $t_{\text{сеп}} = 10 \text{ с}$  для процедури №1 «Отримати інформацію від ДОП-3 про ПК на етапі заходу на посадку»:**

1. Середнє значення часу на виконання операційної процедури:

$$t_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{m},$$

де  $t_i$  – час на виконання операційної процедури;  $m$  – кількість експертів,  $m = 22$ .

2. Дисперсія:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^m (t_{\text{сеп}} - t_i)^2}{m-1},$$

де  $t_i$  – час на виконання операційної процедури №1  $i$ -м експертом;  $t_{\text{сеп}}$  – середнє значення часу на виконання операційної процедури.

3. Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (t_{\text{сеп}} - R_i)^2}{m-1}}.$$

4. Коефіцієнт варіації:

$$v = \frac{\sigma}{t_{\text{сеп}}} 100\% .$$

Результати обробки анкет експертів наведено в табл. Б.7.

Таблиця Б.7

**Результати обробки анкет експертів**

Час	$t_{\text{сеп}}, \text{с}$	Стандартне відхилення, с	Коефіцієнт варіації, %
$t_1$	10	4,9	26,2
$t_2$	5	2,4	18,9
$t_3$	5	1,3	31,8
$t_4$	5	1,2	21,7
$t_5$	5	1,5	20,05
$t_6$	5	1,8	17,6
$t_7$	10	1,1	21,3
$t_8$	10	2,4	31,2
$t_9$	5	7,04	18,1
$t_{10}$	10	4,1	21,2
$t_{11}$	5	5,7	17,6
$t_{12}$	10	0,9	23,7
$t_{13}$	10	3,78	18,4
$t_{14}$	10	0,7	20,8

**Додаток В**  
**Визначення величини потенційного збитку за допомогою апарату теорії нечітких множин**

В анонімному індивідуальному опитуванні брало участь 30 респондентів з високим, приблизно однаковим, коефіцієнтом авторитету, за фахом – авіадиспетчери та пілоти. Закрите опитування, при якому неможливий «тиск авторитетом», дозволило не враховувати під час підбору експертів їх психологічні якості (сумісність, комунікабельність і та ін.).

Для отримання більш достовірних значень термів експеримент проводився за найбільш ефективним методом анкетування – *методом Дельфі*, при якому відмовляються від колективного обговорення питань і забезпечують експертів інформацією після кожного етапу опиту з і зберіганням анонімності – у два тури.

Експертам було запропоновано оцінити величину потенційного збитку  $g_i$  за наведеною нижче *n*-ятибальною якісною шкалою, що сформульована в термінах теорії нечітких множин:

1. Дуже малий збиток  $g_1$  (відповідає економічним витратам).
2. Малий збиток  $g_2$  (відповідає інцидентам).
3. Середній збиток  $g_3$  (відповідає поломкам авіаційної техніки).
4. Великий збиток  $g_4$  (відповідає аваріям).
5. Дуже великий збиток  $g_5$  (відповідає катастрофам).

Максимально можлива величина потенційного збитку приймалась рівною 100 одиницям. Інтервал  $[0; 100]$  був розбитий на 10 відрізків, по кожному з яких підраховувалась кількість експертів, що використали певне значення лінгвістичної змінної для вираження свого уявлення про величину потенційного збитку (статистика даних, отриманих після проведення першого туру анкетування, наведено в табл. В.1).

Таблиця В.1

**Дані, отримані після проведення першого туру анкетування**

Значення	Інтервал, одиниць									
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
1	14	11	4	1	0	0	0	0	0	0
2	0	5	15	8	2	0	0	0	0	0
3	0	0	2	6	12	7	3	0	0	0
4	0	0	0	0	0	2	6	11	11	0
5	0	0	0	0	0	0	2	5	10	13
$k_j$	14	16	21	15	14	9	11	16	21	13

Для оброблення отриманих даних скористаємося так званою матрицею «підказок», елементи якої враховуються за формулою:

$$k_j = \sum_{i=1}^5 b_{ij}$$

Матриця «підказок» має вигляд:  $M = \parallel 14 \ 16 \ 21 \ 15 \ 14 \ 9 \ 11 \ 16 \ 21 \ 13 \parallel$ .

В останньому рядку табл.В.1 вибираємо максимальний елемент:

$$k_{\max} = \max k_j = \max \{14;16;21;15;14;9;11;16;21;13\} = 21.$$

Далі всі елементи табл. В.1 перетворюємо за формулою (В.1) і зводимо в табл.В.2:

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

Таблиця В.2

## Дані після оброблення за допомогою матриці підказок

Значення	Інтервал, одиниць									
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
1	21	14,44	4	1,4	0	0	0	0	0	0
2	0	6,56	15	11,2	3	0	0	0	0	0
3	0	0	2	8,4	18	16,33	5,73	0	0	0
4	0	0	0	0	0	4,67	11,46	14,44	11	0
5	0	0	0	0	0	0	3,82	6,56	10	21

Для побудови функцій належності знаходимо максимальні елементи за строками табл. В.2:

$$c_{i \max} = \max_j c_{ij}, \quad i = \overline{1,5}, j = \overline{1,10}; \quad (\text{B.3})$$

де  $c_{1 \max} = 21$ ;  $c_{2 \max} = 15$ ;  $c_{3 \max} = 18$ ;  $c_{4 \max} = 14,44$ ;  $c_{5 \max} = 21$ .

Функції належності визначають за формулою:

$$\mu_{ij} = \frac{c_{ij}}{c_{i \max}}. \quad (\text{B.4})$$

Результати, отримані після проведення першого туру експертизи, наводяться в табл. В.3.

Таблиця В.3

## Результати, отримані після проведення першого туру експертизи

$\mu_i$	Інтервал, одиниць									
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
$\mu_1$	1	0,69	0,19	0,07	0	0	0	0	0	0
$\mu_2$	0	0,44	1	0,75	0,2	0	0	0	0	0
$\mu_3$	0	0	0,11	0,47	1	0,91	0,32	0	0	0
$\mu_4$	0	0	0	0	0	0,32	0,79	1	0,76	0
$\mu_5$	0	0	0	0	0	0	0,18	0,31	0,48	1

Функції належності для кожного значення лінгвістичної змінної «величина потенційного збитку» подано на рис. В.1.

З наведеної на рис. В.1 діаграми можна визначити кількісні показники, що визначають якісні характеристики величини можливого збитку:

- економічним витратам відповідає кількісне значення потенційного збитку  $g_1 = 10$  од.;
- інцидентам  $g_2 = 30$  од.;
- поломкам авіаційної техніки  $g_3 = 50$  од.;
- аваріям  $g_4 = 80$  од.;
- катастрофам  $g_5 = 100$  од.

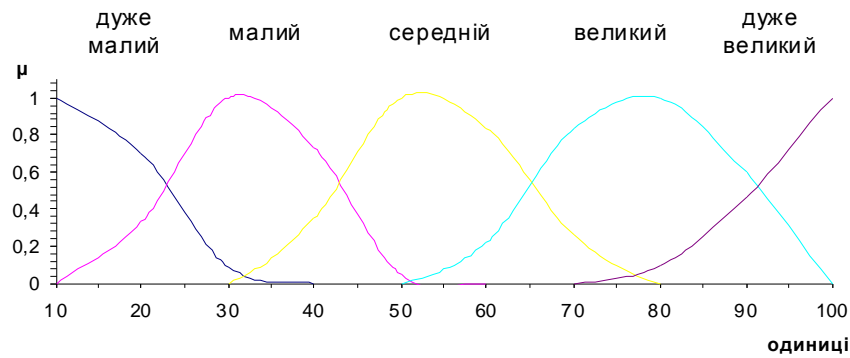


Рис. В.1. Функції належності терм – множини «величина потенційного збитку», отримані після проведення першого туру експертизи

Функції належності термів лінгвістичної змінної «величина потенційного збитку», отримані після другого туру експертизи, показано на рис. В.2.

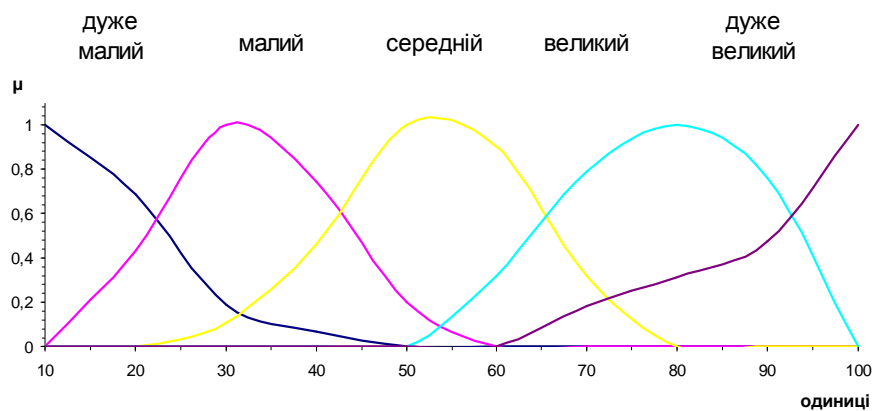


Рис. В.2. Функції належності терм – множини «величина потенційного збитку», отримані після проведення другого туру експертизи

Визначимо ступінь розділення  $1 - \alpha$  між нечіткими визначеннями величини потенційного збитку для першого і другого етапів експертизи (табл. В.4).

Таблиця В.4

Ступінь розділення між нечіткими визначеннями величини потенційного збитку

Лінгвістичні змінні, що оцінюються	Ступінь розділення $1 - \alpha$	
	Перший тур	Другий тур
Дуже малий збиток / малий збиток	$1 - 0,575 = 0,425$	$1 - 0,525 = 0,475$
Малий збиток / середній збиток	$1 - 0,612 = 0,388$	$1 - 0,561 = 0,439$
Середній збиток / великий збиток	$1 - 0,594 = 0,406$	$1 - 0,537 = 0,463$
Великий збиток / дуже великий збиток	$1 - 0,594 = 0,406$	$1 - 0,525 = 0,475$

Після проведення другого туру експерименту ступінь розділення  $1 - \alpha$  збільшилась, що свідчить про більш чітке визначення експертами наведених лінгвістичних змінних. Те, що отримані після першого туру кількісні показники величини потенційного збитку не змінилися, дає підставу закінчити експертизу після проведення всього однієї ітерації.

Отриманий коефіцієнт конкордації за Кендалом (після першого туру  $W_1 = 0,961$ , після другого туру  $W_2 = 0,982$ ) свідчить про високу узгодженість думок експертів у групі.

## Додаток Г

### Приклади аналізу прийняття рішень в позаштатних польотних ситуаціях за допомогою дерева рішень

Приклад 1. *Аналіз ПР оператором в позаштатних польотних ситуаціях за допомогою дерева рішень.* За допомогою дерева рішень проведено аналіз розвитку позаштатної польотної ситуації, яка сталася 3 липня 2001 при виконанні третього розвороту для посадки в аеропорту Іркутська з літаком Ту-154М RA-85845 ВАТ «Владивосток-Авіа» і завершилася катастрофою.

За допомогою дерева рішень проведемо аналіз розвитку позаштатної польотної ситуації, яка сталася 3 липня 2001 під час виконання третього розвороту для посадки в аеропорту Іркутська з літаком Ту-154М RA-85845 ВАТ «Владивосток-Авіа» і завершилася катастрофою. 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. Г.1.

Таблиця Г.1

**Значення ймовірностей сприятливого та несприятливого результатів польоту**

Параметри польоту, що порушені	Значення ймовірностей сприятливого результату польоту, $P_6$	Значення ймовірностей несприятливого результату польоту, $P_n$
Порушення швидкості польоту, $\Delta V$	0,4	0,6
Порушення кута крену літака, $\Delta\beta$	0,2	0,8
Порушення висоти польоту, $\Delta H$	0,3	0,7
Порушення кута атаки літака, $\Delta\alpha$	0,1	0,9

Структурну схему розвитку позаштатної польотної ситуації подано на рис. Г.1.

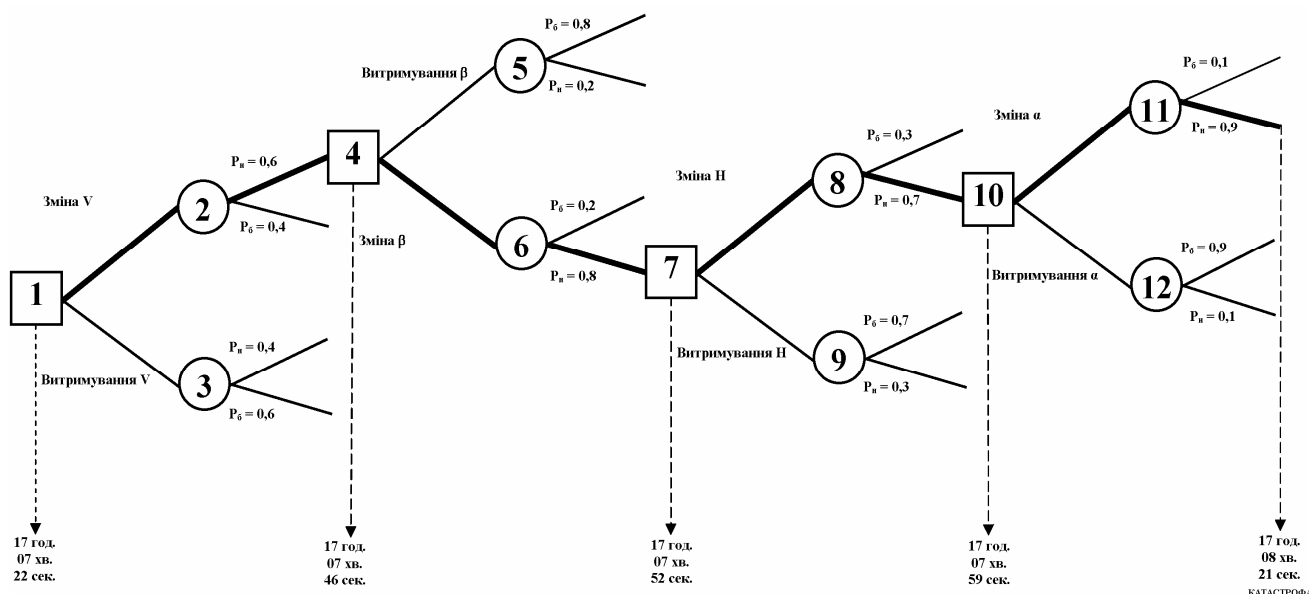


Рис. Г.1. Структурна схема розвитку позаштатної польотної ситуації:  $\square$  – вершини-рішення;  $\circ$  – випадкові вершини

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).

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.

Таким чином, дерево рішень дає можливість провести структурний аналіз проблеми, знайти оптимальну альтернативу дій і попередити розвиток ситуації за неправильною схемою.



## Додаток Д

### Приклад розрахунку стохастичної мережі типу GERT для аналізу розвитку польотної ситуації

Наприклад, перехід від аварійної до нормальної, складної ситуації заданий стохастичною мережею у вигляді, показаному на рис. Д.1.

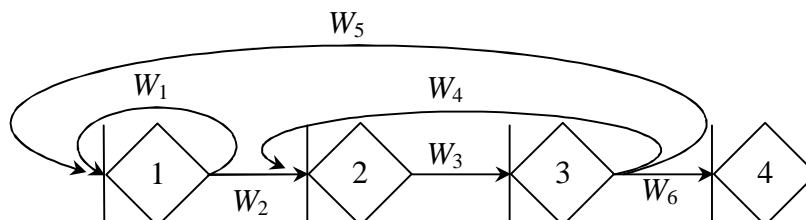


Рис. Д.1. Приклад розрахунку стохастичної мережі типу GERT: 1 – нормальна ситуація; 2 – ускладнення умов виконання польоту; 3 – складна ситуація; 4 – аварійна ситуація

Крок 1. Введемо фіктивну дугу \$W\_A\$ (рис. Д.2).

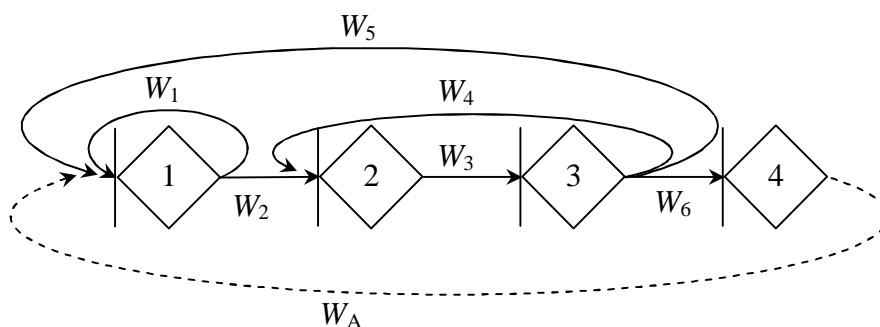


Рис. Д.2. Введення фіктивної дуги \$W\_A\$

Крок 2. Знайдемо всі петлі порядку \$n\$, \$n = 1, 2\$ (табл. Д.1).

Таблиця Д.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\$

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.

$$H = 1 - \sum T(L_1) + \sum T(L_2) - \sum T(L_3) + \dots + (-1)^k \sum T(L_k) + \dots = 0 \quad H = 1 - \dots (-1)^m \sum T_k(L_m);$$

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

$$T(L_n) = \prod_{k=1}^n T_k,$$

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. Д.3).

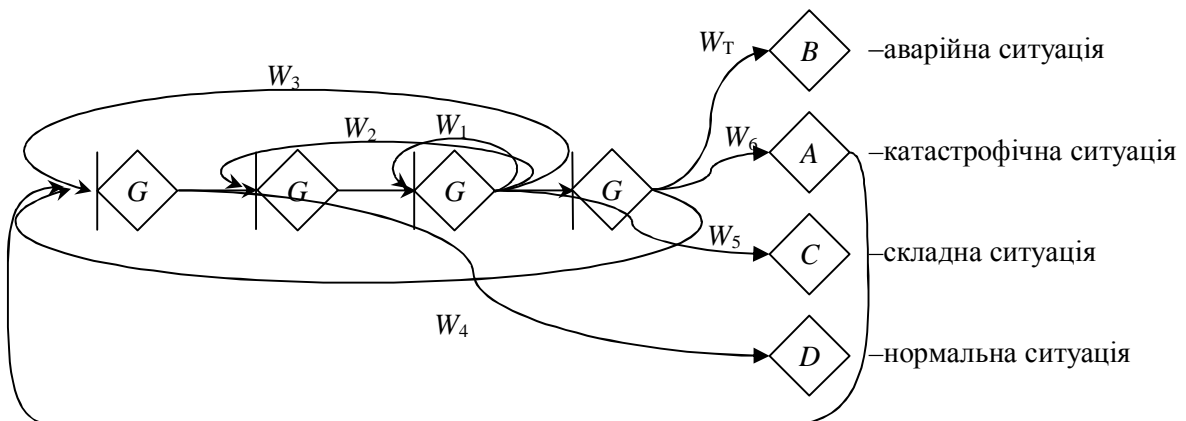


Рис. Д.3. Приклад розрахунку переходів між польотними ситуаціями

## Додаток Е

### Приклади прийняття рішень людиною-оператором аеронавігаційної системи в умовах невизначеності

**Приклад 1.** Завдання, що виконувалось курсантом 77-ї роти відповідно до програми «Вибір оптимального аеродрому посадки в СМУ». При підльоті ПК типу Ан-24 по маршруту Харків – Київ (Бориспіль) відбувається погіршення метеорологічних умов на аеродромі призначення. Знайти оптимальний аеродром посадки, якщо рейс регулярний і нерегулярний (здійснюється вперше).

Рішення.

1. Формування множини альтернативних рішень  $\{A\}$  з АПр, АВ, ЗА:

- 1) Київ (Бориспіль).
- 2) Харків.
- 3) Київ (Жуляни).
- 4) Черкаси
- 5) Гостомель.

2. 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).

3. 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 (табл. Е.1).

Таблиця Е.1

**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

4. Обрання критерія ПР в умовах невизначеності:

- 1) Критерій мінімакса (Вальда) – нерегулярний рейс;
- 2) Критерій Лапласа – регулярний рейс.

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:

$$A_i^* = \max_i \min_j \{u_{ij}\} = \max \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\} = \max \{1, 3, 2, 5, 4\} = A_4^* = 5,$$

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. Е.1) 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.

**Приклад 2.** Розробка СППР льотного диспетчера Система підтримки прийняття рішення є складовою частиною програмних та апаратних засобів автоматизованої системи (АС) керування в реальному часі – «АС планування та забезпечення польотів». Розробка СППР потребує широкої участі майбутнього користувача – співробітника з забезпечення польотів/диспетчера (FOO/FD) і адаптації системи до його потреб. Структурну схему СППР показано на рис. Е.1, де в базі знань знаходиться відповідний «досвід»: плани маршрутів, дій тощо. Ситуаційна БД містить оперативні дані щодо умов виконання польоту та додаткову інформацію (метеоумови на маршруті прямування, ЗА, дані про АД, маршрути, ЛТХ ПК тощо). Система керування забезпечує своєчасність ПР, акцентує увагу користувача на найбільш важливих з точки зору загальної ситуації, задачах. Аеронавігаційна інформація обробляється з урахуванням пріоритетів запиту. Розглянемо цей підхід на прикладі. Під час польоту ПК типу Ан-24 по маршруту Київ (Бориспіль) – Харків, відбувається погіршення метеорологічних умов на АПр. У разі використання критерію Вальда кожна дія оцінюється за найгіршим станом для цієї дії, і «оптимальною» є дія, яка призводить до найкращого з найгірших станів. Цей критерій використовує оцінку функцію, що відповідає позиції крайньої обережності. Оптимальне рішення за критерієм Вальда визначається за максимінним правилом, забезпечує гарантійний результат і повністю виключає ризик, АД2 – Дніпропетровськ:

$$A_i^* = \max_i \min_j \{u_{ij}\} = \max \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\} = \max \{5, 3, 7, 6, 4\} = A_2^* = 7,$$

де  $A_1 = \min \{6, 5, 10, 7, 10, 10, 10, 10, 9\} = 5$ ;  $A_2, A_3, A_4, A_5$  знаходяться відповідно.

Оптимальне рішення – АД Дніпропетровськ (табл. Е.2) задовольняє з мінімальним ризиком ЕПК, якщо рейс нерегулярний і мінімум КПК не дозволяє зробити посадку в АПр Харкові. АД Дніпропетровськ характеризується високою 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 АПр. 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 ЗА.

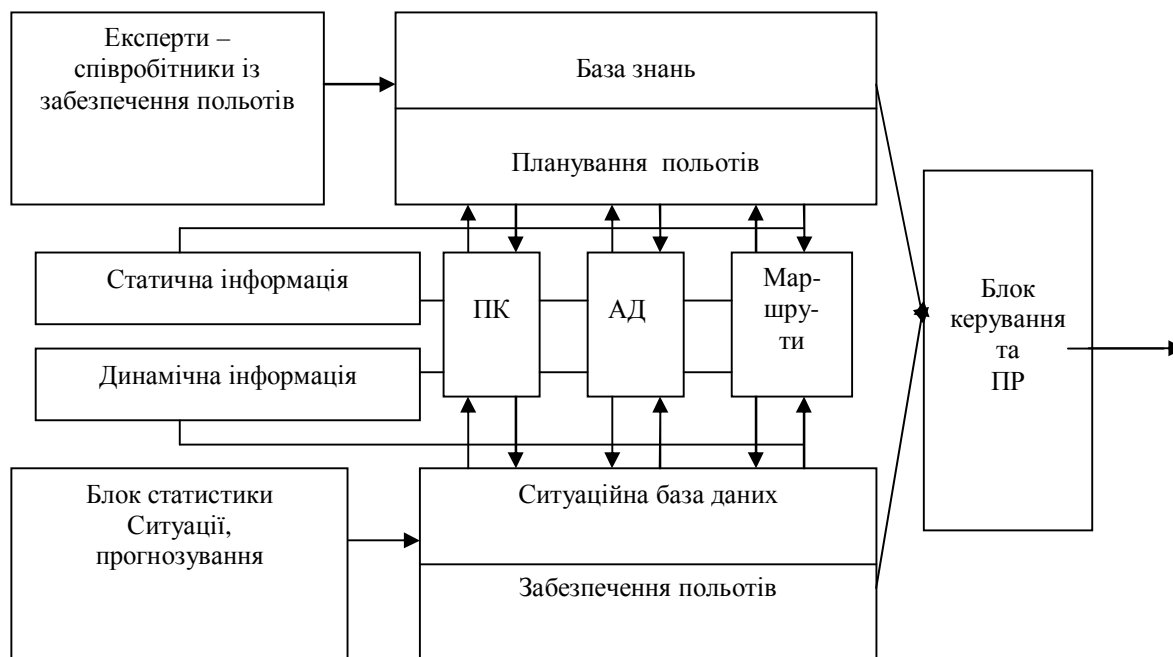


Рис. Е.2. Структурна схема СППР льотного диспетчера

Таблиця Е.2

Розрахункова матриця за критеріями Вальда і Лапласа

Альтернативні Рішення (ЗА)			Фактори									Критерій Вальда	Критерій Лапласа
			Наявність палива	Віддаленість	ТТХ ЗПС	Метеоумови	СТСЗП	СЗП	НЗП	Характеристики перону, РД	АНЗ		
ЗА	A <sub>1</sub>	Київ (Бориспіль)	6	5	10	7	10	10	10	10	9	5	8,55
	A <sub>2</sub>	Харків	10	10	8	3	10	10	9	9	9	3	<b>8,66</b>
	A <sub>3</sub>	Дніпропетровськ	7	8	10	8	9	9	9	8	7	<b>7</b>	8,33
	A <sub>4</sub>	Донецьк	6	7	8	7	8	8	9	9	7	6	7,67
	A <sub>5</sub>	Кривий Ріг	5	5	4	9	8	5	4	5	4	4	5,44

Оптимальним рішенням є АПр – Харків, тобто мінімум КПК дозволяє здійснювати посадку за очікуваного погіршення метеоумов:

$$A_3^* = \max \{8,55; 8,66; 8,33; 7,67; 5,44\} = 8,66.$$

Зазначені підходи до формалізації задачі вибору ЗА застосовуються для інформаційної підтримки оператора СППР - співробітника з забезпечення польотів/диспетчера (FOO/FD) при плануванні, забезпеченні польотів аеронавігаційною інформацією, в ОВП у вигляді «підказок» із зазначенням кількісної та якісної оцінки можливих варіантів вибору з метою більш практичного плану чи ситуації.

## Додаток Ж

### Визначення соціонічної моделі людини-оператора аеронавігаційної системи.

**Анкета для визначення впливу факторів непрофесійного характеру у разі виникнення позаштатної ситуації.** Запропонована анкета має на меті визначення ступеня значущості впливу наведених нижче факторів на ПР у разі виникнення аварійної ситуації у польоті

Інформація буде використана для аналізу *факторів непрофесійного характеру*, що впливають на ПР Л-О в непередбачуваних аварійних ситуаціях.

Якщо на ваш погляд є фактори, які анкету не передбачені, але можуть істотно впливати на ПР, їх треба включити до складу наведених і дайте їм аналогічну оцінку.

#### Анкета 1

№ з/п	Фактори непрофесійного характеру	Зміст фактору	Ранги
1	Духовні та культурні орієнтири особистості	Причетність особистості до релігійних течій та філософських систем	
2	Економічні інтереси особистості	Поліпшення власного економічного становища. Збереження коштів та ресурсів підприємства	
3	Соціальні пріоритети особистості	Створення дружніх відносин в екіпажі ПК, уникнення конфліктних ситуацій в колективі. Створення передумов просування по службі (мотив кар'єрного росту). Формування авторитету серед колег. Забезпечення іміджу підприємства (сфера корпоративного інтересу)	
4	Політичні погляди	Вплив прийнятих особою поглядів (ідей) однією, або кількох політичних груп. Супутнє психоемоційне забарвлення	
5	Суб'єкт правових відносин	Регламентована законами й іншими правовими документами є формальною нормою громадського життя і обов'язковою частиною сучасних суспільних відносин	

#### Анкета 2

№ з/п	Фактори	Ранги
1	Релігійні погляди	
2	Філософські погляди	
3	Особиста реалізація, створення передумов просування по службі	
4	Суспільні сучасні норми, формування авторитету серед колег	
5	Забезпечення іміджу підприємства . Корпоративні норми	
6	Покращення матеріального стану підприємства	
7	Покращення матеріального стану особистості	
8	Інтереси сім'ї	
9	Інтереси колег (колективу)	
10	Інтереси керівництва компанії	
11	Визнання оточення, імідж	
12	Задоволення (незадоволення) політичною ситуацією	
13	Відповідність нормам чинного законодавства	

**Визначення СМЛ за опитувальником ММ-1 (Малишевський/Михайлик).** Для розрахунку СМЛ необхідно відповісти на питання з опитувальника за такою формою. Прочитайте перше питання: «Що Вам здається більш важливим?»: відповідь ліворуч – «Оцінка оточуючих», праворуч – «Самооцінка». Напевно, для будь-якої людини важливо і те, і інше. Якщо це важливо для Вас в рівній мірі, в лівій і правій комірках таблиці, відповіді на питання можуть бути 50% і 50%. Якщо щось здається Вам більш важливим, Ви можете дати відповідь 60% і 40%, або навпаки – 30% і 70%, але так, щоб сума в лівій і правій комірках дорівнювала 100% (також може бути відповідь 100% і 0%).

Таблиця Ж.1

**Опитувальник ММ-1 для визначення СМЛ**

№ з/п	Питання	Відповідь	
		Оцінка оточуючих	Самооцінка
1	Що Вам здається більш важливим	Оцінка оточуючих	Самооцінка
2	Для того, щоб розібратися в будь-якому питанні, що простіше для Вас?	Запитати	Прочитати
3	Коло Ваших знайомств ...	Широкий	Вузький
4	Чи легко Вам заговорити першим з незнайомою Вам людиною?	Так	Ні
5	Якщо Вам щось потрібно зробити, чи легко Вам звернутися до інших людей?	Так	Ні
6	В гостях Вам, як правило, цікаво спілкуватися з більшістю присутніх?	Так	Ні
7	Чи можна сказати, що Ви, швидше за все, товариська людина?	Так	Ні
8	Яке слово найкраще відповідає Вашому характеру?	Розкутий	Стриманий
9	Яке слово найбільше відповідає Вашому духовному складу?	Жвавий	Спокійний
10	Яке слово найбільше відповідає Вашому духовному складу?	Комунікабельний	Замкнений
<b>Сума</b>		<b>а</b>	<b>б</b>
11	Яке визначення найбільше відповідає Вашому духовному складу?	Критичний	Некритичний
12	Яке визначення найбільше відповідає Вашому духовному складу?	Завбачливий	Співчуваючий
13	Яке визначення найбільше відповідає Вашому духовному складу?	Справедливість	Пощада
14	Яке визначення найбільше відповідає Вашому духовному складу?	Обережний	Довірливий
15	Яка дія найбільше відповідає Вашому духовному складу?	Думати	Переживати
16	Ваш склад розуму швидше ...	Технічний	Гуманітарний
17	Що більше відповідає Вашому духовному складу?	Розсудливість	Співчуття
18	Що Ви легше запам'ятовуєте	Числа	Обличчя чи (чи) ім'я
19	Яке слово більше відповідає Вашому духовному складу?	Істина	Красота
20	Чи вважаєте Ви справедливою формулу: «Закон суворий, але це закон»?	Так	Ні
<b>Сума</b>		<b>с</b>	<b>д</b>
21	Що більше викликає Вашу довіру?	Досвід	Передчуття
22	Що, на Вашу думку, гірше?	Літати в хмарах	Йти второваною доріжкою
23	Ви в житті людина швидше ...	Практична	Непрактична
24	Що більше Вас дратує під час дощу?	Можливість бути оббризканим автомобілем	Необхідність пробиратися по калюжах і бруду
25	Що для Вас є найбільшою похвалою? Сказати, що Ви маєте ...	Здоровий глузд	Багату фантазію

№ з/п	Питання	Відповідь	
26	Що більш відповідає Вашому духовному складу?	Практика	Теорія
27	Яке поняття більше відповідає Вашому духовному складу?	Конкретність (те, що можна «помацати руками»)	Абстрактність (те, що є «продуктом умовиводів»)
28	Вам більше подобається щось ...	Зробити	Придумати
29	Яке слово Вам більше подобається?	Фундамент	Шпиль
30	Що Вас більше цікавить в роботі / навчанні	Досвід	Теорія
<b>Сума</b>		<b>e</b>	<b>f</b>

Таблиця Ж.2

## Результати оцінювання Л-О за ТІМ

№ з/п	ТІМ	Соціальна значущість	Характерні риси особистості	Позитивні якості	Прийнятні недоліки
1	Логіко-інтуїтивний екстраверт ЛІЕ	Заповзятливий, звільняє структуру від елементів, що заважають прояву ініціативи	Відвертість, іронічність, легко вступає в контакт, оптимістично налаштований, миролюбний	Прагматичний, націлений на реалізацію ідеї в практику, схильність до ризику у сфері бізнесу	Схильність до екстравагантних витівок, сперечатися з несуттєвих питань
2	Логіко-інтуїтивний інтроверт ЛІІ	Глобальний аналіз, встановлення відповідності теорії та практики	Прямолінійний, твердий, аскетичний у матеріальних потребах	Прагнення до досконалого знання предмета, до об'єктивності	Відсутність мобільності, динамічності, зазнає труднощі в налагодженні контактів
3	Інтуїтивно-логічний інтроверт ІЛІ	Критика умов, що перешкоджають проявам природних людських потреб	Тверезість, обережність, мала емоційність	Обачність, розважливості, здоровий глузд, практичність, наполегливість	Нездатність захопитися самому і захопити інших
4	Інтуїтивно-логічний екстраверт ІЛЕ	Бачення майбутнього, можливих перспектив розвитку, генерація ідей	Індивідуалістичен, неортодоксальний, з серйозним складом розуму	Уява, прагнення до великих знань, до розвитку інтелекту	Схильність витати в хмарах, неуввага до практичного
5	Інтуїтивно-етичний екстраверт ІЕЕ	Глибоке проникнення в суть негативних явищ в людських відносинах, бачення можливих альтернатив позбавлення від негативного	Ввічливість, ненав'язливість, безпосередня емоційність, тактовність	Проникливість, уміння підтримати ідею, захопитися нею, легко налагоджує дружні контакти, вміє тонко управляти емоціями і поведінкою людей	Схильний до непродуманих вчинків, іноді до авантюризму, не терпить рутинної роботи, часто змінює захоплення
6	Інтуїтивно-етичний інтроверт ІЕІ	Витончене сприйняття світу, попередження людей про назрівання кризової ситуації	Тривожність, сором'язливість, орієнтація на спілкування з людьми	Уява, інтерес до оригінальних ідей, сприйнятливості до нового, гнучкість	Непрактичність, необов'язковості, схильність до індивідуалізму
7	Етико-інтуїтивний інтроверт ЕІІ	Соціальна значущість: діяльна доброта, милосердя, відстоювання автономії внутрішнього світу людини	Чуйність, доброта, увага до людей і їх потреб, милосердя	Прагнення до об'єктивного аналізу, ретельної переробки деталей, вимогливість до себе	Не вистачає рішучості та ініціативності, не вміє вимагати в вольовій формі, деяка сором'язливість
8	Етико-інтуїтивний екстраверт ЕІЕ	Надихає людей ідеєю, що придбала відчутні завершені логічні форми	Емоційно поривчастий, здатний захопитися сам і захоплювати інших	Здатний йти на виправданий ризик, рішучість, наполегливість	Схильність драматизувати події, недовіра до невідданих ідей і теорій



№ з/п	ТІМ	Соціальна значущість	Характерні риси особистості	Позитивні якості	Прийнятні недоліки
9	Етико-сенсорний екстраверт ЕСЕ	Сприйнятливий до нових ідей, прояв ентузіазму в їх практичній реалізації	Схильність до ентузіазму, допитливість, комунікабельність	Легко вступає в контакт з людьми, швидко дізнається про все нове, легко вирішує проблеми	Втрачає інтерес до справи після того, як охолоне, швидкоплинна захопленість
10	Етико-сенсорний інтроверт ЕСІ	Соціальна значимість: різке неприйняття зла, пороку, насильства, непохитна стійкість у відстоюванні завойованих позицій і етичних цінностей	Емоційна стабільність в рутинних ситуаціях, послідовний, передбачливий, не допускає необачних кроків	Вимогливий до себе та інших, працездатний, цілеспрямованість і рішучість у відстоюванні своїх переконань	Відсутність витримки і терпіння в невизначених ситуаціях, нетерпимість до недоліків інших
11	Сенсорно-етичний інтроверт СЕІ	Прагнення до гармонізації міжособистісних і соціальних відносин	М'який, чутливий, орієнтований на спілкування з людьми	З готовністю відповідає на потреби людей і на вимоги, що висувуються ситуацією, сприяє формуванню атмосфери дружної роботи	Нерішучість у критичні моменти, коли необхідно бачення перспективи
12	Сенсорно-етичний екстраверт СЕЕ	Гнучкість і динамічність, блискавична орієнтація, здатність до компромісу, до правильної оцінки можливостей супротивника	Динамічний, дуже неспокійний, схильний випереджати інших	Напористість, готовність боротися з інертністю, неефективністю, добродушністю і обманом	Схильність піддаватися провокаціям, дратівливість, нетерплячість
13	Сенсорно-логічний екстраверт СЛЕ	Безкомпромійний, рішучий, цілеспрямований у втіленні ідеї в практику	Розвинене почуття обов'язку, орієнтація на цивільні інтереси	Організаційні здібності, практичний здоровий розум, працездатність, висока дисципліна	Іноді нехтує інтересами конкретної особистості, несприйнятливий до недомовлених ідей, нетерплячість
14	Сенсорно-логічний інтроверт СЛІ	Винахідливий в сфері підвищення матеріальних умов існування суспільних груп	Спокійний, холоднокровний, неемоційний, прагне до незалежності	Здоровий глузд, інтуїтивне відчуття реальної користі, діловитість і ґрунтовність в роботі	Проявляє скепсис, недовіру до людей, упертість у судженнях, холодна неемоційність в спілкуванні
15	Логіко-сенсорний інтроверт ЛСІ	Створення і поліпшення організаційної структури – матеріального носія ідеї	Совісність, старанність, любов до порядку, схильність всього побоюватися.	Здатність доводити справу до кінця, педантичність, вимогливість	Тенденція хвилюватися через дрібниці, небажання надавати колегам достатню свободу дій
16	Логіко-сенсорний екстраверт ЛСЕ	Стабілізація матеріальних умов раціональних систем організації суспільних груп, суспільства в цілому	Спокійний, упевнений у собі, з розвиненим самовладанням, орієнтований на сталі традиції та цінності	Здатність ставитися до всіх пропозицій відповідно їх об'єктивної цінності, розвинене прагнення досягнення мети	Помірні творчі здібності до втілення нового, невпевненість у разі ламання старих структур

## Результати оцінювання Л-О за професійною діяльністю відповідно до ТІМ

Професійна діяльність	Зміст професійної діяльності	ТІМ	ПД раціональність/ іраціональність
Науково-дослідна діяльність	Сайєнтиста відрізняють за його прагненням займатися тим, що непізнане, незвичне, якщо воно і не обіцяє прямої і безпосередньої віддачі в майбутньому. Їх характеризує цікавість, бажання розкрити таємниці світобудови і викласти їх науковою мовою. У роботі вони постійно експериментують, не люблять користуватися перевіреними, добре відпрацьованими методами. са відрізняє життєва непристосованість, ігнорування побутової, соціальної у вузькому сенсі слова сторони життя. Справжній сайєнтист може із захватом сперечатися про проблеми, цікавитись знаннями, забуваючи про їжу і питво. Наукові дискусії завжди демократичні, відкриті. Сайєнтисти не поважають ієрархію, регалії, авторитети. Рівень інтелекту - ось критерій, яким вони користуються, коли дають свою оцінку людині	ЛІЕ	Раціональність
		ЛІІ	Раціональність
		ЛІІІ	Іраціональність
		ЛІЕ	Іраціональність
Гуманітарно-мистецька діяльність	Найбільш ефективна у сфері культури, мистецтва, релігії, психології та інших гуманітарних дисциплінах. Гуманітарії відрізняються особливим душевним настроєм, пов'язаним з переживаннями про людські недосконалості. Всі вони в тій чи іншій мірі песимісти, хоча й намагаються заглушити в собі тривожні передчуття. Гуманітарії не володіють даром колективізму. Вони вважають за краще або відокремлене спілкування з колом обраних, або виступ перед великими групами людей. Незважаючи на їх життєву непрактичність, люди звертаються до них у важких моральних ситуаціях. Гуманітаріям властива здатність співпереживати людському горю	ІЕЕ	Іраціональність
		ІЕІ	Іраціональність
		ЕІІ	Раціональність
		ЕІЕ	Раціональність
Соціально-комунікативна діяльність	Найбільш ефективна в соціальній сфері (торгівля, постачання, послуги, дозволя, охорона здоров'я і т. п.). Соціали видають себе в першу чергу тим, що чудово відчувають повсякденні потреби людей. Вони за своєю природою налаштовані на групову взаємодію, задоволення поточних фізичних потреб людини - в їжі, відпочинку, спілкуванні, сім'ї і т. ін. Соціальна дбайливість і опіка - їх характерна риса. Вони дуже демократичні за своєю природою, непогано почувають ситуацію. Вони більше за інших типів цінують сім'ю, домівку. Життєві радості і затишне облаштування в цьому світі – ось ті форми, в які вбирається їх соціальна активність	ЕСЕ	Раціональність
		ЕСІ	Раціональність
		СЕ	Іраціональність
		СЕЕ	Іраціональність
Техніко-управлінська діяльність	Найбільш ефективна у сфері матеріального виробництва. Виявляють на роботі твердість і організованість, реалістичність поглядів і вчинків. Фантазії і сміливі проекти управлінці без жалю відмітають. Вони терпіти не можуть розумних базік, які замість того, щоб робити справу, міркують в душі «а якщо ...». Реалізм управлінців доповнюється чітко вираженим прагматизмом. Справжній керівник ніколи не візьметься за справу, якщо воно не гарантує вагомою віддачі. Більш того, він постійно порівнює, що більш вигідно, а що - менш. Захоплюються управлінці зазвичай тим, що предметно, фізично відчутно. Як правило, це техніка, активний відпочинок, спорт. Найбільш слабкі здібності в управлінців в гуманітарній галузі. У емоції і відносини вони не вникають	СЛЕ	Іраціональність
		СЛІ	Іраціональність
		ЛСІ	Раціональність
		ЛСЕ	Раціональність

## Результати оцінювання Л-О за ПД

Інформаційний рівень	
Екстраверт	Інтроверт
Екстраверт звернений назовні, він розповсюджує свої думки і дії вишир. Екстраверт добре орієнтується у зовнішньому світі (не обов'язково світі людей), велика частина його проблем знаходиться всередині нього. Внутрішній процес переробки нової інформації, коли доводиться вести діалог наодинці з собою, доставляє йому труднощі. Він набагато краще дає оцінку іншим людям або чужим ідеям, ніж самому собі і своїм власним думкам	Інтроверт звернений усередину себе, він більш ефективно діє, коли доводиться освоювати вже наявне, розвивати його вглиб. Інтроверт же, навпаки, добре орієнтується в своєму внутрішньому світі, процес самопізнання для нього неважкий. Він відчуває труднощі, коли доводиться переробляти нову інформацію не наодинці з собою або в присутності близьких людей і однодумців, а за нових для нього людей, сторонніх. Інтроверт краще дає оцінку собі і своїм ідеям, ніж іншим і їх висловлювань
Психологічний рівень	
Логік	Етик
Логіки - це ті, хто без праці контролює емоційну сферу за допомогою розуму. Логіки значно менше схильні симпатіям-антипатіям, критерій їх оцінки - «потрібно - не потрібно». Люди холодного розуму, вони обережні у питаннях любові й людських відносин, намагаються розумом, а не серцем зрозуміти своє місце серед інших. Логіки щодо неемоційним або їх емоційність поверхова, внутрішні переживання лише епізодичні	Етики добре розбираються в емоціях своїх і чужих, відмінно орієнтуються у відносинах між людьми, люблять давати етичні оцінки «добре-погано». Вони непогані психологи від природи, відчувають чужі емоції, вміють виявляти свої почуття або повні внутрішніх переживань. Світ їх особистості пронизаний емоційним сприйняттям подій
Соціальний рівень	
Сенсорик	Інтуїт
Сенсорики - це люди відчуттів, у них добре розвинена просторова орієнтація завдяки надійній системі органів чуття. Сенсорики завжди практичні, вони перетворюють навколишній їхній простір, проявляють фізичну активність, впливаючи на навколишнє соціальне середовище. Сенсорики - це ті, хто більше діє, ніж розмірковує	Інтуїти на відміну від сенсориків - це люди уяви і фантазії, вони орієнтуються не на сьогоднішній день соціуму, а на майбутнє, перспективу. Це споглядальники, які більше розмірковують, ніж діють. У суспільстві інтуїта не вистачає практичності, їх більше займають абстрактні проблеми, ніж реальний стан справ. Це теоретики за своєю природою, які думають про те, чого зараз немає або як би воно було інакше. Тому інтуїти нерідко розсіяні або усунуті від навколишньої дійсності
Фізичний рівень	
Раціонал	Ірраціонал
Дана ознака пов'язана з асиметрією півкуль головного мозку і типом нервової системи людини. У раціоналів провідним є ліва півкуля, їхня нервова система негнучка, інертна. У них стабільна працездатність. Вони мало залежать від свого настрою, добре керують їм, для них не характерно яскраво виражене чергування підйомів і спадів. Якщо їх настрої змінюється, то це відбувається з вагомої причини і надовго. В житті вони послідовні, але не дуже гнучкі, люблять до важливих питань готуватися заздалегідь, прагнуть довести справу до кінцевого результату і лише потім беруться за іншу	У ірраціоналів провідною є права півкуля, тип їхньої нервової системи - гнучкий, рухливий. Вони живуть по хвилеподібним ритмам підйомів і спадів, їх працездатність багато в чому залежить від настрою. Саме їх настрої може змінюватися по кілька разів за день навіть з незначних причин. У поведінці вони гнучкі, легко пристосовуються до мінливої ситуації, люблять експеримент, імпровізацію, не можуть довго займатися одним і тим же

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

Редактор: Сушкова Л.В.  
Технічний редактор: Будулатій В.П.  
Комп'ютерна верстка: Смірнов С.М.

Підписано до друку 02.03.2012 р.  
Формат 60x84 1/8. Папір офсетний. Друк офсетний.  
Ум. друк. арк. 33,9. Обл.-вид. арк. 36,5.  
Свідоцтво держ. реєстру ДК № 1963 від 07.10.2004 р.  
Зам. № 075/2012. Тираж 300 прим.

Кіровоградська льотна академія  
Національного авіаційного університету.  
Видавництво. м. Кіровоград,  
вул. Добровольського, 1,  
тел. 39-44-37.