

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний авіаційний університет**

В.П. Харченко, О.М. Алексєєв

**СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ АВІАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**

УДК 629.7.014-519:629.735.072.4(02)  
ББК 0571.0-521-021.7  
Х227

Система управління ризиками авіаційної діяльності /Харченко В. П., Алексєєв О.М/  
Под ред. Харченко В.П.: – К. : НАУ, 2018. – 312 с.

*Рецензенти:*

*Дмітрієв М.М. - доктор технічних наук, професор, перший проректор – проректор з наукової роботи Національного транспортного університету, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, заслужений працівник народної освіти України, академік Транспортної академії України,.*

*Неділько С.М. - доктор технічних наук, професор, начальник льотної академії Національного авіаційного університету.*

*Соколи І.І. - доктор економічних наук, професор кафедри менеджменту Одеського Національного політехнічного університету*

*Рекомендовано до друку Вченою Радою Національного авіаційного університету (протокол № 4 від 23.05.2018 р.) в якості монографії.*

У наукових матеріалах приведені результати досліджень, що пов'язані з розробленням методології забезпечення та підтримки гарантованого рівня безпеки польотів, яка полягає в об'єднанні в єдиний комплекс завдань оцінки, забезпечення та верифікації безпеки авіаційної діяльності, як складної ієрархічної структури з незалежними критичними елементами, а також апаратних, програмних, мережових і ергатичних компонентів, які є і засобом, і об'єктом забезпечення безпеки.

Реалізація забезпечення гарантованого результату полягає в реалізації процесів управління безпекою польотів, щоб не допустити перехід інфраструктури або її систем в потенційно небезпечний стан і забезпечити блокування (виключення) відповідного технічного об'єкта в разі переходу або загрози переходу в небезпечний стан і мінімізація наслідків такого переходу.

Визначено, що існує необхідність мати систему показників ефективності забезпечення безпеки польотів, яка б враховувала співвідношення результатів і процесу для оцінки можливості управління факторами ризику при здійсненні авіаційної діяльності. Дана методологія заснована на тому припущенні, що ефективність забезпечення безпеки польотів слід вимірювати виходячи з того, наскільки добре здійснюється управління факторів ризику в рамках всієї системи авіаційної діяльності.

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

**УДК 656.7.052**  
**ББК 39.57**

ISBN 978-966-932-010-0

© НАУ, 2018

<b>ВСТУП</b>	<b>5</b>
<b>1 Проблеми функціонування та забезпечення безпеки авіаційної діяльності України</b>	<b>9</b>
1.1 Аналіз стану безпеки польотів	9
1.2.1. Концепція функціонування муніципальної авіації в межах мегаполісу	35
1.3 Огляд сучасних стандартів та інструментів управління ризиками при здійсненні авіаційної діяльності	39
1.4 Принципи та стратегії забезпечення гарантованого рівня безпеки польотів	49
<b>2 Дефініція базових концепцій забезпечення гарантованого рівня безпеки польотів</b>	<b>66</b>
2.1 Аналіз методів прийняття управлінських рішень. Нейронно мережевий підхід	66
2.2 Метод моделювання імовірності виникнення особливих ситуацій у польоті	72
2.3 Імовірнісна модель управління факторами ризику	77
2.4 Нейронно-мережева модель автоматизованого управління безпекою польотів	81
2.5 Формалізація методів «Простору безпеки», класифікація та характеристики умов виникнення ризиків	87
2.6 Визначення принципів управління факторами ризику при здійсненні авіаційної діяльності	100
2.7 Моделі етіології виникнення особливих ситуацій у польоті	111
<b>3 Методи комплексної оцінки впливу системи ризиків на ефективність авіаційної діяльності</b>	<b>121</b>
3.1 Формування показників та критеріїв оцінки впливу ризиків на ефективність авіаційної діяльності	121
3.2 Метод забезпечення гарантованого результату підтримки рівня безпеки польотів	132
3.3 Методи гарантованого забезпечення та підтримки ризиків на допустимому рівні.	140
3.3.1. Метод оцінки рівня "забрудненості" баз даних	140
3.3.2. Метод оцінки впливу зовнішніх факторів на формування помилок в базах дани автоматизованих систем управління безпекою польотів	141
3.3.3. Метод оцінки рекомендацій по управлінню безпекою польотів	142
3.3.4 Метод забезпечення інформаційної стійкості при управлінні безпекою польотів	144
3.3.5 Метод обліку апіорних знань для підвищення інформаційної стійкості забезпечення безпеки польотів	146
3.3.6. Метод багатокрокової оптимізації процесу забезпечення безпеки польотів	146
<b>4 Математичні моделі управління авіаційними ризиками</b>	<b>152</b>
4.1 Моделі забезпечення безпеки авіаційної діяльності	152
4.1.1. Модель оцінки достовірності вхідної інформації	155
4.1.2. Модель оцінки незмінності операторів	155
4.1.3. Модель оцінки виконання операторами встановлених норм та правил	157

	із забезпечення безпеки польотів	
4.1.4.	Модель оцінки правдоподібності вводимих параметрів польоту	158
4.2	Моделі виявлення і виправлення помилкових дій	162
4.2.1	Модель виявлення випадкових і несвідомих помилок авіаційних операторів	163
4.2.2	Модель з дискретною функцією належності до альтернатив відносно цілей	168
4.2.3	Модель процесу зменшення ризиків при управлінні польотами	172
4.2.4	Модель оцінки інформаційних впливів на процес управління безпекою польотів	175
4.2.5.	Модель оцінки забезпечення безпеки польотів по всьому переліку показників деструктивних впливів	176
4.3	Моделі забезпечення інформаційною стійкістю при організації обслуговування повітряного руху	178
4.3.1	Модель оцінки інформаційній стійкості в процесі управління польотами	178
4.3.2.	Модель інформаційної стійкості за вимогами оперативності управління	180
4.3.3.	Модель інформаційної стійкості за вимогами повноти та достовірності інформації	181
4.3.4	Модель відновлення інформаційної стійкості в умовах деструктивних впливів	184
4.3.5.	Модель розрахунку критерію оцінки рівня безпеки польотів з урахуванням розміру збитку	186
<b>5</b>	<b>Нечіткі інструменти забезпечення гарантованого рівня безпеки польотів</b>	<b>192</b>
5.1	Методика побудови комбінованих нечітких Байєсовських мереж оцінки для можливості виникнення ризику	192
5.2	Нечітка процедура розрахунку збитку від настання ризиків при авіаційної діяльності на основі моделі вибору оптимальних стратегій.	205
5.3	Реалізація нечіткої моделі підтримки гарантованого рівня безпеки польотів в програмному середовищі	216
5.3.1	Визначення оптимального рішення в проекції мінімізації безкорисностей	222
	<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>229</b>
	<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>231</b>

## ВСТУП

З огляду на статистику за останнє десятиріччя по авіаційним подіям (АП) питання забезпечення гарантованого рівня безпеки польотів (РБП) є найбільш актуальними, оскільки недоліки і проблеми в функціонуванні авіаційної діяльності (АД) пояснюються відсутністю загальнотеоретичного базису та загальноприйнятих науково-обґрунтованих підходів до управління безпекою польотів (УБП), розробка яких має орієнтуватися на вимогу ІКАО, яка визначає, що жодний регіон не повинен мати рівень частоти АП більш ніж удвічі перевищує загальносвітовий. Йдеться про такі головні напрямки:

- введення прийнятного РБП в державі;
- обов'язкові процедури, що забезпечують розробку та впровадження системи управління безпекою польотів (СУБП);
- обов'язкові процедури забезпечення безпосереднього управління РБП в межах прийнятного або встановленого рівня (постійний моніторинг та регулярна оцінка безпеки польотів (БП), коригувальні дії, необхідні для витримування узгоджених показників БП, та нагляд ними, аналіз польотної інформації, управління ризиком АП, та ін.).[192, 193]

Управління БП - це головна менеджерська функція, яка повинна розглядатися на рівні, щонайменше адекватному за ступенем важливості іншим бізнес-функціям будь-якої авіакомпанії, реалізація якої повинна спиратися на збалансоване виділення ресурсів на виробничі завдання і засоби захисту, що сприятимиме встановленню кордону безпеки [15].

Схожість природи появи ризиків і зростаюча актуальність їх зниження до прийнятного рівня для різних критичних додатків обумовлює актуальність створення методології забезпечення і підтримки гарантованого рівня безпеки майбутніх польотів.

Призначення методології полягає в об'єднанні в єдиний комплекс завдань оцінки, забезпечення та верифікації безпеки АД, як складної ієрархічної структури з незалежними критичними елементами, а також апаратних, програмних, мережевих і ергатичних компонентів, які є і засобом, і об'єктом забезпечення безпеки [165, 201].

Релізація забезпечення гарантованого результату полягає в реалізації процесів управління таким чином, щоб не допустити перехід інфраструктури або її систем в потенційно небезпечний стан і забезпечити блокування (виключення) відповідного технічного об'єкта в разі загрози переходу або при переході в небезпечний стан і мінімізація наслідків такого переходу.

При розгляді аспектів БП прийнятий постулат, що абсолютної безпеки не існує - після прийняття захисних заходів залишковий ризик завжди залишається. Необхідно відзначити, що даний термін використовують лише в тому випадку, коли існує можливість настання негативних наслідків. Нами розглядається ризик як міра ймовірності заподіяння шкоди безпечному функціонуванню системи та навколишньому середовищі, а також тяжкості цієї шкоди. «Збиток» визначається як фізичне пошкодження або нанесення шкоди, пов'язаної з погіршенням стану здоров'я або життєвих функцій людини, який зменшує його здатності до нормального повноцінного функціонування з точки зору його фізіології. Збиток може бути завдано як прямо, так і опосередковано і якісно класифікується за рівнями як катастрофічний, критичний, граничний, незначний. В окремих роботах оцінку збитку пропонується висловлювати в грошових одиницях (якщо це матеріальний збиток) і або кількості людських жертв. У загальному випадку безпеки функціонування АД досягається за рахунок зменшення ризику до допустимого рівня.

Таким чином існує необхідність мати систему показників ефективності забезпечення БП, яка б враховувала співвідношення результатів і процесу для оцінки можливості управління факторами ризику (ФР) при АД. Дана методологія заснована на тому припущенні, що ефективність забезпечення БП слід вимірювати виходячи з того, наскільки добре здійснюється управління ФР в рамках всієї системи АД.

Вимірювання ефективності забезпечення БП повинно передбачати роль регулюючого органу і його вплив на ефективність процесів управління безпекою польотів (УБП) у постачальників продукції/обслуговування, і їх вплив на результати АД.

При оцінці ефективності забезпечення БП повинні враховуватися характеристики процесу, що призводить до очікуваних результатів, і відповідним чином повинні розроблятися показники. Запропонований метод оцінки БП, заснований на трьох рівнях поведінки системи: результати високого рівня в галузі забезпечення БП, поведінка постачальників обслуговування і діяльність органів регулювання, є одним з постулатів гарантованого РБП.

Сучасна теорія і практика оцінювання і забезпечення гарантованого РБП виділилися в окрему галузь наукових досліджень 20-30 років назад, тому є відносно молодими та знаходяться на етапі розвитку і становлення, які включають в себе вже раніше відомі методологічні підходи, засновані на дослідженні операцій, теорії ігор з протилежними інтересами, теорії можливості [22].

Авіаційна діяльність постійно і різноманітне демонструє фізичні та суспільні процеси, в яких інтереси учасників не посять антагоністичний характер, хоча аж ніяк і не завжди збігаються. Вивчення таких процесів в основному необхідно для вироблення їх учасниками методик прийняття рішень (ПР) по вибору тих чи інших параметрів процесів, які знаходяться в їх розпорядженні [60, 61, 62].

На результати дослідження автора вплинули роботи вчених: Харченко В.П., Шмельової Т.Ф., Чепіженка В.І., Павлової С.В., Рухлінського В.М., Реви О.М., Неділько С.М, Соколи І.І., Гермеєра Ю.Б., Л. Заде, А., Кофмана.

Аналізуючи праці вчених визначено:

в [151] ризик визначається, як «вплив, яке може привести до втрат чи іншого збитку». Міжнародний стандарт РМВОК визначає ризик проекту, як «сукупність елементів в управлінні проектом, що включають процеси ідентифікації, аналізу і відповідних реакцій на ризики, що виникають в проекті». В [79] ризик трактується, як «рівень втрат, що виражаються в змоги не досягти поставленої мети; б) в невизначеності прогнозованого результату; в) в суб'єктивності оцінки прогнозованого результату». В [59] стверджується, що управління ризиком - це заходи, що дозволяють не допускати або зменшувати несприятливі впливу на результати довгострокового прогнозування та стратегічного планування, вироблення обґрунтованої концепції і програм розвитку, адаптованих до невизначеності. В [66] процес управління ризиками розглядається як один з елементів системи управління, що представляє підготовку і реалізацію заходів, що знижують наслідки від прийняття помилкових рішень і зменшують можливі негативні наслідки від небажаних подій, які можуть виникнути в ході реалізації прийнятих УР. В [73] управління ризиками визначається як процес, що підтримує баланс між різними ресурсами підприємства, для досягнення його цілей з використанням технологічних, організаційних та фінансових інструментів. Деякі вчені визначають «управління ризиками», як комплекс управлінських рішень, спрямованих на зниження ймовірності появи несприятливих результатів в діяльності підприємства і зменшення можливих втрат від їх реалізації [93, 107, 174, 178], присвяченій управлінню проектами і проблемам управління ризиками, немає єдності у визначенні критеріїв класифікації ризиків. Ідентифікація ризиків може здійснюватися наступними методами [78, 95, 169, 170, 171, 180] проте до недоліків перерахованих методів ідентифікації ризиків можна віднести складність виконання аналізу контрольних списків, оскільки вони здатні включати велику кількість позицій і необхідність залучати до роботи сторонніх експертів [7]. Аналіз впливу ризику на проект може бути якісним і кількісним. У процесі якісного аналізу виконується ранжування ідентифікованих ризиків шляхом оцінки ймовірності їх появи і ступеня впливу на проект, які, як правило, базується на думці експертів [7, 177]. У процесі кількісного аналізу можуть бути отримані оцінки ризиків шляхом застосування аналізу, що базується на

чутливості, імовірнісного аналізу, імітаційного моделювання або аналізу рішень за допомогою дерева рішень [41,64,65,51,92,162]. Однак, застосування перерахованих методів у багатьох випадках буває проблематичним через відсутність достатнього обсягу статистики для побудови адекватної моделі аналізу [93].

Також, в ряді випадків, для отримання кількісної оцінки використовують ймовірність появи ризикової події і збиток негативних наслідків від нього. Як інтегральної оцінки ризику використовується твір величини ймовірності і шкоди [49,115,116,145].

Не менш важливим недоліком існуючих підходів оцінки ризиків є відсутність методологічної основи для інтегрального аналізу різних чинників ризику (якісних і кількісних).

З урахуванням вищевикладеного можна сказати, що для підвищення ефективності управління ризиками необхідні формалізація і автоматизація на різних етапах. Таке завдання може бути вирішена шляхом розробки СППР, управління проектними ризиками. Система підтримки прийняття рішень (СППР) при цьому повинна ґрунтуватися на сучасні методи обробки інформації в умовах суттєвої невизначеності і дозволяти проводити аналіз ризиків, виробляти, оцінювати і приймати ефективні рішення. Для цього система повинна використовувати моделі, що інтегрують якісні та кількісні фактори, що визначають ризики проекту [64]. Аналіз з БП показує, що особі, що здійснює ПР, приходится оцінювати ситуацію в умовах обмеженості або нечіткості інформації, або при наявності нечітких цілей і обмежень, процеси реалізації проекту характеризуються істотною невизначеністю протягом усього життєвого циклу, а виникаючі ризики залежать від різних факторів (якісних і кількісних). Дані обставини впливають на якість прийнятих рішень, підвищення якого може бути досягнуте за допомогою застосування методів і моделей, що враховують наявні невизначеності [163].

Імовірнісний підхід базується на статистичній обробці даних по раніше реалізованим проектам. Однак, в значній кількості випадків необхідні для цього статистично значущі оцінки виду і параметрів закону розподілу факторів, що впливають на проектний ризик, не можуть бути отримані через недостатні обсяги вибірки [64,101,102,103,121].

Мінімаксний підхід і зовсім допускає приймати рішення на підставі тільки найкращих і найгірших інтегральних оцінок, що не є ефективним.

Експертні методи важко застосовувати при оперативній оцінці невизначеностей і ризиків, оскільки вони вимагають наявності фахівців високої кваліфікації і великих часових витрат [163]. Крім того, досить важко об'єднати в одній моделі кількісні і якісні фактори. Застосування апарату нечіткої математики є альтернативою в тих випадках, коли класичні методи не можуть дати достатньо адекватного результату. Методи і моделі нечіткої логіки дозволяють виконати формалізацію і перетворення нечітких кількісних (якісних) понять, якими оперують менеджери і експерти в процесі реалізації проекту. Лотфі Заде стверджував, що чим глибше ми аналізуємо реальну задачу, тим невизначений стає її рішення [215]. Передумовою створення теорії нечітких множин з'явився людський розум, який, користується нечіткими категоріями при оцінці ситуацій. Тому при розробці систем управління і ПР застосування методів і моделей нечіткої логіки дозволяє отримати деякі переваги, а в деяких випадках це єдино можливий вихід. Нечіткі моделі мають ряд особливостей таких, як можливість урахування особистих якостей та інтуїції експертів в певній предметній області; здатність більш адекватно моделювати процеси при УР і отримувати рішення по точності співвідносно з вихідними даними; підтримка швидкої розробки прототипу проектного продукту з подальшим збільшенням складності його функціональності; простіша їх апаратна або програмна реалізація в системах управління і ПР в порівнянні з класичними алгоритмами. Системи, які базуються на нечіткій логіці, пов'язують динамічні процеси між входом і виходом набором нечітких правил, які використовують

лінгвістичні змінні замість ускладнених динамічних моделей.

Застосування алгоритмів нечіткої логіки в системах підтримки ПР значно підвищує ефективність роботи осіб, котрі приймають рішення, в різних областях діяльності [57,58,96,155,161]. Крім того, використання нечіткої логіки надає можливість побудови моделей предметних областей, що характеризуються невизначеністю, використовуючи нечіткі числа, числа й лінгвістичні змінні [37,38,245]. Слід зазначити, що нечіткі моделі не покликані стати заміною широко поширених аналітичних і імітаційних методів моделювання процесів УБП в тих випадках, коли є можливість побудови і статистичної перевірки імовірнісних залежностей. Сфера застосування нечітких моделей - це ті системи управління, в яких має переважання якісних показників над кількісними, коли набір вихідних даних обмежений і не дозволяє отримати статистично достовірних оцінок виду і параметрів імовірнісного розподілу.



# 1. ПРОБЛЕМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ АВІАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УКРАЇНИ

## 1.1. Аналіз стану безпеки польотів.

У 2017 році, під час експлуатації цивільних ПС України виконання пасажирських та вантажних перевезень, здійснення авіаційних робіт, навчально-тренувальних польотів та експлуатації ПС авіації загального призначення, що внесені в Державний реєстр цивільних ПС сталися наступна кількість АП та інцидентів, які показано на Рис.1.1.

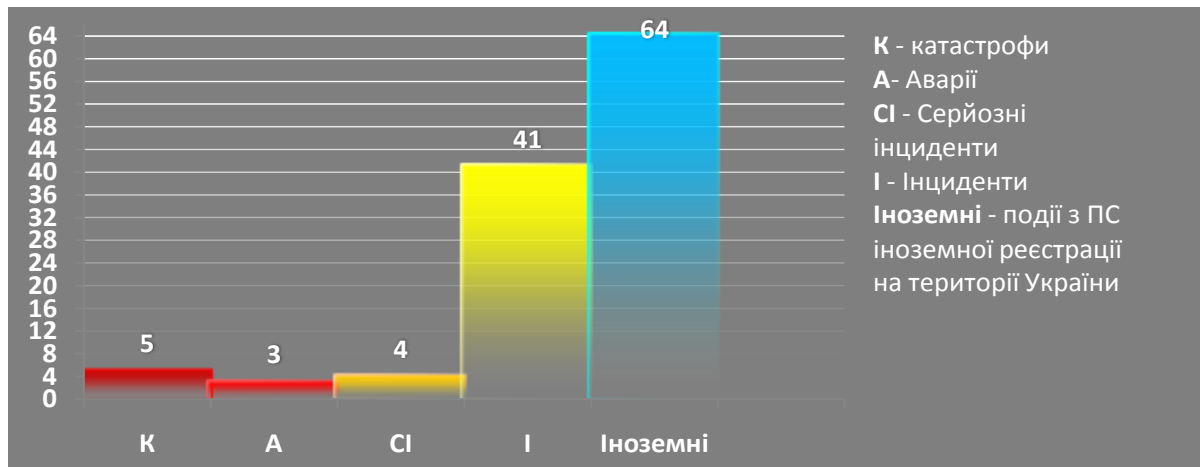


Рис.1.1 Порівняльний аналіз подій, що сталися у 2017 році

У порівнянні з минулим роком:

- *при виконанні пасажирських та вантажних перевезень на регулярних і нерегулярних лініях:*
  - катастроф не було;
  - сталася 1 аварія з літаком Ан-74-ТК-100 при виконанні вантажного рейсу (республіка Сан-Томе і Принсіпі);
  - кількість серйозних інцидентів зменшилась на 1, у 2016 році відбулося 4 СІ;
  - кількість інцидентів збільшилась на 20, у 2016 році було 21;
  - ППС на землі не було, у 2016 році відбулося 1 пошкодження ПС на землі;
  - сталося 30 надзвичайних подій, у 2016 році було 12 (з урахуванням випадків засліплення екіпажів лазерними променями).
- *при виконанні польотів на авіаційних роботах (у тому числі учбово-тренувальних польотів):*
  - сталося 2 катастрофи, у 2016 році катастроф не було;
  - кількість аварій зменшилась на 3, у 2016 році відбулося 4 аварії;
  - стався 1 серйозний інцидент, у 2016 році серйозних інцидентів не було;
  - стався 1 інцидент, у 2016 році інцидентів не було;
  - пошкоджень ПС не було;
  - надзвичайних подій не було.
- *при експлуатації авіації загального призначення:*
  - у 2017 році сталося 3 катастрофи, в яких загинуло 6 людей та 1 аварія в якій пілот та двоє осіб, що знаходились на борту ПС отримали серйозні тілесні ушкодження. У 2016 році авіаційних подій, надзвичайних подій та пошкоджень ПС не було.

У 2017 році загальний наліт по сертифікованих компаніях склав 288326<sup>1</sup> льотних годин, що на 9,6% більше у порівнянні з 2016 роком (263044 години). Транспортні компанії налітали 268396 години (у 2016 – 234854 години), наліт при виконанні авіаційних робіт та УТП склав 19930 години (у 2016 – 28190 годин).

Таб.1.1. Авіаційні події та інциденти з цивільними ПС України

№ п/п	Класифікація подій	Кількість подій				Кількість постраждалих			
		абсолютна кількість		на 100 тис. годин		загинуло		травмовано	
		2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016
I	Кількість АП та інцидентів при виконанні комерційних транспортних перевезень								
1.1	Катастрофи								
1.2	Аварії	1		0,37↑				2	
1.3	Серйозні інциденти	3	4	1,11↓	1,7				
1.4	Інциденти	40	21	14,9↑	9				
II	Кількість АП та інцидентів при виконанні авіаційних робіт, у т.ч. при УТП								
2.1	Катастрофи	2		10↑		2			
2.2	Аварії	1	4	5↑	1,41			1	
2.3	Серйозні інциденти	1		5↑	0				
2.4	Інциденти	1		5↑	0				
III	Загальна кількість АП та інцидентів з цивільними ПС України								
3.1	Катастрофи	2		0,69↑					
3.2	Аварії	2	4	0,69↓	1,53				
3.3	Серйозні інциденти	4	4	1,38↓	1,52				
3.4	Інциденти	41	21	14,2↑	8				
3.5	Всього	49	29	17↑	11,4	2		3	

Таб.1.2 Кількість надзвичайних подій, пошкоджень ПС на землі, подій з іноземними ПС, що сталися в Україні та подій з ПС загального призначення.

№ п/п	Класифікація подій	Кількість подій		Кількість постраждалих			
		2017 рік	2016 рік	Загинуло		Травмовано	
				2017 року	2016 року	2017 року	2016 року
1	Надзвичайні події*	30	12				
2	Пошкодження ПС		1				
3	Події з ПС авіації загального призначення	К/А	3/1		6		4
		СІ/Ін					
4	Події з ПС, що не внесені до державного реєстру	К/А	2/1	1/0	2	1	1
		Інц					
5	Події з іноземними ПС	64	41				

У 2017 році при експлуатації цивільних ПС України з метою виконання авіаційних робіт та учбово-тренувальних польотів сталося 2 катастрофи, 1 аварія та 1 серйозний інцидент, при виконанні транспортних перевезень сталося 1 аварія та 2 серйозні інциденти (викочування ПС за межі ЗПС).

Таб.1.3 Події з ПС при виконанні транспортних перевезень, авіаційних робіт та учбово-тренувальних польотів

№ п/п	Класифікація подій	2017 рік	2016 рік
		Кількість подій	Кількість подій
1	Катастрофи	3	-
2	Аварії	2	4
3	Серйозні інциденти	3	4
4	Інциденти	41	21
Всього подій		<b>49</b>	<b>29</b>
Кількість постраждалих		2017 рік	2016 рік
5	Загинуло	2	-
6	Травмовано	3	-

Таб.1.4. Розподіл катастроф, аварій та серйозних інцидентів за експлуатантами

Експлуатант \ Вид події	Приватна особа	ТСОУ	ТОВ «Меридіан»	Харківський аероклуб ім. Гризодубової	Savok Air	Дніпро авіа	Мотор Січ	ТОВ «Простор Авіа»	Роза Вітрів
К	3	1	1						
А	1			1	1				
СІ	0,5					1	1	0,5	1

Таб.1.5. Розподіл катастроф, аварій та серйозних інцидентів за факторами

Фактори \ Вид події	Людський	ВКН	Не визначено
К	3		2
А	1		2
СІ		1	3

Таб.1.6. Розподіл катастроф, аварій та серйозних інцидентів за етапами польоту

Етап польоту \ Вид події	На місці стоянки	Зліт	На маршруті	Посадка	Після-посадковий пробіг
К	1		3	1	
А		1		2	
СІ		1	1		2

Інциденти. У 2017 році до НБРЦА надійшли повідомлення про 41 інцидент, що сталися з цивільними ПС України. Згідно з наданими даними, абсолютна кількість інцидентів, у порівнянні з минулим роком, збільшилась у 2 рази. При цьому загальний обсяг нальоту збільшився на 9,6%. З 2017 року, тенденція зменшення кількості інцидентів (2013-2016 роки), що надходять до Національного бюро, змінила напрямок на протилежний. Така тенденція не обов'язково вказує на погіршення стану безпеки польотів в Україні, а скоріше вказує на покращення рівня інформування про події (порівняно з попереднім 2016 роком), що опосередковано можна підтвердити співвідношенням кількості інцидентів на 1 СІ, яке є аналогічним рівню 2014 року (10), а збільшення нальоту у 2017 році знизило коефіцієнт аварійності по СІ до 1,4 – один з найнижчих за останні 5 років. Важливо також відзначити, що відповідно до [аналізу стану БП виконаному EASA](#) з 2012 по 2016 рік, середнє співвідношення кількості інцидентів до СІ по всім державам ЄС становить 175 до 1, в той час як в Україні такий самий показник (середній за 5 років) складає 11 до 1. Тобто імовірність виникнення серйозних інцидентів в Україні у 16 разів вища ніж в середньому по Європі, або інформація про інциденти від НБРЦА приховується. З урахуванням того, що 50% інцидентів належать до фактора орнітології, співвідношення інцидентів до серйозних інцидентів в Україні стає ще більше незрозумілим. Кількість інцидентів помісячно у порівнянні з минулими роками представлена на графіку нижче.

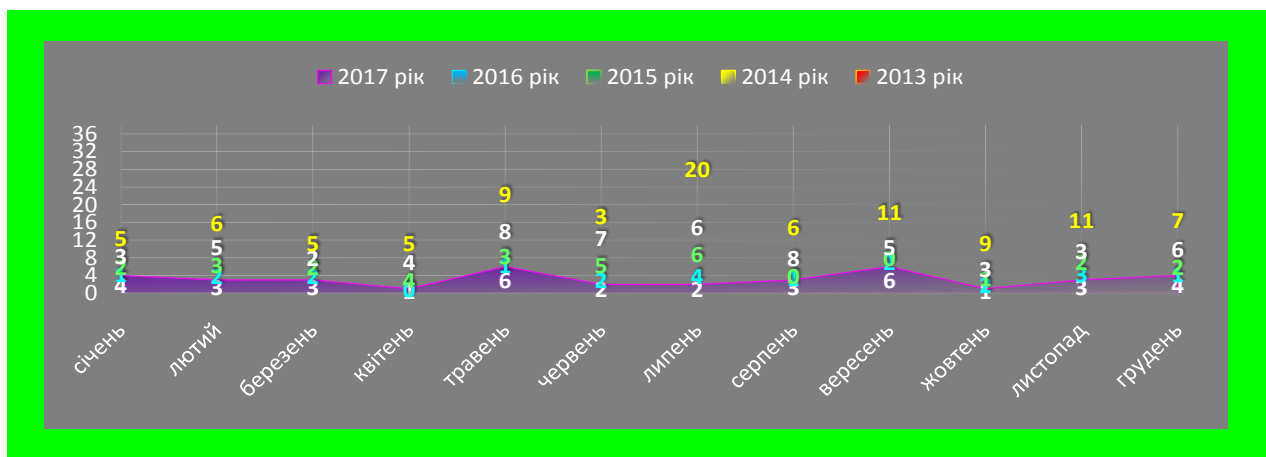


Рис.1.2. Кількість інцидентів помісячно у порівнянні з минулими роками

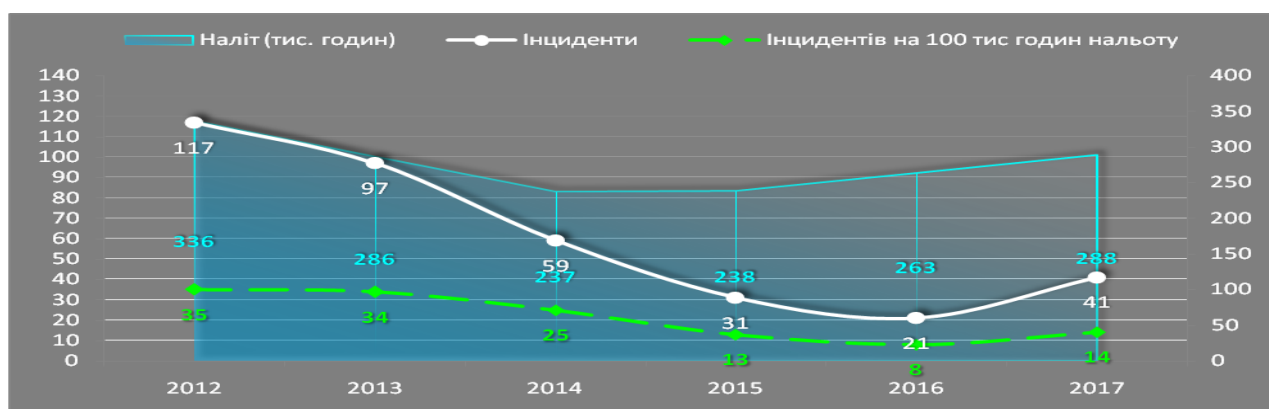


Рис.1.3. Кількість інцидентів та годин нальоту за роками

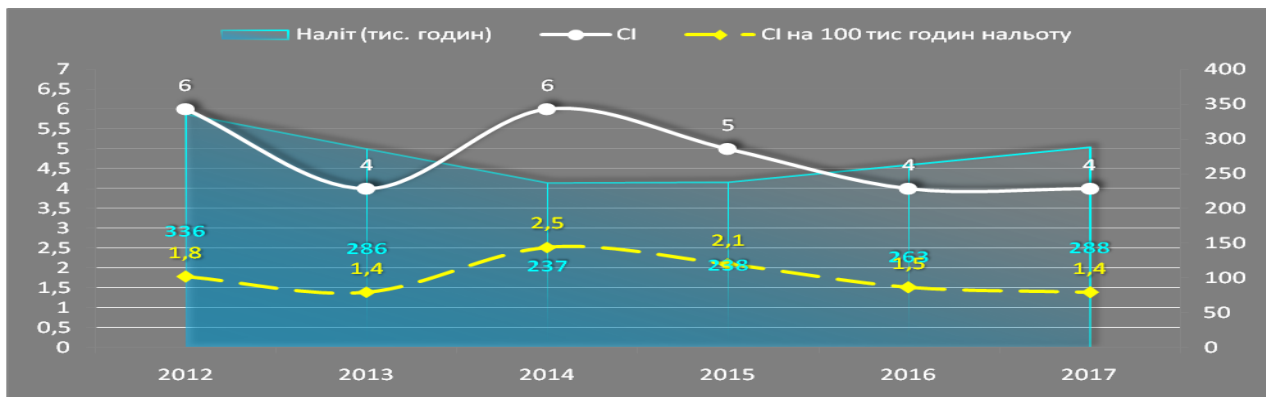


Рис.1.4. Кількість серйозних інцидентів та годин польоту за роками

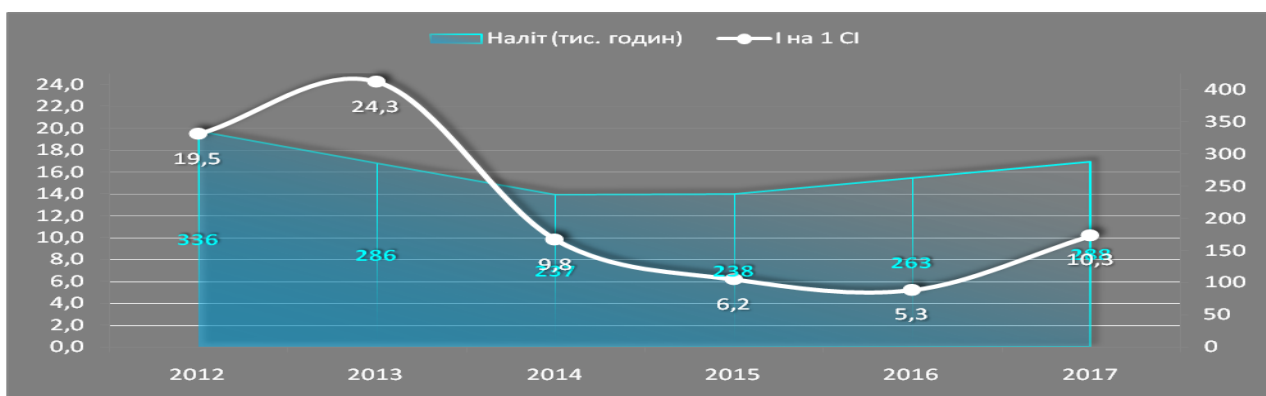


Рис.1.5. Кількість інцидентів на 1 серйозний інцидент

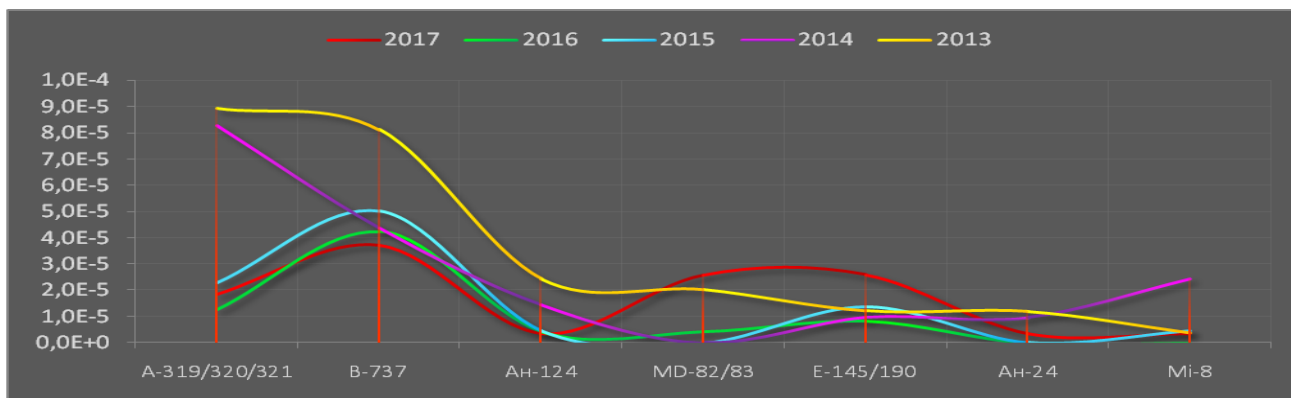


Рис. 1.6. Розподіл інцидентів за найбільш експлуатованими типами ПС (вірогідність виникнення інциденту за 1 годину польоту (2013-2017 роки))

Таб. 1.7. Розподіл АП та інцидентів за типами ПС

Повітряні судна	Класифікація АП: К – катастрофи (-) число загиблих при катастрофі А – аварії СІ – серйозні інциденти І – інциденти	ЕПС – екіпажі ПС ДИС - диспетчер ОРГ – організаційний недолік ТЕХ та ВКН – технічний фактор чи персонал заводів виробника чи розробника (виробничо-конструктивний недолік) Л(ТО) - Людський фактор (технічне обслуговування) Л(А) - Людський фактор (персонал аеродрому) ІН – інші (персонал замовника, навколишнє

					середовище, орнітологія та ін.) НВ – розслідування події триває, або розслідування не проводилось, у зв'язку з чим фактор встановити неможливо.			
Тип ПС	К	А	СІ	І	ЕПС	ТЕХ	ІН	НВ
Cessna-172	1			1	1			1
НАПП-1	1				1			
Мі-2	1						1	
L-13	1				1			
CTLS (СТ-2К)	1							1
Ан-2		1	1	1	2			1
Ан-74		1	1	1		1	1	1
Cessna-182		1			1			
E-145			2	3	2		2	1
B-737				11			3	8
MD-83				7				7
A-319/320/321				5			2	3
E-190				4			1	3
Beechcraft B300				3				3
Ан-24				1				1
Ан-124				1				1
Мі-8				1				1
Saab-34В				1				1
Іл-76				1				1
Всього:	5	3	4	41	8	1	9	35

\*Події можуть мати декілька факторів

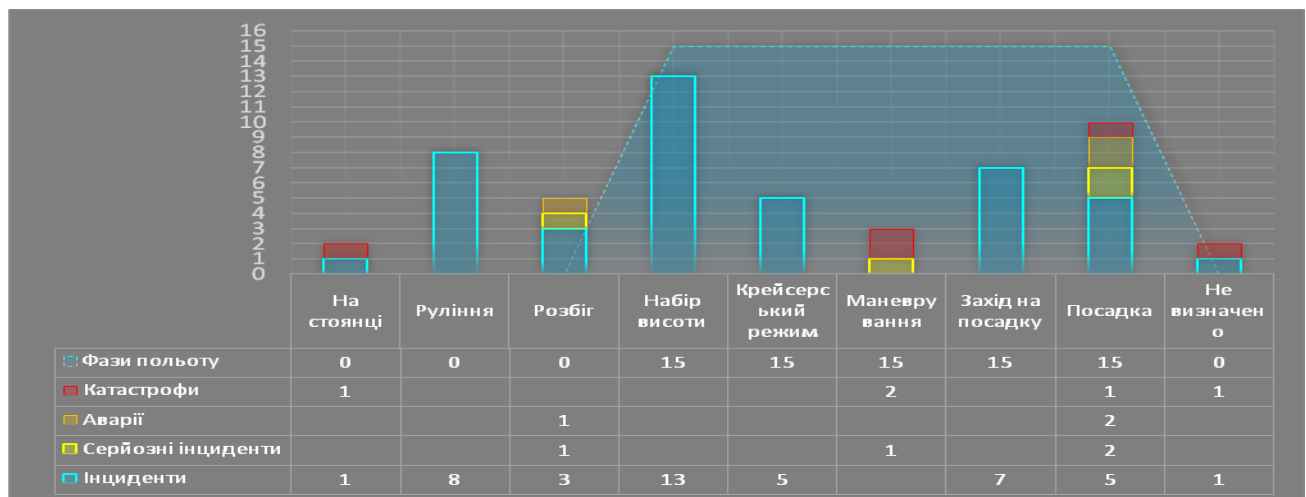


Рис.1.7. Розподіл АП та інцидентів за фазами польоту

Фактори, що призводили до авіаційних подій та інцидентів з цивільними ПС України наведено в таблицях нижче.

Таб.1.8. Людський фактор (екіпаж, диспетчер)

№	Дата події та ПС	Експлуатант ПС	Місце події і короткі обставини
1	07.02.17	Дніпроавіа	при виконанні рейсу АUI 079 за маршрутом Бориспіль - Івано-Франківськ, після посадки сталося

	Emb-145 UR-DNP		викочування літака за межі ЗПС на відстань близько 150 м. Внаслідок викочування літак отримав незначні пошкодження ступок основної опори шасі.
2	26.05.17 Cessna-172M UR-WTA	Приватна особа	від старшого авіаційного начальника ЗПМ «Чернігів» (Півці, м. Чернігів) надійшла інформація, що в районі ЗПМ сталася катастрофа літака
3	10.06.17 L-13 UR-RALE	ТСОУ	при виконанні тренувального польоту в районі ЗПМ «Воронів», сталася катастрофа планера L-13 UR-RALE поблизу с. Пустомити Рівненської області. Командир ПС та слухач загинули.
4	27.06.17 Ан-2 UR-19717	Харківський аероклуб ім. Гризодубової	при виконанні планових авіаційно-хімічних робіт в районі н.п. Ліски, Кілійського р-ну Одеської обл., на літаку Ан-2 UR-19717, під час виконання вимушеної посадки внаслідок падіння обертів та потужності двигуна (за словами КПС) сталася аварія, внаслідок якої другий пілот отримав незначні травми. КПС ушкоджень не отримав.
5	05.07.17 Ан-2 UR-17916; Ан-2 UR-62569	ТОВ «Простор Авіа»; приватна особа	екіпаж літака Ан-2 UR-17916, виконував планові авіаційно-хімічні роботи (АХР) з обробки полів ТОВ «Таврида плюс». Польоти виконувалися з тимчасового злітно-посадкового майданчика (ЗПМ) села Гаврилівка Друга (юридична адреса ТОВ «Таврида плюс») на четверте поле сільськогосподарського товариства, що розташоване поблизу села Бабенківка Друга. Під час підльоту до оброблюваної ділянки з курсом 300°, на висоті 60 метрів, екіпаж раптово побачив інший літак Ан-2, який здійснював авіаційні роботи із внесення мінеральних добрив на сусідньому полі. Невідомий літак виконував політ з курсом 90° на висоті до 30 метрів та наближався до літака Ан-2 UR-17916 на зустрічному треку зліва направо. Побачивши невідоме повітряне судно на відстані до 150 метрів, командир літака Ан-2 UR-17916 виконав відворот вправо з набором висоти. Інший літак, не змінюючи висоту польоту, відвернув вліво. В момент відвороту візуальний контакт екіпажу з невідомим повітряним судном був втрачений. Після розходження з повітряним судном-порушником, екіпаж літака Ан-2 UR-17916 здійснив кілька спроб зв'язатися з невідомим літаком на частоті органу польотно-інформаційного обслуговування (далі - ПІО), які виявилися неуспішними.
6	22.07.17 Cessna-182 UR-ORV	приватна особа	приватний літак типу Cessna-182P, державний та реєстраційний номер UR-ORV, під керуванням громадянина України з чотирма пасажирами на борту, при виконанні польоту в районі ЗПМ «Коломия» з МКпос=299°, здійснив вимушену посадку після відмови двигуна, приземлившись на підібраний з повітря майданчик (пасовище). У результаті вимушеної посадки та подальшого капотування, літак отримав значні руйнування вузлів кріплення передньої стійки шасі, нижньої

			частини моторного відсіку та конструкції ПС. Внаслідок аварії пілот та двоє пасажирів зазнали тілесних ушкоджень, інші двоє пасажирів не постраждали.
7	01.09.17 Emb-145 UR-DNF	Роза Вітрів	при виконанні рейсу АUI 087 за маршрутом Бориспіль-Запоріжжя, під час виконання посадки на аеродромі призначення на ЗПС 02, літак викотився на ґрунтову частину льотного поля. Внаслідок викочування ніхто не постраждав, літак пошкоджень не отримав.
8	11.09.17 НАРП-1 UR- WWA	Приватна особа	при виконанні авіаційно-хімічних робіт в районі села Охоче, Нововодолазького району, Харківської області, під час виконання аварійної посадки, літак було повністю зруйновано, а КПС отримав значні травми. Пілота було доставлено до лікарні, де він помер. Політ виконувався без заявок на ВПП. Реєстраційне посвідчення не діюче.

Таб.1.9. Людський фактор (ТО,інше)

№	Дата події та ПС	Експлуатант ПС	Місце події і короткі обставини
1	24.01.17 B-737-800 UR-PSI	«МАУ»	Після закінчення буксирування літака, для виконання рейсу PS 775, на центр перону D для запуску двигунів, водій буксиру TLD-200S E05698 AI ТОВ «Трансаерохендлінг» по команді керівника буксирування опустив передню опору шасі літака під кутом, та не вирівняв колеса по вісі повітряного судна. Внаслідок цього була погнута тяга управління лівою ступкою закриття ніші передньої опори шасі літака.
2	23.06.17 Ан- 74TK-200 UR-74026	Мотор Січ	при виконанні рейсу MSI 317 за маршрутом Запоріжжя-Мінськ, після виходу двигунів на злітний режим, та початку руху для виконання зльоту сталося падіння обертів правого двигуна. Екіпаж припинив зліт та зарулив на стоянку. Під час огляду ПС після події, комісія з розслідування з представниками ДП «Антонов» виявила руйнування тягового підкосу правого двигуна (креслярський №7204 6402 919 000 08 12 06), в результаті чого сталося руйнування передніх вузлів кріплення та поздовжній зсув двигуна з розривом тросів керування двигуном.
3	13.09.17 Mi-2 UR-VAM	ТОВ «Меридіан»	при виконанні авіаційно-хімічних робіт в районі села Скибенці, Погребищенського району, Вінницької області, власник ПС ДАП «Універсал-Авіа», перед зльотом під хвостовий гвинт вертольоту потрапила людина (агроном), внаслідок чого отримала ушкодження несумісні з життям.



Таб.1.10. Середовище, в тому числі орнітологія

№	Дата події та ПС	Експлуатант ПС	Місце події і короткі обставини
1	21.05.17 B-738 UR-PSF	МАУ	при виконанні рейсу АUI 788 за маршрутом Тель-Авів – Одеса, після посадки КПС доповів про спостереження двох зайців, які перебігали ЗПС в безпосередній близькості від повітряного судна, та можливе зіткнення з ними. Літак самостійно зарулив на стоянку. Під час огляду повітряного судна жодних пошкоджень планера та двигунів не виявлено. Під час огляду ЗПС виявлено мертвого зайця.
2	18.06.17 E-190 UR-EMC	МАУ	при виконанні рейсу АUI 935 за маршрутом Івано-Франківськ-Аліканте (Іспанія), під час набору висоти, на висоті 4000 футів екіпаж доповів про зіткнення з птахом та прийняв рішення про продовження польоту до пункту призначення. Після виконання посадки та візуального огляду літака, екіпажем було виявлено сліди від рештків птаха на фіюзеляжі. Пошкоджень ПС виявлено не було.
3	13.07.17 B-738 UR-PSM	МАУ	при виконанні рейсу АUI 7328 за маршрутом Анталія-Харків, після посадки, під час огляду ПС, були виявлені рештки птаха (кібець) у ВНА лівого двигуна. Пошкоджень не виявлено. При огляді ЗПС сторонніх предметів не виявлено.
4	14.07.17 Ан-74ТК UR-AWB	ДАП «Україна»	при виконанні рейсу UKN 7185 за маршрутом Тернопіль – Львів, після посадки та огляду ПС було виявлено рештки птаха в лівому двигуні без наявних пошкоджень двигуна. Проведено запуск двигуна з перевіркою параметрів на режимах роботи. Двигун допущено до подальшої експлуатації без обмежень.
5	31.07.17 A-320	Роза Вітрів	при виконанні рейсу WRC 3011 за маршрутом Дніпропетровськ-Анталія, КПС доповів про зіткнення зі зграєю птахів (ластівки) під час виконання злету. Відхилень в роботі двигунів і систем не було. КПС прийняв рішення продовжувати політ до аеродрому призначення. При огляді ЗПС останків птахів та сторонніх предметів не виявлено.
6	11.08.17 A320	AtlasJet	при виконанні рейсу UJX261 за маршрутом Стамбул-Запоріжжя, після посадки на рулінні КПС доповів про можливе зіткнення з птахом під час виконання посадки на ЗПС 21 та запросив огляд льотної смуги. О 15:26 КПС доповів, що при огляді ПС 3 пошкоджень двигунів та слідів птахів не виявлено. При огляді ЗПС останків птахів та сторонніх предметів не виявлено.
7	01.09.17 Emb-145 UR-DNR	Роза Вітрів	при виконанні рейсу АUI 339 за маршрутом Чернівці-Бергамо, після злету, на азимуті 130 та відстані 12км від точки LURIK, КПС запитав зробити огляд ЗПС за підозрою зіткнення з зайцем. Після огляду ЗПС, аеродромною службою було знайдено лисицю на відстані 3 метра від вісі ЗПС, та 600 метрів від порогу ЗПС 15.

8	09.09.17 Emb-145 UR-DNB	Роза Вітрів	при виконанні рейсу АUI 044 за маршрутом Чернівці-Бориспіль, після зльоту КПС запитав зробити огляд ЗПС за підозрою зіткнення з птахом. Після огляду ЗПС, аеродромною службою було знайдено птаха (кібчик) на відстані 1 метра від краю ЗПС.
---	-------------------------------	-------------	--

Таб.1.11. Події, фактори яких не визначені

№	Дата події та ПС	Експлуатант ПС	Місце події і короткі обставини
1	11.01.17 MD-83 UR- COC	Браво	при виконанні рейсу ВАУ 4111 за маршрутом Херсон-Хургада, після злету об 11:00 аеродромна служба виявила на відстані 600 м від торця ЗПС 03 рештки гуми та на відстані 900 м щиток ніші лівої опори шасі (сліди розірваної гуми, частини дефлектора опори шасі та зовнішня стулка шасі). Дефлектор – кріпиться на вісі кріплення коліс для недопущення потрапляння сторонніх предметів з поверхні землі. Зовнішня стулка шасі – кріпиться над колесом із зовнішньої сторони колеса, не несе навантаження та не являється життєво важливою частиною літака. Диспетчер УПР аеродрому Херсон надав відповідну інформацію в Одеський РДЦ для подальшого інформування екіпажу. Диспетчер Одеського РДЦ проінформував екіпаж, який відповів, що всі бортові системи працюють штатно, і прийняте рішення КПС про продовження польоту до аеродрому призначення. Наземними службами попередньо з'ясовано, що стався розрив зовнішнього колеса лівої основної опори шасі. Інформацію про дану технічну проблему було передано 13 органам ОНР аеродрому Хургада для інформування екіпажу. При підльоті до аеродрому Хургада диспетчер аеропорту повідомив екіпаж про технічну проблему з колесом та підвищену увагу на посадці. О 14:45 виконано благополучну посадку в аеропорту Хургада. Літак зарулив на стоянку штатно. Під час післяпольотного огляду з'ясовано, що механізм прибирання/випуску шасі не пошкоджений. На лівій опорі шасі тільки одне колесо було під тиском. Попередня версія – попадання стороннього предмету між дефлектором і колесом, що призвело до пошкодження дефлектора, що, в свою чергу, призвело до порізу колеса з поривом та відламуванням зовнішньої стулки шасі.
2	24.01.17 E-190 UR-EMB	МАУ	при виконанні рейсу АUI 081 за маршрутом Бориспіль - Івано-Франківськ, під час заходження ПС на посадку на аеродром Івано-Франківськ, черговий електрик доповів диспетчеру АДВ про неможливість ввімкнення вогнів підходу з магнітним курсом посадки 278° (команда на ввімкнення дана о 05:08). Після доведення

			інформації до екіпажу, КПС прийняв рішення про продовження заходження на посадку. О 05:22 UTC виконана благополучна посадка в аеропорту Івано-Франківськ на ЗПС 27.
3	31.01.17 AN-124-100 UR-82072	Антонов	при виконанні рейсу ADB 377F, без вантажу за маршрутом Київ (Антонов-2) - Лейпциг, літак повернувся на аеродром вильоту через неприбирання третього ряду основних опор шасі. Посадку було виконано благополучно на аеродромі Київ (Антонов-2).
4	19.02.17 MD-83 UR-BXM	Буковина	при виконанні рейсу на літаку MD-83 UR-BXM, після посадки на аеродромі Рашт (Іран), під час здійснення розвороту на 180° в кінці ЗПС, літак виїхав за межі ЗПС і зупинився на засніженій поверхні льотної смуги. Внаслідок загрузнення коліс передньої опори шасі, літак не зміг самостійно повернутися на ЗПС, яка тимчасово була закрита для прийому та випуску ПС.
5	22.02.17 Beechcraft B300 UR-CWA	Украерорух	При виконанні перегонного рейсу UTS156 з заводського аеродрому за маршрутом Брауншвейг-Київ, під час крейсерського режиму польоту, в момент досягнення висоти 15 000 футів, відбулася розгерметизація салону літака з автоматичним випадінням кисневих масок. КПС прийняв рішення про зниження до висоти 10000 футів та повернення на аеродром вильоту. Аварійна ситуація не декларувалася, о 14.34 літак виконав благополучну посадку на аеродромі вильоту.
6	26.02.17 B-738 UR-PSG	МАУ	при виконанні рейсу AUI 716 за маршрутом Стамбул-Бориспіль, КПС доповів про погіршення стану здоров'я у пасажира на борту літака та прийняв рішення про посадку на запасному аеродромі Одеса. КПС запросив медичну допомогу на час прибуття літака на аеродром. О 05:06 виконана благополучна посадка в аеропорту Одеса.
7	25.03.17 B-738 UR-PSR	МАУ	при виконанні рейсу AUI 133T за маршрутом Бориспіль-Львів, екіпаж виконав посадку при односторонньому радіозв'язку. За інформацією екіпажу всі команди диспетчера він прослуховував та виконував.
8	29.03.17 Cessna172 UR-LKP	КЛК НАУ	при виконанні перегонного рейсу за маршрутом Кіровоград-Черкаси, після злету з аеродрому Кіровоград КПС доповів про не прибирання шасі та прийняв рішення про повернення на аеродром вильоту. Посадку на аеродромі Кіровоград було виконано благополучно. Згідно пояснювальної записки пілота-інструктора, причиною не прибирання шасі стало перегорання запобіжника електроланцюга гідронасосу.
9	29.03.17	Украерорух	при виконанні обльоту в районі аеродрому Херсон,

	Beechcraft (SuperKingAir 350) UR-CWA		після злету не прибралися всі опори шасі. Після благополучної посадки в аеропорту Херсон, було прийняте рішення про переліт на базу для виконання технічного обслуговування на а/д Брауншвейг (Німеччина). Отримавши дозвіл на виконання перельоту з випущеними шасі, екіпаж благополучно здійснив посадку в а/п Брауншвейг. Під час технічного обслуговування було виявлено несправність насосу гідравлічної системи шасі. Після заміни насосу на новий, всі системи працювали в штатному режимі.
10	06.04.17 Mi-8 UR-CDK	Українські вертольоти	при виконанні рейсу UNO-835 з метою перевезення вантажу в інтересах місії ООН за маршрутом Кіншаса-Тембо (ДР Конго), під час виконання польоту на маршруті, спрацювала протипожежна система (розрядка вогнегасника) без ознак пожежі. Внаслідок спрацювання системи пожежогасіння, екіпаж вертольоту виконав вимушену посадку в 7 км на південь від н.п. Попобако на підібраний з повітря майданчик. Постраждалих осіб внаслідок вимушеної посадки не було. Після посадки, в рамках місії ООН на місце події було направлено вертоліт для евакуації пасажирів.
11	04.05.17 A-321 UR-WRJ	Роза Вітрів	при виконанні рейсу WRC 7057 за маршрутом Бориспіль – Шарм-Ель-Шейх (Єгипет), стався перерваний зліт на швидкості 120 вузлів з причини відсутності індикації про ступінь підвищення тиску в компресорі двигуна. Повітряне судно було повернено на стоянку. Після відповідної перевірки рейс літака було продовжено.
12	18.05.17 B-738 UR-PSB	МАУ	при виконанні пасажирського рейсу AUI 085N за маршрутом Бориспіль-Запоріжжя, після приземлення на відстані близько 600 м від порогу ЗПС 20, літак потрапив на ділянку зі свіжоукладеним бетоном, внаслідок чого було забруднено передню опору шасі, та заліз кореневої кромки крила великою кількістю бетонного розчину.
13	19.05.17 B-738	МАУ	при виконанні рейсу AUI 412 за маршрутом Дюссельдорф-Бориспіль, під час заходження на посадку КПС прийняв рішення про відхід на друге коло з причини зайнятості ЗПС іншим повітряним судном. О 15:54 UTC виконана благополучна посадка в аеропорту Бориспіль на ЗПС 36П.
14	19.05.17 MD-83	Браво	при виконанні рейсу BAY 4405 за маршрутом Бориспіль-Анталія, після злету та набору висоти 7000 футів КПС доповів про проблему з герметизацією літака та прийняв рішення про повернення на аеродром вильоту. О 22:28 виконана благополучна посадка в аеропорту Бориспіль на ЗПС 36П.
15	30.05.17	AndaAir	при виконанні рейсу SSV 2521 за маршрутом Київ

	MD-83 UR-CPB		(Жуляни)-Анталія, після злету КПС доповів про проблему з герметизацією літака та прийняте рішення про повернення на аеродром вильоту. О 06:50 виконана благополучна посадка на аеродромі Київ (Жуляни). Після заміни блоку в системі кондиціонування, літак з затримкою у 5 годин продовжив виконання рейсу.
16	27.07.17 A-320 UR-AJC	AtlasJet	при виконанні рейсу за маршрутом Стамбул – Ерджан (невизнана Турецька Республіка Північний Кіпр), через 10 хвилин після злету, під час набору висоти, на 5000 футах сталося входження літака в небезпечні метеоумови та жорстке зіткнення повітряного судна з градом. Внаслідок зіткнення було пошкоджено лобове скло та носовий кок. Екіпаж доповів про входження в грозову діяльність та прийняте рішення про повернення на аеродром вильоту. О 15:50 було виконано благополучну посадку в аеропорту Стамбула.
17	29.07.17 Ан-74ТК-100 UR-CKC	CavokAir	при виконанні рейсу за маршрутом Сан-Томе (Сан-Томе і Принсіпі) – Аккра (Гана), при виконанні злету, на розбігу, сталося зіткнення повітряного судна зі зграєю птахів, внаслідок чого відмовили обидва двигуни. Екіпаж припинив зліт, літак викотився за межі ЗПС та отримав суттєві пошкодження. Пожежі не було. Два члена екіпажу отримали тілесні ушкодження.
18	08.08.17 MD-83 UR-COC	Браво	при виконанні рейсу ВАУ 4423 за маршрутом Жуляни-Даламан, після злету, на висоті 1700 футів стався помпаж двигуна. За інформацією диспетчера АДВ «Жуляни», після прольоту літаком порогу ЗПС він почув кілька сильних хлопків та побачив спалахи вогню за правим двигуном літака. Літак здійснив посадку в а/п Бориспіль. Під час огляду ЗПС фахівцями аеродромної служби аеродрому Жуляни були виявлені елементи двигуна повітряного судна.
19	27.08.17 B-733 UR-CNF	ЯнЕйр	при виконанні рейсу ANR 211 за маршрутом Жуляни-Анкара, після злету та набору висоти екіпаж доповів про розтріскування скла кабіни пілотів, запросив зниження до 10000 футів та прийняте рішення про повернення на аеродром вильоту. О 06:18 UTC виконана благополучна посадка в аеропорту Жуляни.
20	13.09.17 Saab 34B UR-ALC	AerojetAirlines	при виконанні рейсу VJU 2101 за маршрутом Одеса-Кишинів, після зльоту із ЗПС 34 КПС доповів про повернення на аеродром вильоту через проблеми з гідравлічною системою. Аварійну ситуацію не декларував. Посадку було виконано о 10:28 благополучно.
21	17.09.17 Ан-2 UR-32747	власник ЗПМ «Гідропорт»	при виконанні польоту для парашутних стрибків на ЗПМ «Гідропорт», після виконання посадки на RW18 і вимкнення двигуна, на завершени пробігу сталося капотування ПС. Особовий склад не

			постраждав, пошкоджені літак не отримав.
22	21.09.17 MD-83 UR-CPB	AndaAir	при виконанні рейсу SSV 2771 за маршрутом Київ-Тирана, КПС перервав зліт, з причини спрацювання сигналізації в кабіні «Отсутствиегерметизации».
23	22.09.17 CTLS (CT-2K) UR-STAS	Приватна особа	при виконанні приватного рейсу за маршрутом Александруполіс (Греція) - Бухарест сталася катастрофа приватного літака. За інформацією пілота літака UR-FOX, який здійснював політ у парі з UR-STAS, отриманої о 14:50, після його приземлення в аеропорту Бухарест, через деякий час після злету зв'язок з літаком UR-STAS було втрачено, а літак в аеропорт Бухарест не прибув. О 16:45 від рятувальних служб Греції надійшла інформація про те, що літак знайдено зруйнованим приблизно в 30 км від Александруполіса.
24	25.09.17 Emb-190 UR-EMC	МАУ	при виконанні рейсу АUI 936 за маршрутом Аліканте – Івано-Франківськ, при виконанні посадки на аеродромі призначення по команді диспетчера було виконано відхід на друге коло з причини зайнятості ЗПС невстановленим транспортним засобом. Посадку було виконано благополучно о 03:06
25	25.09.17 Beechcraft 350 UR-CWA	Украерорух	при виконанні рейсу UTS 155 за маршрутом Жуляни-Львів, при візуальному заходженні на посадку на ЗПС13 на аеродромі Львів, на відстані 4км від порогу ЗПС, КПС запитав повторний захід через відсутність індикації випуску шасі (перегоріла лампа сигналізатора). Після перевірки КПС доповів про справну індикацію та підтвердив випуск шасі. Посадку було виконано благополучно о 10:28 на ЗПС 13.
26	18.10.17 B-733	МАУ	при виконанні рейсу АUI 6RL за маршрутом Мюнхен-Бориспіль, під час заходження на посадку на аеродромі призначення стався відхід на друге коло з причини зайнятості ЗПС літаком B-744 рейсу AZG223 авіакомпанії «Шовковий Шлях», який перетнув лінію попереднього старту. Посадку виконано благополучно о 17:41.
27	31.10.17 B-738 UR-PSV	МАУ	під час вирулювання літака зі стоянки MC 23 перону «М» для виконання рейсу АUI025 за маршрутом Бориспіль – Харків, літак зіткнувся правою консоллю крила з автомобілем автоліфт ТОВ «SkyFoodServices», що стояв поза зоною обслуговування повітряного судна. В результаті зіткнення повітряне судно отримало пошкодження восьмої секції передкрилка правої консолі крила.
28	06.11.17 Іл-76ТД UR-BXQ	МаксимусЕйрлайнс	при виконанні рейсу без вантажу за маршрутом Абу-Дабі – Аль-Айн (ОАЕ) на літаку Іл-76ТД UR-BXQ авіакомпанії «МаксимусЕйрлайнс», екіпаж звернув увагу на ускладнене переміщення РУД СУ№ 1. Політ та посадку виконано без зауважень. При зарулюванні на стоянку екіпаж не зміг штатно

			вимкнути СУ№ 1 з причини неможливості фізичного переміщення РУД. Двигун було вимкнено за допомогою пожежного крану. При огляді ПС виявлено відсутність лівої задньої стулки капоту СУ№ 1 та пошкодження правого заднього капоту. Також виявлено сліди крові птаха на закрилку в районі другого обтічника.
29	15.11.17 E-145 UR-DPB	Роза Вітрів	при виконанні рейсу AUI 079 за маршрутом Бориспіль - Івано-Франківськ, під час заходження на посадку з відстані 5 км, екіпаж прийняв рішення вийти на друге коло з причини нестабільної роботи системи ILS. Після виконання процедури повторного заходження, о 12:14 виконана благополучна посадка в аеропорту Івано-Франківськ на ЗПС 10.
30	24.11.17 A-319 UR-ABA	ДАП «Україна»	при виконанні літерного рейсу UKN 1106 за маршрутом Брюссель-Бориспіль на літаку, після злету сталася відмова системи прибирання шасі (L/G SHOCK ABSORBER FAULT). Через хвилину працездатність системи відновилася.
31	10.12.17 E-190	МАУ	при виконанні рейсу AUI 185 за маршрутом Бориспіль-Рига, з причини збою у роботі комп'ютера, КПС прийняв рішення про повернення ПС з виконавчого старту на місце стоянки. Для виконання рейсу відбулася заміна борту на ПС B-738 UR-PSS. Несправності в роботі комп'ютера літака E-190 були усунені.
32	13.12.17 An-24PB UR-BXC	Мотор Січ	при виконанні рейсу за маршрутом Жуляни-Запоріжжя, після виходу двигунів на злітний режим та початку руху екіпаж звернув увагу на різницю показників комбінованого показчика швидкості (КПШ 730/1100) командира та другого пілота. Різниця швидкості в показаннях приборів складала 50 км/год. На швидкості 110 км/год КПС прийняв рішення про припинення злету та в штатному режимі повернувся на місце стоянки аеропорту Жуляни.
33	22.12.17 B-738	МАУ	при виконанні рейсу AUI 374 за маршрутом Дубай-Бориспіль, стався вимушений відхід на друге коло у зв'язку із зайнятістю ЗПС (викочування за межі РД А5 літака B-737 EW-336PA, авіакомпанії «БелАвіа»).
34	28.12.17 MD-83 UR- COC	Браво	при виконанні рейсу BAY 1208 за маршрутом Кіттіля (Фінляндія) - Харків, при заходженні на посадку на ЗПС 07, на висоті 2000 футів екіпаж доповів про відхід на друге коло з відстані 4,9 милі від KHR VOR з причини відсутності індикації випуску правої опори шасі. Після виконання повторного заходу і доповіді екіпажу про наявність індикації випуску всіх опор шасі, о 13:39 виконана благополучна посадка в аеропорту Харків на ЗПС 07.

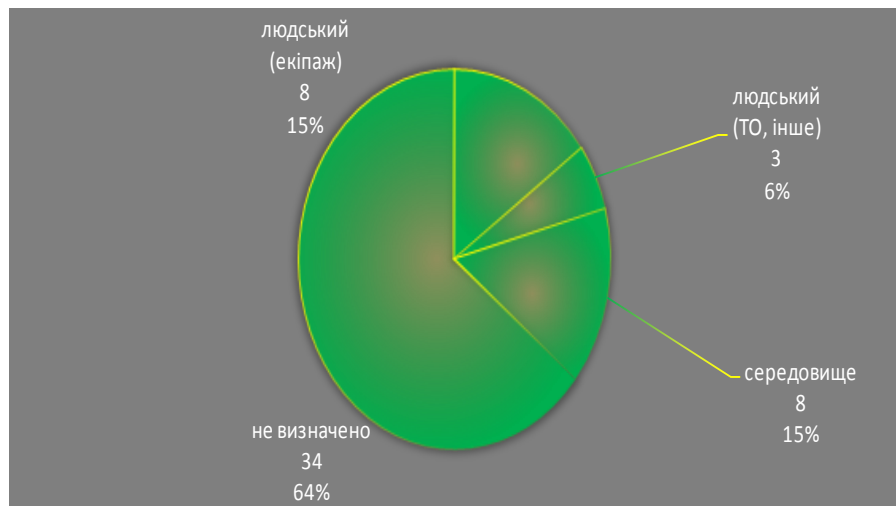


Рис. 1.8. Розподіл АП та інцидентів з цивільними ПС України по факторах.

У 2017 році з цивільними ПС, що мають Державну реєстрацію (у т.ч. іноземними) АП та інциденти, що трапились на території України, розподілились наступним чином (за спаданням).

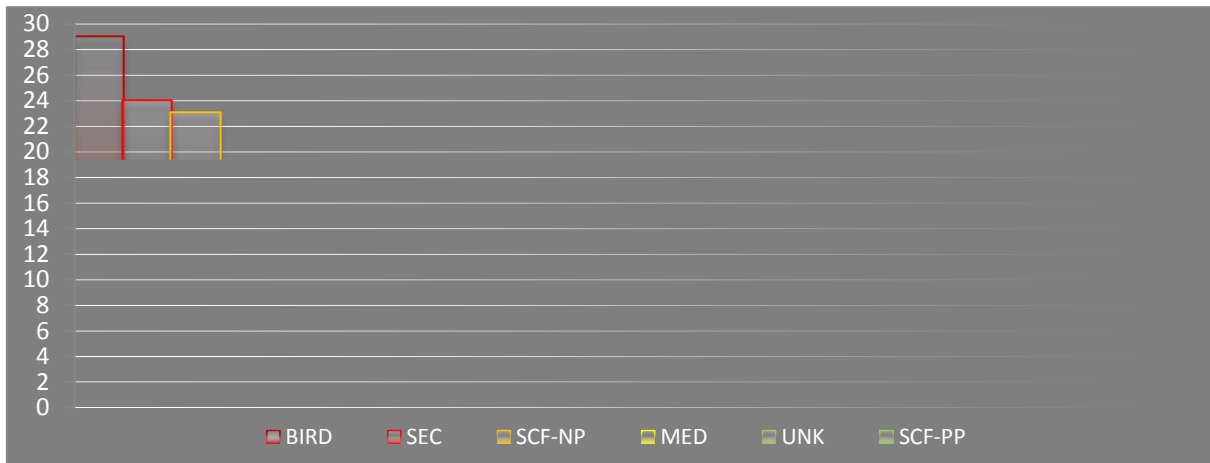


Рис. 1.9. Розподіл АП та інцидентів за категоріями

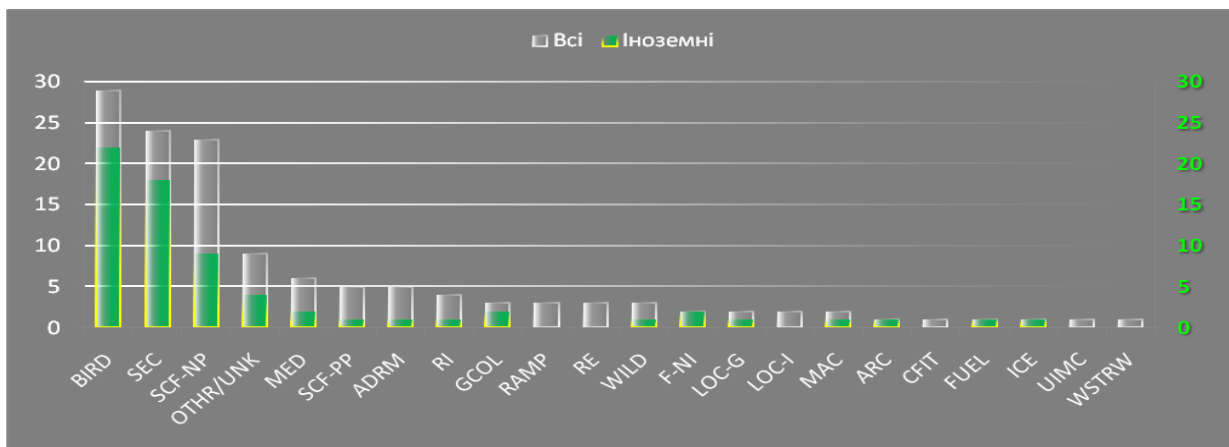


Рис. 1.10. Розподіл АП та інцидентів за категоріями з іноземними ПС на території України



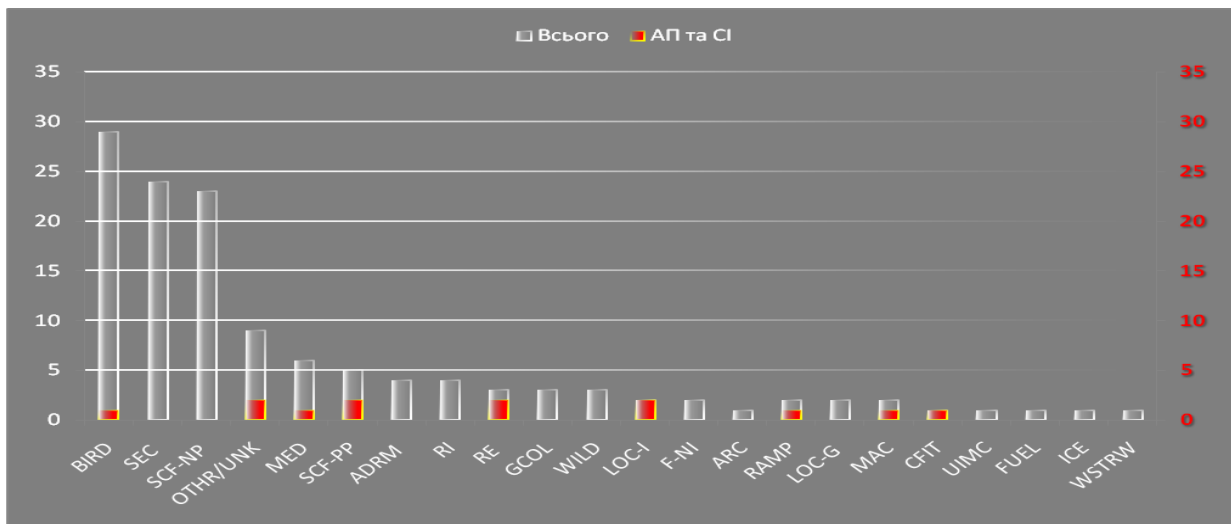


Рис. 1.10. Розподіл АП та серйозних інцидентів з ПС Української реєстрації за категоріями (червоний)

Пошкодження повітряних суден на землі. У 2017 році до Національного бюро надійшло 1 повідомлення про пошкодження іноземного ПС.

**26.04.2017** о 12:18 при виконанні наземного обслуговування в аеропорту Жуляни літака В-737-300 EW-254РА (Білорусь), авіакомпанії «Belavia», було пошкоджено лакофарбове покриття гондoli правого двигуна ПС (подряпина довжиною 10 см).

Згідно з п. 4.5.6. «Правил розслідування надзвичайних подій та пошкоджень ПС на землі», розслідування пошкодження Національним бюро не проводилося.

Події, що сталися з цивільними пс іноземної реєстрації на території України. У 2017 році на території України сталося 23 події з цивільними ПС іноземної реєстрації, у тому числі 1 аварія з ПС авіації загального призначення. Інформація про події, що сталися у січні - грудні публікувалася в щомісячних інформаційних бюлетенях за 2017 рік. Нижче наведено загальні дані щодо подій з іноземними ПС, що сталися на території України.

Таб. 1.12. Загальні дані щодо подій з іноземними ПС на території України

Аеродром	Жуляни	Бориспіль	Одеса	Львів	Харків	ПП України	Запоріжжя	Дніпро	Вінниця	Всього
Країна реєстрації										
Туреччина		1	2		3	1	2			9
Угорщина	5			1	1					7
Білорусь	2	2	1							5
Польща	1			1	3					5
ОАЕ	2	1	1							4
Австрія	1	1	1					1		4
Німеччина		2		2						4
Нідерланди		3								3
Сан Маріно	1	1								2
Естонія			2							2

Чехія			1			1				2
Словаччина			1	1						2
Греція		2								2
Іспанія	1									1
Ірландія	1									1
Італія	1									1
Єгипет	1									1
Сербія	1									1
Невідомо	1									1
Ізраїль		1								1
Мальта				1						1
Великобританія		1								1
США								1		1
Словенія				1						1
Латвія		1								1
Румунія				1						1
Всього	18	16	9	8	7	2	2	1	1	64

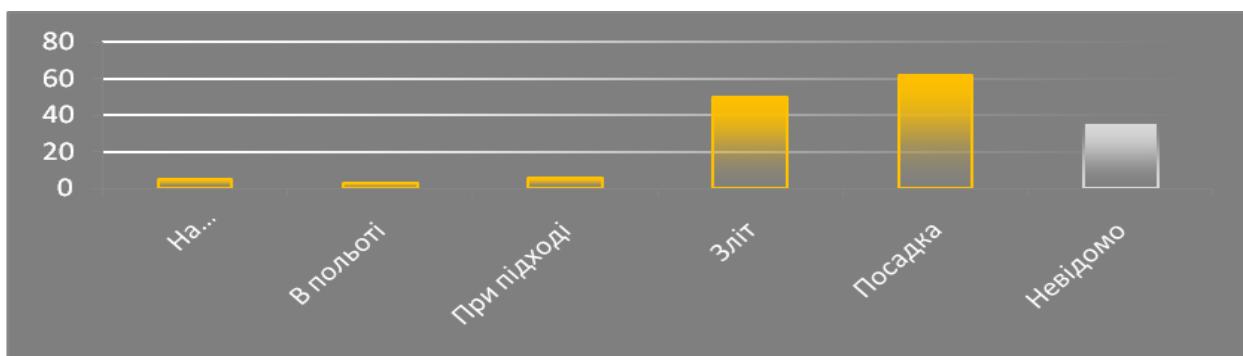
*Орнітологія та орнітологічне забезпечення БП.* Забезпечення захисту території аеродрому від птахів є одним з найбільш важливих завдань для забезпечення БП, оскільки значна частина інцидентів виникає внаслідок впливу орнітології. Відповідно до статистики, накопиченої з 2013 по 2017 рік, вплив орнітологічної обстановки на БП в Україні має сезонний характер, та посилюється в літній період під час міграції великої кількості птахів на територію України.

Таб. 1.13. Зіткнення з птахами, кількість подій. За аеропортами (2013-2017рр.) з накопиченням

Аеропорт	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Всього
Львів	2	2		1	3	3	8	2	1		1	2	25
Бориспіль	1		1	2	3	1	5	3	3	2	1	1	23
Жуляни	1				7	4	7	2	1		1		23
Донецьк					1	2	5	2	8			1	19
Одеса		1	1	1	2	6	3	2	1	2			19
Харків	1					3	3	2	1	1			11
Дніпро							2	2	2	1			7
Запоріжжя								1		2			3
Бергамо									2				2
Сімферополь						1	1						2
Івано-Франківськ						1							1
Херсон										1			1
Чернівці									1				1
Абіджан										1			1
Араксос				1									1
Кутаїсі							1						1

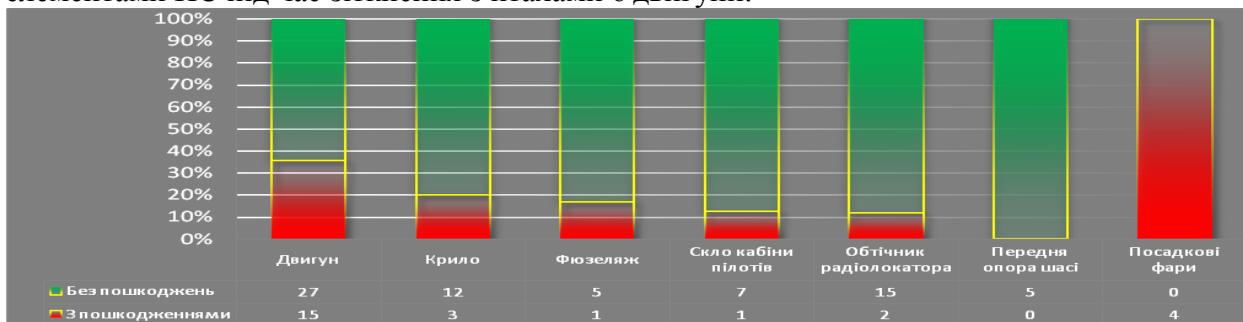
Кривий Ріг							1						1
Малакал			1										1
Дортмунд				1									1
Бургас								1					1
Лахор										1			1
Катовіце											1		1
Сао Томе і Прінсіпі							1						1
Варшава								1					1
Стамбул				1									1
Ель-Айн											1		1
Шарджа										1			1
<b>Всього</b>	5	3	2	6	18	21	37	18	20	12	5	4	151

Найбільш небезпечними етапами польоту є зліт та посадка ПС, оскільки літаки знаходяться на висотах, доступних для польотів птахів, а також безпосередня близькість птахів до населених пунктів, що дає їм можливість більш легкого доступу до їжі.



1.11. Зіткнення з птахами, загальна кількість отриманих повідомлень (2013р.-2017р. За етапами польоту)

Згідно з отриманою статистикою, найбільш схильними до пошкоджень, елементами ПС під час зіткнення з птахами є двигуни.



	Двигун	Крило	Фюзеляж	Скло кабіни пілотів	Обтічник радіолокатора	Передня опора шасі	Посадкові фари	Припинення зльоту	Несучий гвинт вертольоту
Без пошкоджень	27	12	5	7	15	5	0	3	1
З пошкодженнями	15	3	1	1	2	0	4		
<b>Всього</b>	42	15	6	8	17	5	4		
<b>%, пошкоджень</b>	36	20	17	13	12	0	100		

Рис. 1.12 Зіткнення з птахами, характер пошкоджень ПС та влучення у частини ПС (ПС України та Іноземні ПС). 2014-2017р.

*Орнітологічне забезпечення аеропортів (2013 – 2017р.).* Для розрахунку аналізу стану орнітологічного забезпечення по найбільш завантажених аеропортах України, використовувались дані по пасажиропотоку та кількість отриманих повідомлень Національним бюро про зіткнення з птахами у відповідних аеропортах. Розрахунок виконувався виходячи з кількості зіткнень з птахами на 1 мільйон пасажирських перевезень.

За результатами аналізу, найбільш залежними від орнітологічного впливу виявилися аеропорти Харків та Дніпропетровськ (з урахуванням попередніх років).

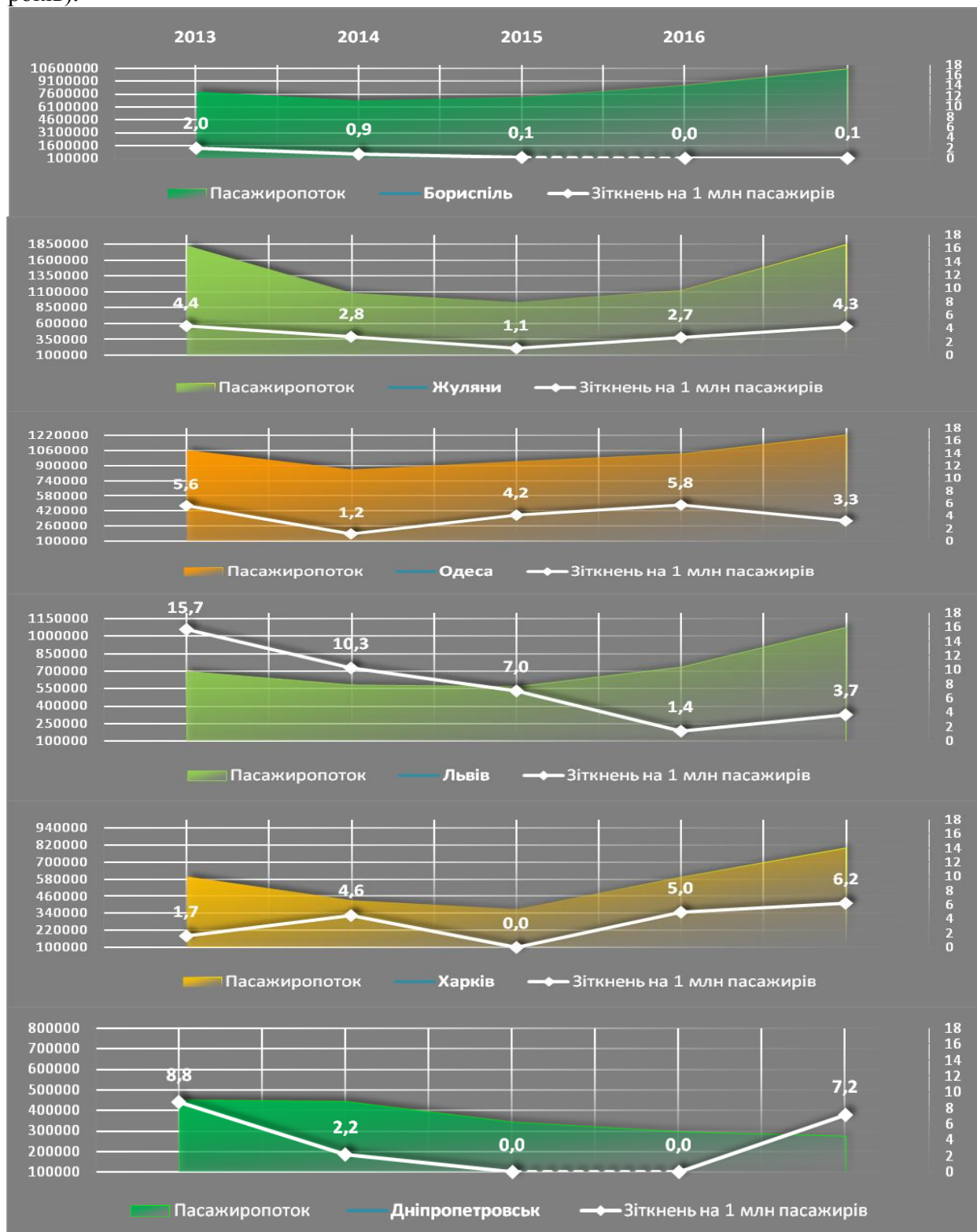


Рис. 1.13. Кількість зіткнень ПС з птахами по аеропортах на 1 млн. пасажирів

Засліплення екіпажів лазерними променями в аеропортах України. Відповідно до Doc 9815 ІКАО, лазер це:

1) абрєвіатура слів англійської фрази: «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation», що означає «посилення світла в результаті спонукуваного випромінювання»;

2) пристрій, що виробляє інтенсивний, когерентний, спрямований потік оптичного випромінювання в результаті спонукуваної емісії фотонів внаслідок електронних або молекулярних переходів на більш низькі енергетичні рівні.

Створення лазера і промислове використання лазерної техніки є одним з найбільш значних наукових досягнень 20-го століття. В останній час лазери використовуються практично скрізь, від супермаркетів і шкіл до супутників і робочих приміщень. Вони стали абсолютно необхідним елементом споживчих товарів і комплексних промислових приладів, включаючи складні системи озброєння. Доступність технології та собівартості призвели до того, що сьогодні, практично кожен може отримати лазер в своє розпорядження. Але, при неправильному використанні лазерна енергія може представляти серйозну біологічну небезпеку. Навіть звичайна лазерна указка, за певних умов, може стати загрозою для безпеки польотів.

Відповідно до статті 69 Повітряного кодексу України, на приаеродромній території запроваджується особливий порядок здійснення діяльності, яка може вплинути на безпеку авіації, до якої належать роботи, пов'язані з використанням лазерних пристроїв, що можуть випромінювати у повітряний простір.

Починаючи з 2013 року, Національним бюро було отримано 79 повідомлень про засліплення екіпажів ПС лазерними променями. У 2017 році до Національного бюро надійшла інформація про 30 таких випадків. Найбільша кількість випадків засліплення виникає в районах великих міст, поблизу крупних аеропортів України, серед них (у 2017 році): Київ (Жуляни) (9) Бориспіль (7), Одеса (4), Дніпро (3), Вінниця (3). На діаграмі нижче вказана кількість випадків засліплення лазерними променями по аеропортах за 2013 –2017 року з накопиченням.



\*Дані до 2014 року

Рис. 1.14. Кількість випадків засліплення лазерними променями по аеропортах України за 2013-2017 роки

У порівнянні з попереднім роком, кількість випадків засліплення пілотів лазерними променями на території України збільшилась у 4 рази. Як і прогнозувалось у аналізі стану БП в Україні за 1 півріччя 2017 року, кількість таких випадків становила більше декількох десятків. Збільшення кількості випадків засліплення лазерних променів є загальносвітовою тенденцією, пов'язаною з ростом популярності та легкодоступності у продажу потужних лазерних указок.

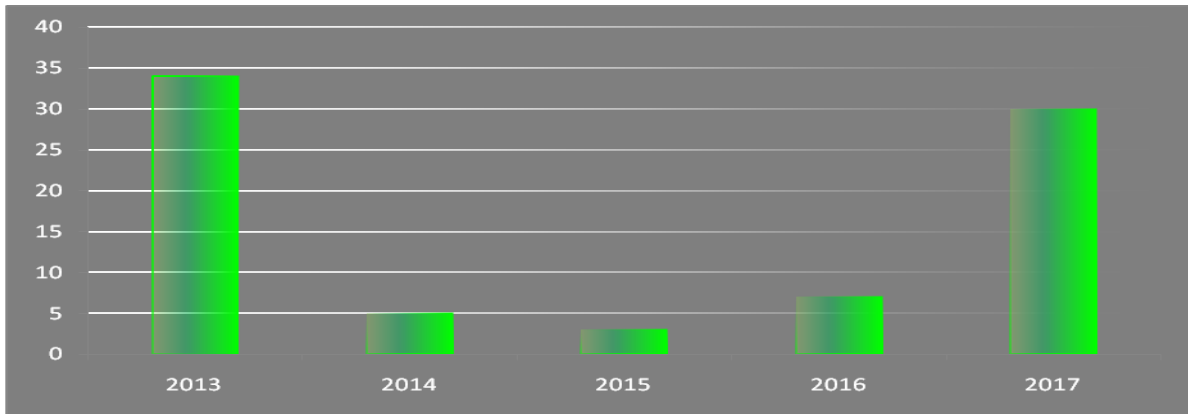


Рис. 1.15. Кількість випадків засліплення лазерними променями за роками (2013 - 2017)

Найбільш небезпечними етапами польоту, під час яких екіпажі отримують засліплення, є етапи зльоту та заходження на посадку, під час яких літаки перебувають у відносній близькості до аеродрому та поверхні землі, щоробить повітряні судна менш захищеними від влучення лазерним променем по лобовому склу кабіни пілотів, а мала дистанція до ПС дозволяє променю зберігати інтенсивність випромінювання через занадто незначний атмосферний вплив.

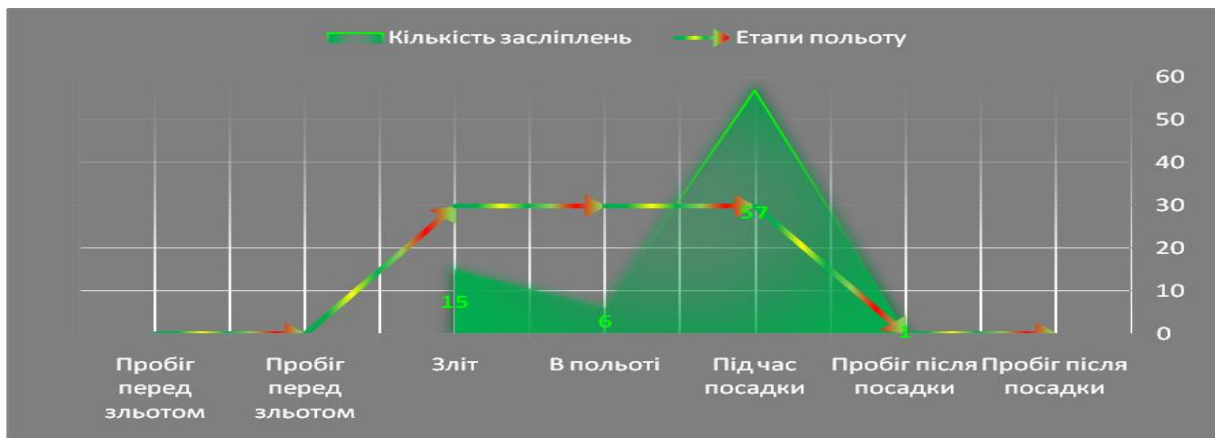


Рис. 1.16. Засліплення лазерними променями за етапами польоту в аеропортах України (2013-2017 роки), накопичення

Порушення порядку використання повітряного простору. У 2017 році до НБРЦА надійшла інформація про факти 738 (на 15 менше показника за 2016 рік) порушень порядку використання повітряного простору України, включаючи порушення, вчинені БППС та ПС РФ. Розподіл порушень за місяцями вказаний на графіку.

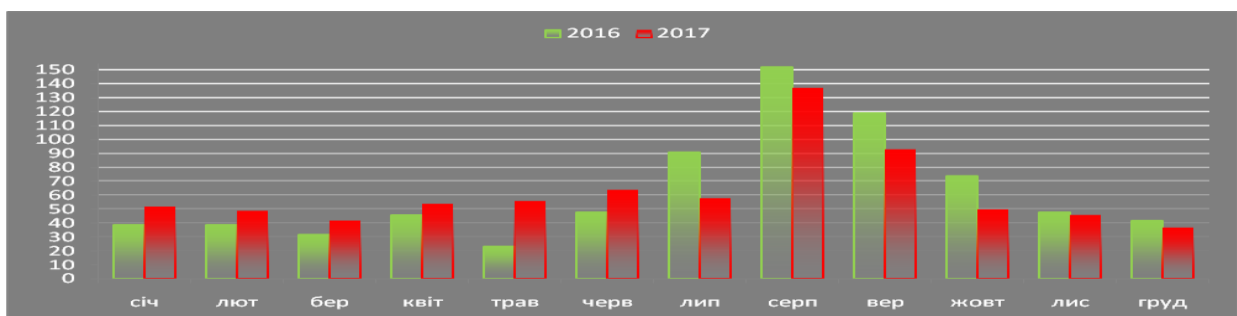


Рис. 1.17. Розподіл порушень за місяцями



Рис. 1.18. Розподіл кількості порушень порядку використання повітряного простору за кількістю перетинів державного кордону

Таб. 1.14. Порушення порядку використання повітряного простору, розслідувані НБРЦА у 2017 році

Дата, Тип ПС	Обставини	Причина порушення
06.06.2017 Мотопараплан	Мотопараплан виконував політ на висоті 300 метрів поблизу м. Лозова Харківської обл. без інформування відповідних органів Управління ПС ЗСУ та ОЦВС.	Свідоме недотримання пілотом законодавства і авіаційних правил
09.04.2017 Літак аматорської конструкції	Літак без реєстраційних документів виконував політ над сільськогосподарськими угіддями на околиці м. Бережани.	Свідоме недотримання пілотом законодавства і авіаційних правил
27.02.2017 Ан-2 UR-62569	Здійснення польоту в зоні з особливим режимом використання повітряного простору без дозволу Адміністрації Держприкордонслужби, органів ПС ЗСУ та ОЦВС.	Свідоме недотримання екіпажем законодавства і авіаційних правил
17-18.03.2017 WT-10 UR-POMA	Здійснення польотів без надання заявок на використання повітряного простору	Свідоме недотримання екіпажем законодавства і авіаційних правил
26.09.2017 AS-350 P4-LNZ	Здійснення польоту без запиту умов на використання повітряного простору та без подачі заявки на політ у межах тимчасово зарезервованого повітряного простору, де управління повітряним рухом здійснюється ПС ЗСУ	Помилкове відхилення користувача повітряного простору від вимог Положення про використання повітряного простору
12.10.2017 Автожир	Здійснення польоту поблизу н.п. Озерне Житомирської обл. без інформування відповідних органів Управління ПС ЗСУ та ОЦВС.	Свідоме недотримання екіпажем законодавства і авіаційних правил
08.09.2017	Здійснення польоту без	Не встановлено

Ан-2 не встановлено	інформування відповідних органів Управління ПС ЗСУ та ОЦВС.	
08.09.2017 Мотодельтаплан UR-ALUR	Здійснення польоту без інформування відповідних органів Управління ПС ЗСУ та ОЦВС.	Свідоме недотримання законодавства і авіаційних правил
31.05.2017 Ан-2 UR-68074	Здійснення авіаційно-хімічних робіт без інформування відповідних органів Управління ПС ЗСУ та ОЦВС.	Свідоме недотримання пілотом законодавства і авіаційних правил
28.06.2017 Mi-2 UR-23263	Виконання польоту у зоні з особливим режимом використання повітряного простору без інформування органу охорони державного кордону	Недотримання командиром вертольоту вимог Положення про використання повітряного простору України в частині інформування підрозділів Держприкордонслужби про виконання посадки поза мажами аеродрому (ЗПМ) у місці, що розташоване у зоні з особливим режимом використання повітряного простору
05.09.2017 НАРП-1 UR-XAC	Несанкціонований політ над військовою частиною	Недотримання пілотом вимог чинного законодавства, що регулює порядок виконання польотів та використання повітряного простору України
07.09.2017 БППС DJI Phantom-4	Здійснення польоту без інформування відповідних органів Управління ПС ЗСУ та ОЦВС, перетин державного кордону.	Помилка користувача повітряного простору, який вважав, що отримувати дозвіл на використання повітряного простору потрібно лише у разі проведення аерофотозйомки
20.07.2017 R-66 UR-TOY	Здійснення польоту без інформування відповідних органів Управління ПС ЗСУ та ОЦВС.	Недостатній рівень попередньої та передпольотної підготовки екіпажу, що призвело до невиконання вимог НОТАМ про тимчасову заборону виконання польотів
13.09.2017 Ан-2 UR-31468	Політ без інформування органу Держприкордонслужби поза межами контрольованого повітряного простору у межах зони з особливим режимом.	Свідоме недотримання пілотом законодавства і авіаційних правил



Під час виконання комерційних польотів на літаках з масою більше ніж 5700 кг, в середньому відбувалося 1,93 авіаційних подій на 1 мільйон польотів. За останні 10 років кількість авіаційних подій, що виникають у світі скоротилася більше ніж у двічі, а кількість загиблих зменшилась більше ніж у десять разів, що не може не викликати задоволення у людей, які користуються послугами авіаційного транспорту.

Враховуючи високу катастрофічність авіаційних подій, що можуть призводити до величезних матеріальних збитків та втрати людських життів, навіть одна подія – це дуже багато. Тому необхідно докладати максимальних зусиль для збереження цього вражаючого показника.

Відносні показники стану безпеки польотів цивільних повітряних суден, що внесені в Державний реєстр цивільних ПС України ( $K_A$  - коефіцієнти аварійності) у 2017 році у порівнянні з 2016 роком, склали:

*при виконанні регулярних комерційних, нерегулярних комерційних та некомерційних польотів:*

коефіцієнти аварійності  $K_T = N \times 100\ 000 / T$

де,  $N$  – кількість авіаційних подій;

$T$  – наліт годин за аналізований період;

100000 – критерій порівняння, 100 000 годин нальоту.

Катастрофи:

$$K_{AK\ 2017} = 0 \times 100\ 000 / 268396 = 0$$

$$K_{AK\ 2016} = 0 \times 100\ 000 / 234854 = 0$$

Аварії:

$$K_{AA\ 2017} = 1 \times 100\ 000 / 268396 = 0,37 \uparrow$$

$$K_{AA\ 2016} = 0 \times 100\ 000 / 234854 = 0$$

Серйозні інциденти:

$$K_{ACI\ 2017} = 3 \times 100\ 000 / 268396 = 1,11 \downarrow$$

$$K_{ACI\ 2016} = 4 \times 100\ 000 / 234854 = 1,7$$

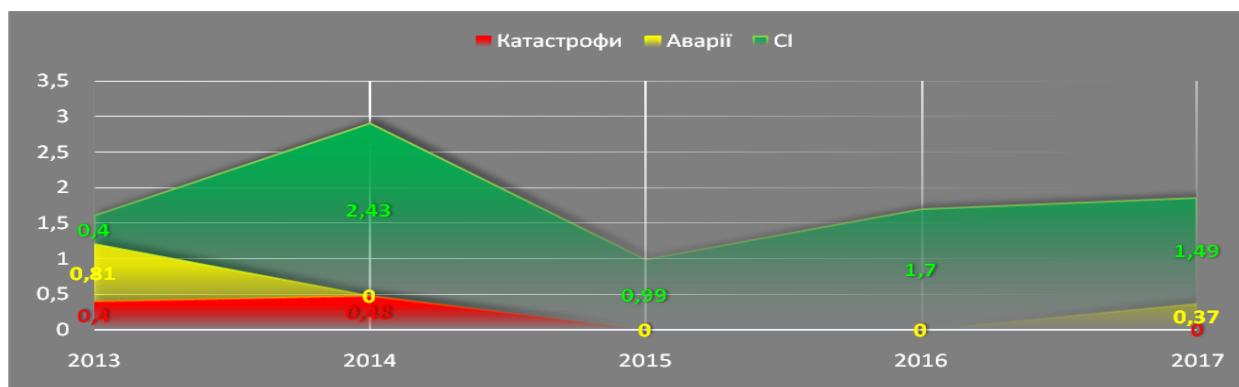


Рис. 1.19. Коефіцієнти аварійності за роками (2013-2017р.) (при виконанні регулярних комерційних, нерегулярних комерційних та некомерційних польотів)

*При виконанні авіаційних робіт та учбово-тренувальних польотів:*

коефіцієнти аварійності:  $K_T = N \times 10\ 000 / T$

де,  $N$  – кількість авіаційних подій;

$T$  – наліт годин за аналізований період;

10 000 – критерій порівняння, 10 000 годин

Катастрофи:  $K_{AK\ 2017} = 2 \times 10\ 000 / 19930 = 1 \uparrow$   $K_{AK\ 2016} = 0 \times 10\ 000 / 28190 = 0$

Аварії:  $K_{AA\ 2017} = 1 \times 10\ 000 / 19930 = 0,5 \downarrow$   $K_{AA\ 2016} = 4 \times 10\ 000 / 28190 = 1,41$

Серйозні інциденти:  $K_{ACI\ 2017} = 1 \times 10\ 000 / 19930 = 0,5 \uparrow$   $K_{ACI\ 2016} = 0 \times 10\ 000 / 28190 = 0$

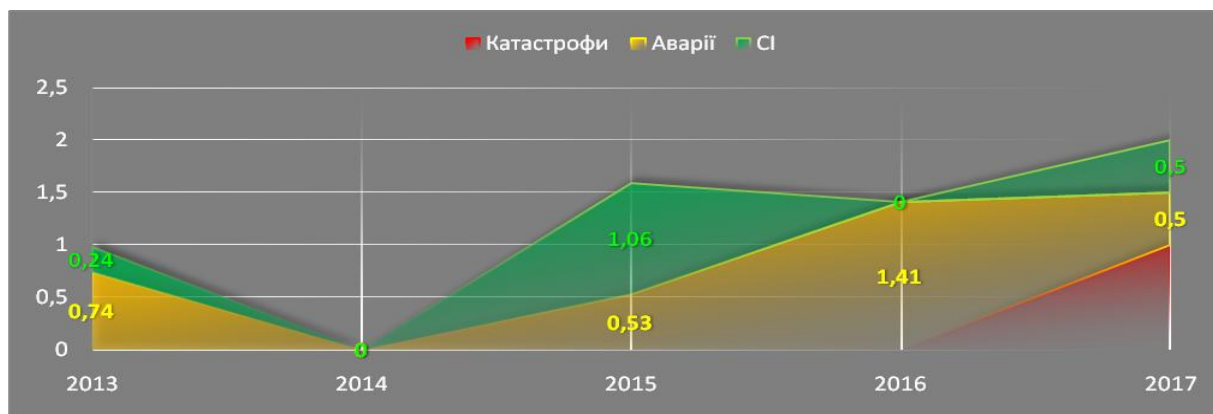


Рис. 1.20. Коефіцієнти аварійності за роками (2013 - 2017р.)  
(При виконанні авіаційних робіт та учбово-тренувальних польотів)

За даними, що надійшли від експлуатантів, у 2017 році, сталося 2 катастрофи при виконанні авіаційних робіт та учбово-тренувальних польотів та 1 аварія. При виконанні транспортних перевезень сталася 1 аварія. Обсяг нальоту годин при виконанні авіаційних робіт та учбово-тренувальних польотів у порівнянні з 2016 роком зменшився на 8260 годин (29%).

Збільшення кількості катастроф до 2 (у 2016 році катастроф не було) та зменшення обсягів робіт призвело до підвищення коефіцієнту аварійності у порівнянні з 2016 роком до 1 (1 катастрофа на 10000 льотних годин). З іншого боку, зменшення кількості аварій на 3 призвело зменшення коефіцієнту аварійності за даним класом подій до 0,5, у 2016 році був 1,41.

У порівнянні з 2016 роком, також погіршився коефіцієнт аварійності при виконанні транспортних перевезень (збільшився з 0 до 0,37), внаслідок аварії з ПС Ан-74 у республіці Сан-Томе і Принсіпі.

Внаслідок зменшення кількості серйозних інцидентів (на 1) та збільшення годин нальоту, коефіцієнт аварійності по СІ зменшився на 0,59 (до 1,11).

У 2017 році основним фактором, що призводив до виникнення авіаційних подій та інцидентів став людський фактор - 21%. Другим найбільш поширеним фактором став фактор середовища (в тому числі орнітологія) 15%. Також 64% подій мають не визначений фактор тому, що розслідування деяких подій тривають, а інформація про розслідування інцидентів експлуатантами до НБРЦА не надходила.

Враховуючи всі отримані дані, при експлуатації ПС сертифікованих компаній та навчальних закладів, загальний коефіцієнт аварійності по подіях високого рівня (К, А, СІ) на незначну кількість (0,22) покращився (зменшився) у порівнянні з 2016 роком, та складає 2,77 події на 100000 льотних годин.

\*\*\* Примітка. Підрозділ 1.1. «Аналіз стану безпеки польотів» здійснено згідно з офіційно оприлюдненими матеріалами Національного бюро з розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними суднами в Україні. [www.nbaai.gov.ua](http://www.nbaai.gov.ua)

## 1.2. Концепція функціонування муніципальної авіації в межах мегаполісу

Бажання застосувати повітряний транспорт для переміщень в межах міської межі з'явилося не вчора, і невірно думати, що ця проблема стала актуальною в міру збільшення обсягу наземного транспорту або розвитку авіаційних технологій. Потреби в гнучкому та оперативному переміщенні по повітрю в межах міста народжувала проекти підвісних доріг, монорельсового транспорту, канатних доріг, метро - в кінцевому рахунку, транспортних систем, винесених за межі наземного потоку. Очевидність проблеми вивела в альтернативу концепцію багаторівневого наземного транспорту. Але, так чи інакше, проблема гнучкості у переміщенні за бажаним маршрутом не вирішена, а питання мінімальних витрат часу при такому пересуванні взагалі залишається відкритим. Цей факт змушує шукати можливості реалізації більш гнучкого - авіаційного міського транспорту, і багато в чому важливо не тільки для муніципальних служб, але, особливо, приватного авіаційного міського транспорту.

Досвід розвитку найбільших міст-мегаполісів світу свідчить про широке використання авіації та авіаційних технологій в інтересах муніципальних служб та забезпечення життєдіяльності міста [3].

У США та Західній Європі існують розвинуті повітряно-транспортні системи, які включають десятки власників-експлуатантів, великі вертодроми і дрібні вертолітні майданчики, серед яких значну частину складають приватні. Ці системи розвиваються відповідно до планів міст і регіонів. При загальній тенденції до обмеження діяльності великих аеропортів, що знаходяться всередині мегаполісів, і виведення їх за межі міста, активно розвивається інфраструктура вертодромів і вертолітних майданчиків.

Вертолітний транспорт - важлива галузь міського господарства цих країн. Використання вертольотів значно підвищує ефективність роботи міських служб і транспортних комунікацій. Сфери застосування вертольотів у великих містах і густонаселених регіонах досить різноманітні і умовно поділяються на два основних напрямки: в інтересах міських і муніципальних служб і в комерційних цілях. При цьому значний відсоток від загального обсягу комерційних перевезень становлять корпоративні та туристичні польоти.

Основними перевагами застосування вертольотів в умовах великого міста є:

- швидкість переміщення, що дозволяє істотно заощаджувати час, який є найважливішим фактором при проведенні рятувальних, медико-евакуаційних, протипожежних робіт, здійснення ділових поїздок;
- здатність однаково успішно здійснювати посадки як на аеродроми і на спеціально призначені для цього невеликі майданчики, так і на абсолютно не обладнані для цих цілей ділянки;
- відсутність необхідності у виділенні великих ділянок землі при створенні необхідної інфраструктури.

Координація всіх дій з розвитку авіаційної інфраструктури здійснюється органами міського управління.

Мегаполіс, як один з найбільших міст світу, об'єктивно відчуває необхідність вирішення низки проблем, таких як потреба у підвищенні оперативності реагування міських служб (в першу чергу, правоохоронних, аварійно-рятувальних, протипожежних, екстреної медичної допомоги та ін.) в умовах обмеженої пропускної спроможності автомагістралей і, як наслідок, ускладненого дорожнього руху, особливо при виникненні надзвичайних ситуацій. Крім того, висока щільність населення і велика кількість функціонально взаємопов'язаних між собою об'єктів, значно підвищують небезпеку наслідків техногенних аварій, що викликає необхідність здійснення постійного моніторингу навколишнього середовища, інженерних та інших технічних систем і комунікацій. Використання авіаційних засобів (в першу чергу, вертольотів та безпілотної авіації) дає можливість вирішення перерахованих вище проблем [9, 17].

В даний час в розвинутих країнах світу діє система авіаційного забезпечення правоохоронних органів, пожежної та екстреної медичної служб, а також виконуються спеціальні авіаційні роботи для вирішення екологічних завдань, аерозйомок (дистанційного зондування), будівельно-монтажних робіт і метеозащити міста. У той же час практично не розвинена система транспортних пасажирських перевезень і повітряного туризму.

З метою подальшого розвитку авіаційних технологій в інтересах міського господарства та життєзабезпечення міста, його повітряно-транспортної системи необхідне рішення трьох основних завдань:

- розвиток авіаційної техніки і насичення парку міської авіації легкими вертольотами та БАС, що забезпечують вирішення спеціальних завдань в інтересах міських служб, комерційних перевезень і авіаробіт;
- розвиток міської авіаційної інфраструктури, що включає вертодроми та вертолітні майданчики;
- організація безпечного використання повітряного простору над містом.

При цьому використання авіаційних технологій в місті може здійснюватися при забезпеченні санітарно-гігієнічних та екологічних норм охорони навколишнього середовища.

Принципово польоти, а також в зонах населених пунктів можна дозволити з суттєвими обмеженнями:

- суб'єктів, яким надано право виконання польотів;
- технічному стандарту повітряного судна, на якому виконуються польоти (кількості двигунів, злітної маси, обмежень шуму на місцевості, льотно - технічних характеристик, приладового обладнання);
- системи допуску льотного персоналу до виконання даного виду польотів;
- стандарту вертодром або вертолітного майданчика в зоні населеного пункту;
- Умови правил польотів в зоні населеного пункту.

Для реалізації системи регулювання виконання польотів в зоні населеного пункту необхідно зробити аналіз існуючої нормативної бази та визначити поле нормативних документів, необхідних для розроблення.

Рішення про реалізацію системи АМТ дозволить істотно прискорити розробку ряду концептуальних програм розвитку приватної авіації та пов'язаних технологічних систем, які можуть вивести державу на високий технологічний рівень організації і контролю польотів авіації загального призначення, аж до заяви ряду міжнародних стандартів.

Позитивним ефектом реалізації системи АМТ є збільшення обсягу та оборотності фінансових коштів муніципалітету, прибутковості міського бюджету та інвестиційного прибутку від надання високовартісних послуг, створення великої кількості робочих місць, що потребують висококваліфікованих кадрів.

Застосування специфічної авіаційної техніки в муніципальних умовах може збільшити інтерес розробників і виробників заповнити цей ринок національними розробками.

Концепція організації системи АМТ

Основними завданнями системи АМТ є:

- розвиток повітряно - транспортної системи міста;
- вдосконалення застосування авіаційних технологій в інтересах міських служб та забезпечення життєдіяльності міста;
- забезпечення екологічної безпеки території міста і його населення, пов'язаної з авіаційною діяльністю.

Структура системи АМТ складається з таких напрямків:

1. Контур споживачів послуг авіаційних технологій.

Споживачами міської авіатранспортної системи є:

- медичні заклади першої допомоги;

- центри опікової медицини і реанімації;
- підрозділи МНС евакууює з зон пожеж з дахів висотних будинків;
- пошуково-рятувальні підрозділи МНС;
- патрулюють підрозділи МВС;
- перевезення VIP персон;
- туристичні об'їзди;
- перевезення пасажирів по секторам муніципалітету.

В процесі реалізації системи АМТ можливе поетапне введення споживачів.

2. Контур власників і інвесторів частин системи.

Власників системи АМТ слід розділити на категорії:

- а) Власники авіаційної техніки - оператори.
- б) Власники посадочних майданчиків і місць базування.
- в) Власники систем маркування, світлотехнічного та радіотехнічного забезпечення.
- г) Підрядники висотного монтування та будівництва висотних об'єктів системи.
- д) Власники точок заправки паливом і витратними матеріалами АМТ.
- е) Власники інформаційної мережі системи АМТ.
- ж) Власники мереж GPRS поля і каналів передачі інформації.
- і) Виробники бортової апаратури системи АМТ.

Власником будь-якої складової може бути будь-який інвестор. Пріоритетними для власності муніципалітету можуть бути об'єкти системи АМТ:

- оператор;
- посадочні майданчики і місця базування;
- точки заправки паливом і витратними матеріалами АМТ.

Можливі варіанти, що є предметом обговорення Програми.

3. Оператори авіаційного транспорту:

- медичні заклади першої допомоги, МОЗ або оператори договірної сторони;
- центри опікової медицини і реанімації;
- МНС або оператори договірної сторони МНС;
- МВС;
- організації або договірні оператори перевезення VIP персон;
- експлуатанти авіаційного транспорту;
- приватні особи.

Основним оператором в муніципальній зоні може бути муніципалітет.

Можливі варіанти, що є предметом обговорення Програми.

4. Стандартизована авіаційна муніципальна техніка.

У відповідність з концепцією системи авіаційного муніципального транспорту повітряними судами системи можуть виступати апарати з характеристиками:

- має сертифікат типу FAA;
- обов'язкової можливості вертикального зльоту і посадки;
- габаритами не більше 3 м. (Ширина) X 10 м. (Довжина) X 5 м. (Висота).
- максимальною злітною вагою не більше 5 700 кг .;
- розмахом несучих поверхонь в радіусі не більше 8 метрів, D = 16 m;
- висотою ротора несучих поверхонь не менше 2 метрів;
- не менше двох двигунів і з можливістю горизонтального польоту на висоті не менше 250 метрів при відмовив критичному двигуні при максимальній злітній вазі;
- при максимальному комерційному навантаженні мати мінімальний запас палива на політ тривалістю не менше 2-х годин;
- статичним стелею не менше 150 м. При відмовив критичному двигуні з максимальною злітною масою;
- має на борту протизаморожувальне обладнання, систему;
- протипожежне автоматичне обладнання і засоби рятування пасажирів;

- необхідну стандартом світло-маякову і радіо маркування, необхідне приладове обладнання.

Стандартизовані вимоги до муніципальної авіаційної техніки повинен встановити САА.

5. Інфраструктури забезпечення виробництва польотів:

5.1. посадочні майданчики і платформи на висотних будівлях в межах міста;

5.2. місця базування і технічного забезпечення авіаційної техніки;

5.3. точки заправки АМТ паливом і витратними матеріалами;

5.4. світло-технічне і радіотехнічне забезпечення майданчиків і місць базування АМТ;

5.5. світло-технічне і радіотехнічне забезпечення безпеки польотів в межах міста;

5.6. автоматизована дозвільна система виробництва польотів АМТ;

5.7. автоматизована система контролю безпечного виконання польотів в межах міста;

5.8. інформаційне та аеронавігаційне забезпечення повітряного міського транспорту.

5.9. реєстр висотних будівель ( $H = i$  більше 50 м.)

6. Нормативно - правове поле функціонування системи:

6.1. технічні стандарти типу авіаційної муніципальної техніки;

6.2. вимоги і стандарти, що висуваються до посадкових майданчиків і системам забезпечення функціонування майданчиків;

6.3. правила польотів в муніципальних зонах;

6.4. аеронавігаційні вимоги і схеми маршрутів виконання польотів в муніципальній зоні;

6.5. вимоги до підготовки льотного персоналу та система допусків до виконання польотів в муніципальних зонах;

6.6. стандарти до будівельних об'єктів системи в Державних будівельних нормах (ДБН);

6.7. вимоги і стандарти до маркування, світло-технічним і радіотехнічним сигнальним системам;

6.8. вимоги до інформаційної системи забезпечення польотів в муніципальній зоні;

6.9. нормативне забезпечення дозвільної системи виконання польотів в муніципальній зоні.

Нормативно - правове поле розробляється САА. Для прискорення процесу впровадження пропонується розробити нормативно-правові аспекти на тендерній основі, при оголошенні тендера на ці роботи з боку САА.

7. Контроль технічного стану системи:

7.1. періодичний контроль льотної придатності АМТ

7.2. постійний контроль підготовленості льотного складу до виконання польотів в муніципальній зоні

7.3. постійний контроль відповідності стандарту посадочних майданчиків і систем забезпечення зльоту - посадки;

7.4. постійний контроль за відхиленням від технічного стандарту світлосигнальної та радіотехнічної маркування перешкод.

7.5. постійний контроль стану інформаційного поля системи.

Нормативний контроль за якістю функціонування системи повинна здійснювати САА або організація, якій делеговані ці права з боку САА.

Технічний контроль функціонування системи здійснюється організаціями, що здійснюють технічний супровід елементів систем, в тому числі на гарантійних умовах [22,23,24].

### **1.3. Огляд сучасних стандартів та інструментів управління ризиками при здійсненні авіаційної діяльності**

Функціонування АД здійснюється в умовах невизначеності і нестабільності факторів зовнішнього і внутрішнього середовища, що підвищує ймовірність виникнення різноманітних і значних за величиною ризиків. Говорячи про ризики, в першу чергу мається на увазі можливість понести деякий збиток (втрати, збитки) з певною ймовірністю [8]. У результаті впливу чинників ризику можливі фінансові, матеріальні, трудові, часові та інші специфічні види втрат [5].

Організація ефективного комплексного УР на підприємствах не дозволяє скоротити ймовірність появи ризикових ситуацій до нуля. У той же час грамотний ризик-менеджмент сприяє досягненню поставлених цілей, підвищення ефективності, дозволяє виявити невикористаний потенціал підприємства в умовах невизначеності зовнішнього і внутрішнього середовища, забезпечити високі показники надійності і стійкості [4]. Аналіз світового досвіду дозволяє зробити висновок, що комплексне управління ризиками - обов'язкова умова ефективного функціонування АД.

Найчастіше на підприємствах розглядається невизначеність зовнішнього і внутрішнього середовища, яка породжує ризики. При цьому поняття «ризик», в залежності від практичного застосування, має різні трактування. Так, відповідно до теорії статистики «ризик - ймовірність виникнення події, яке може спричинити за собою відхилення від передбачуваного тренда». З точки зору впливу на ефективність реалізації комерційних операцій «ризик - можливість непередбаченого збитку від інциденту, який повністю видозмінює початкові умови виконання польоту» [16]. У найбільш загальному розумінні «ризик - можливість появи небезпечної події»

Небезпеку становлять як різні технічні неполадки і збої, так і суперечливість даних в інформаційних системах, а також нерозмежований доступ персоналу до корпоративної інформації. З метою досягнення високої ефективності УБП на сьогоднішній день розроблені і широко використовуються міжнародні стандарти (ISO 15408, ISO 17799 (BS7799), серія ISO 27000), різні стандарти національних провайдерів BSI (Великобританія), NIST 80030 (США), SAC (КНР), інші нормативно-рекомендаційні бібліотеки і стандарти (COSO, ITIL, SAS 55/78).

У стандарті ISO 17799 (в 2005 р стандарт перероблений, доповнений і опублікован як ISO / ІЕС 27002) використовується широка трактовка ризику як об'єднання ймовірності несприятливої події і наслідків його появи.

Стандарт ISO 27005 уточнює термін «інформаційний ризик», виділяючи складові його активи, загрози, вразливості і збитки. Так, згідно з ISO 27005: «Ризик інформаційної безпеки - це потенційна можливість використання вразливостей активу або групи активів конкретної загрози для нанесення шкоди організації» [18].

До об'єктів аналізу та управління в сфері забезпечення інформаційної безпеки відносяться елементи автоматизованих інформаційних систем і систем управління, телекомунікаційні системи і мережі, інформаційні ресурси, що збираються і обробляються цими системами [20,21]. У той же час, з точки зору системного підходу до аналізу проблеми інформаційної безпеки підприємства, виникає потреба в проведенні глибшої класифікації авіаційних ризиків.

Міжнародні стандарти, крім опису мінімально необхідної сукупності механізмів і інструментів досягнення і підтримки безпеки, включають вимоги з проведення оцінки величини ризиків і розрахунку економічної ефективності використання різних механізмів їхнього управління.

З метою управління інформаційними ризиками були створені спеціальні методики, описані в міжнародних, національних та інших стандартах і документах (ISO 15408, ISO 17799 (BS7799), серія стандартів ISO 27000; BSI, NIST 80030, SAC, COSO, SAS 55/78 ).

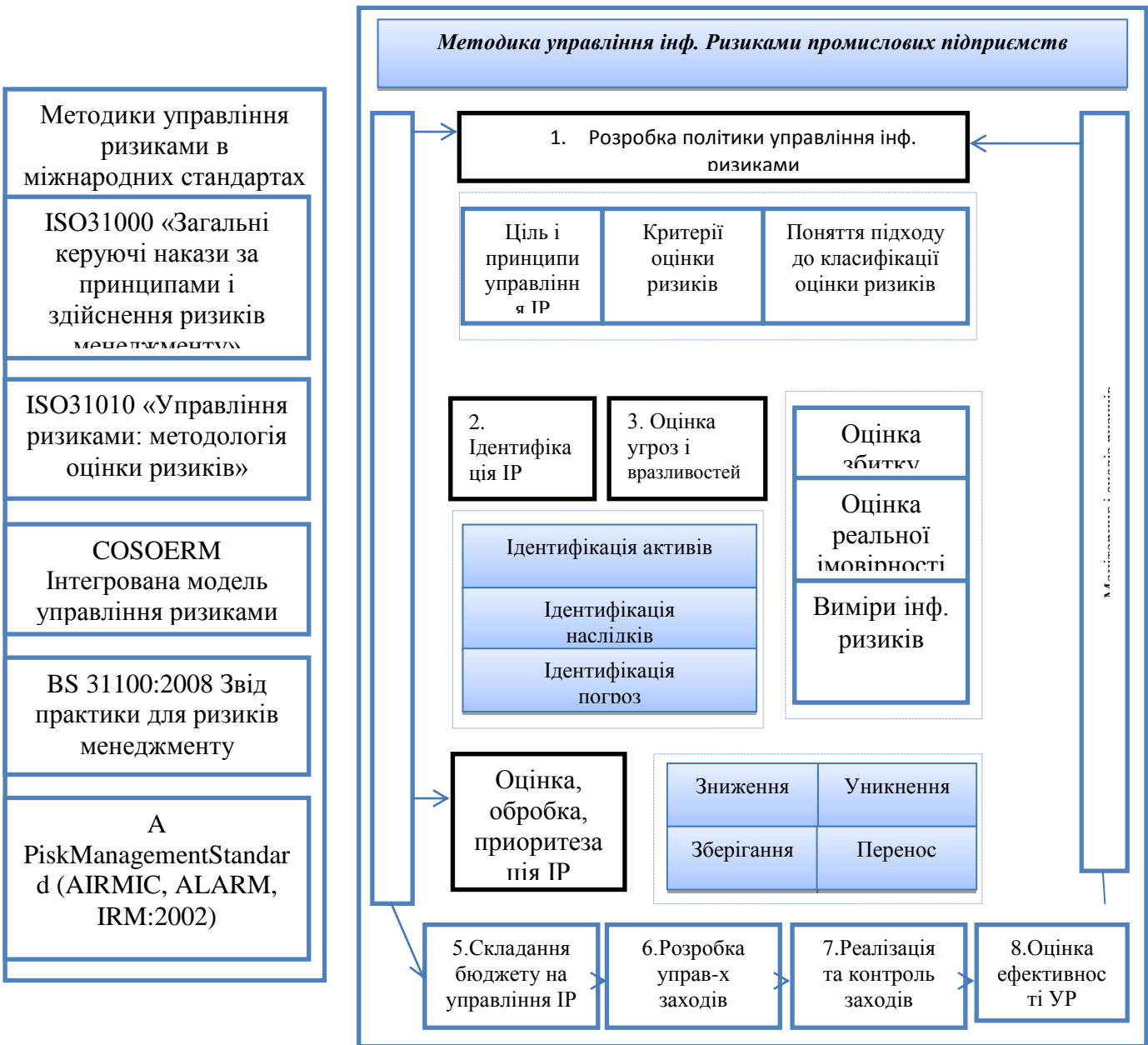
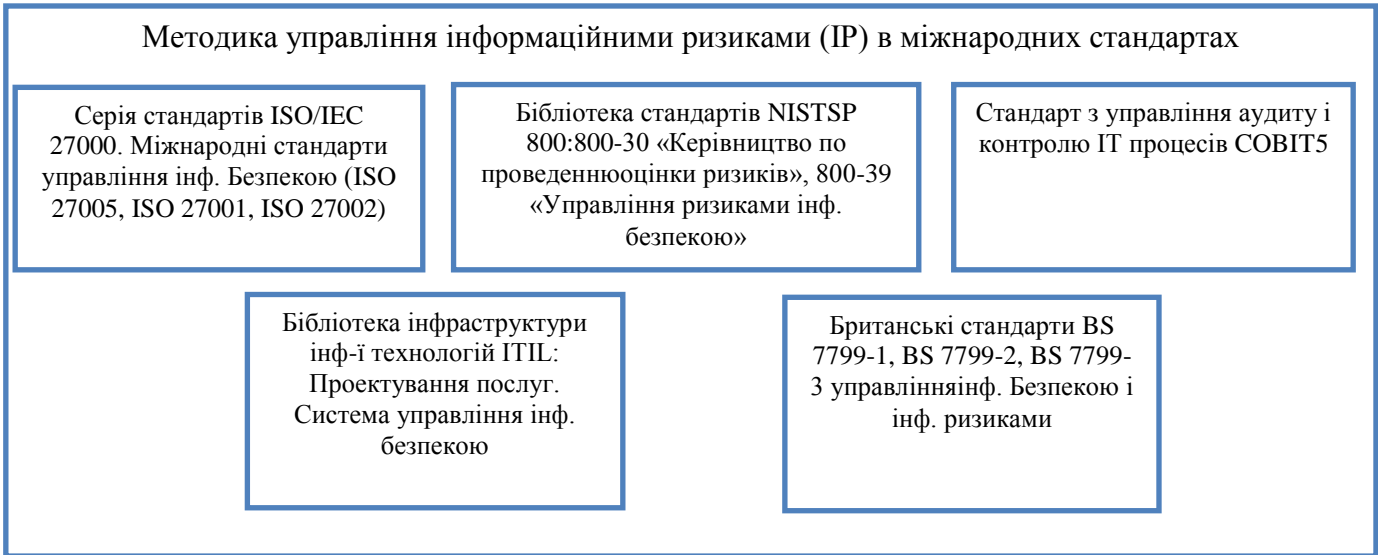


Рис. 1.21. Опис стандартів управління ризиками.



Узагальнюючи описані в них методики і інструменти, управління ризиками включає етапи [35,42]:

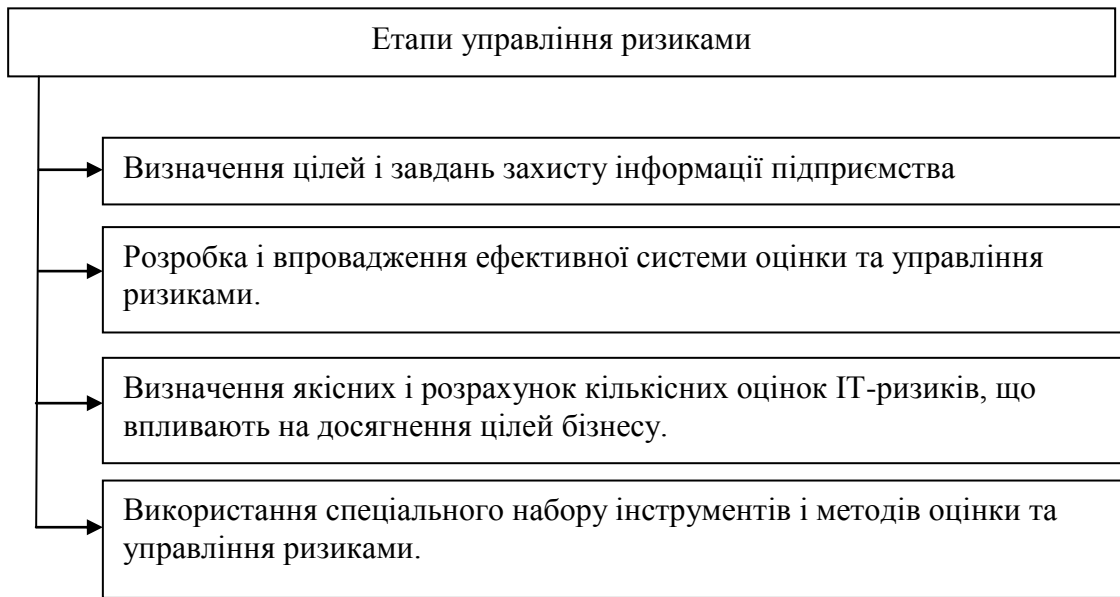


Рис 1.22. Етапи управління ризиками

Проведемо аналіз деяких міжнародних стандартів в сфері безпеки. У 2005 р в Великобританії був розроблений новий стандарт BS 7799 Частина 3. «Системи управління інформаційною безпекою - Практичні правила управління ризиками інформаційної безпеки» [26]. У наступному він був доопрацьований і переданий в Міжнародні організації по стандартизації (ISO і ІЕС). В даний час стандарт затверджений як стандарт ISO ІЕС20071 На основі положень Британських стандартів BS була розроблена серія стандартів ISO / ІЕС 27000, опублікованих спільно Міжнародною Організацією по Стандартизації (ISO) і Міжнародної Електротехнічної Коміссією (ІЕС). Міжнародні стандарти ISO 27002 та ISO 27001 є одними з найбільш широко застосовуваних у сфері інформаційної безпеки. ISO 27002 (раніше ISO 17799) включає в себе опис основних рекомендацій по організації ефективних систем управління безпекою, виділяючи увагу всіх ключових аспектах, в тому числі [32]: Стандарт інформаційної безпеки ISO 27001 представляє собою збірник критеріїв, що застосовуються для аналізу і оцінки системи менеджменту, за результатами якої акредитований центр видається сертифікат відповідності, що вноситься до реєстру. Стандарт ISO 27001 описує систему менеджменту безпеки, спрямовану на вирішення завдань розробки та впровадження програм з підвищення безпеки підприємств, де використовується цикл, що складається з розробки, аналізу і перегляду. Даний цикл широко відомий, як модель PDCA Plan-Do-Check-Act, який наведено на рисунку 1.5.2

У 2012 р міжнародна асоціація аудиту і контролю інформаційних систем Баса представила оновлену версію стандарту COBIT 5, в який включені найкращі методи управління і стратегічного керівництва в сфері ІТ. COBIT 5 включає 5 принципів, які дозволяють здійснювати з урахуванням семи факторів, що впливають ефективно керівництво та управління, які забезпечують оптимізацію інвестицій в інформаційні технології [33]. Дані принципи формують мотив і потенціал для практичних заходів у сфері управління ризиками.

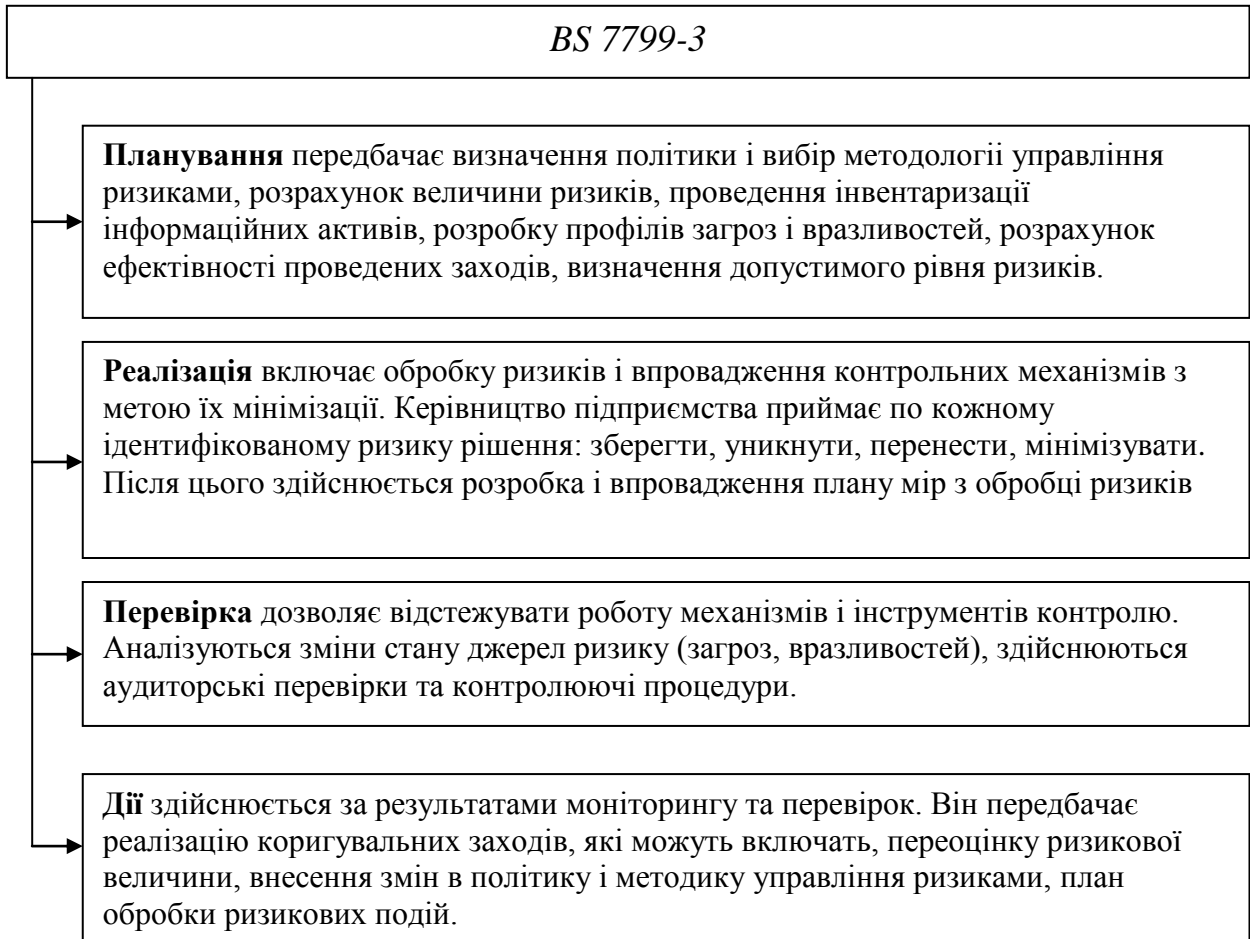


Рис 1.23. BS 7799-3

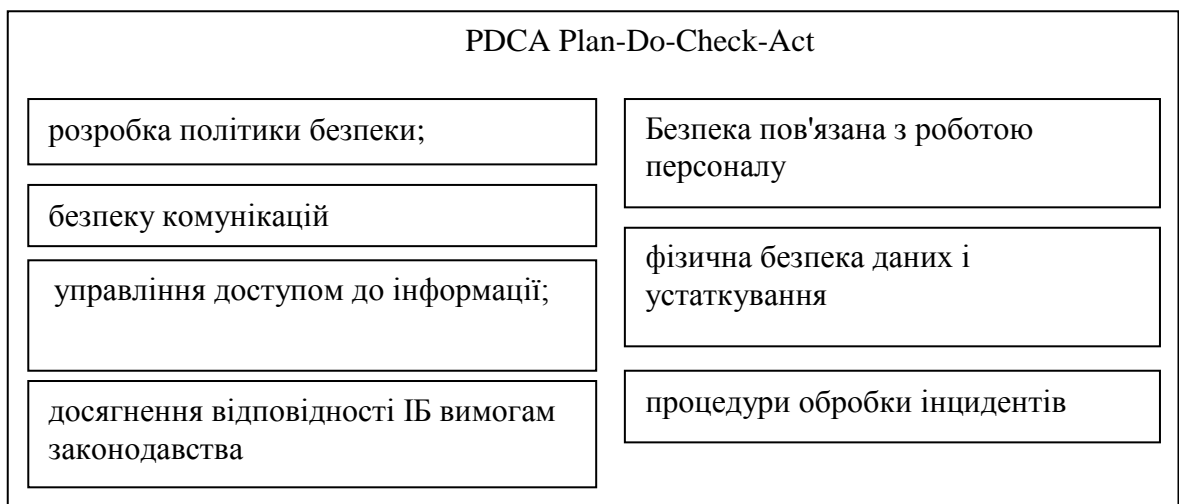


Рис. 1.24. Модель PDCA

Існуючі стандарти в області інформаційної безпеки і ризиків (ISO 15408, ISO 17799, ISO 9001, NIST 800-30, BS1, BS 7799, COBIT, ITIL і ін.) Не розглядають ряд принципів питань, які необхідно враховувати при розробці методик управління ризиками. Облік даних питань визначає рівнем зрілості підприємства, специфікою його діяльності і іншими параметрами. Отже, розробити єдину, яка підходить для всіх вітчизняних підприємств методику управління ризиками, яка дозволила б забезпечити економічно обґрунтовану безпеку, неможливо. У кожному конкретному випадку

доцільно здійснювати її адаптацію під потреби підприємства з урахуванням специфічних умов його функціонування.

На практиці не існує безперечних правил, що закріплюють, в якому випадку доцільно використовувати одну або іншу методологію управління інформаційними ризиками. Велика їх частина ґрунтується на міжнародних стандартах, наприклад

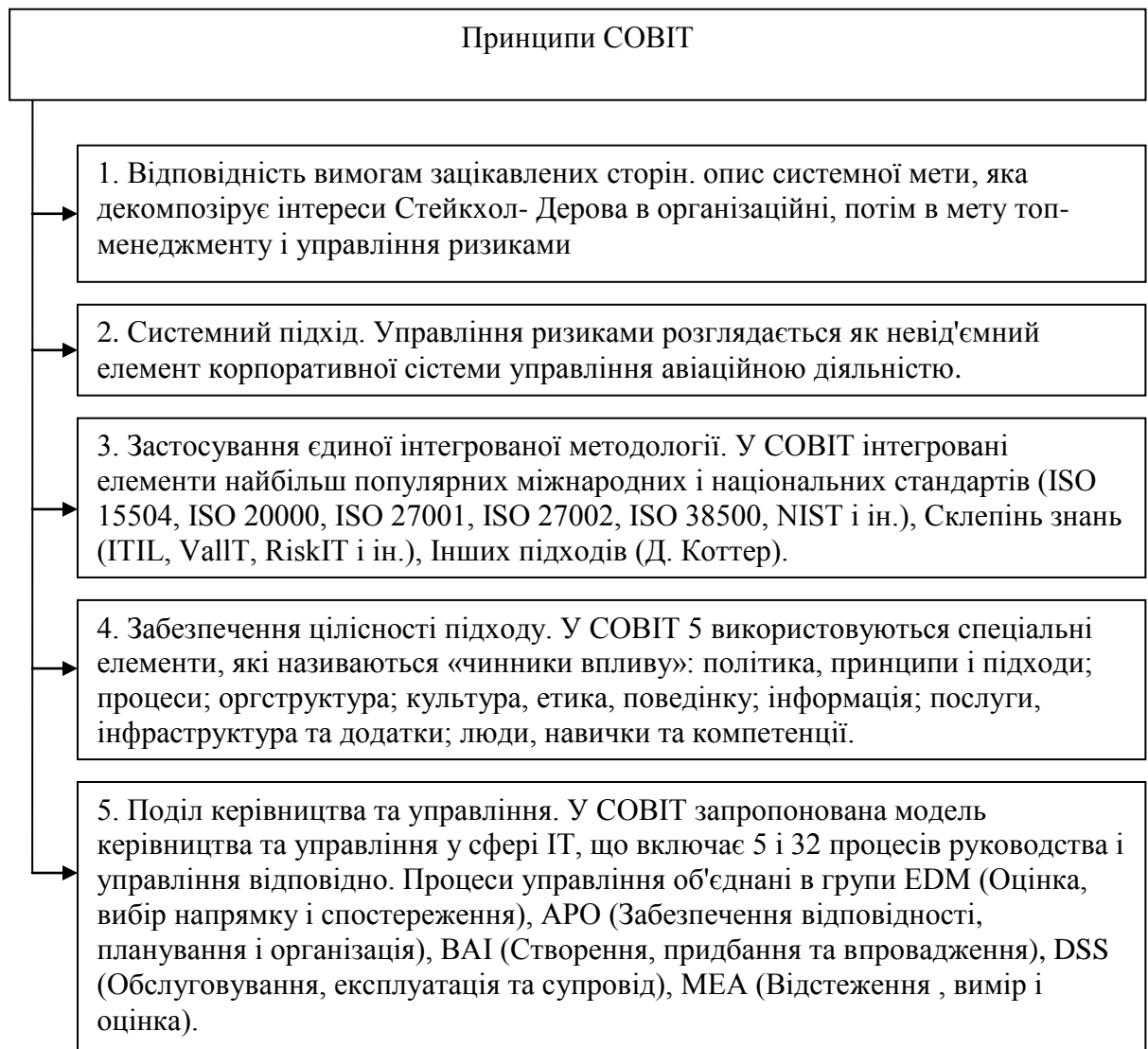


Рис 1.26. Принципи COBIT

BS7799 або ISO17799, а тому вони дозволяють оцінити не величину ІТ-ризиків на підприємстві, а відповідність стандарту який використовується.

Зростаюча залежність процесів виробництва від інформаційних технологій багато в чому обумовлює підвищення актуальності питань екологічної та промислової безпеки. У зв'язку з цим виникає необхідність прийняття УР, спрямованих на підвищення рівня інформаційної безпеки, так як з кожним роком число аварій, що відбуваються з вини інформаційних систем, тільки збільшується.

Найбільш складним і неоднорідним процесом є оцінка ризиків, єдиної методики яких не існує. Для регламентування процесів оцінки всіх видів ризиків в 2009 році був впроваджений стандарт ISO 31010 «Методи оцінки ризику». Відповідно до нього оцінка ризику являє собою процес, що включає ідентифікацію, аналіз і порівняльну оцінку ризику [52,55].

Аналіз ризику складається з етапів, які наведені в наступних розділах. Методи, що застосовуються при аналізі ризику, поділяються на якісні, кількісні або змішані. Якісна оцінка описує наслідки ризиків, їх вірогідність і величину за шкалою

«високий», «середній» і «низький»; зіставна оцінка ризику в даному випадку здійснюється на підставі якісних критеріїв.

При кількісному аналізі ризиків визначається значимість і грошова вартість наслідків ймовірності їх настання, при цьому значення ризику отримують в - одиницях, заданих при розробці області застосування ризик-менеджменту. Повний кількісний аналіз ризиків не завжди здійснимо через нестачу даних про аналізованій системі, впливу людського фактора та інших, а також тому, що трудовитрати на його проведення великі.

Порівняльна оцінка ризику включає порівняння кількісної величини ризику з критеріями, заданими при встановленні області застосування ризик-менеджменту, для визначення класу ризику і значущості.

У стандарті ISO 31010 в наведені описи основних методів, використовуваних для оцінки ризику, з урахуванням їх застосовності на різних етапах процедури оцінювання, в тому числі: метод мозкового штурму, метод Дельфі, контрольні листи, аналіз небезпеки і критичних контрольних точок, аналіз сценаріїв, аналіз дерева відмов, аналіз причин і наслідків, аналіз дерева рішень, марковський аналіз, моделювання методом Монте-Карло, Байесовський аналіз і мережі Байеса, криві FN, індекси ризику, матриця наслідків і ймовірностей, мультикритеріальний аналіз рішень.

Оцінка ризиків передбачає не тільки оцінку ймовірностей настання ризикових подій, а й визначення розмірів шкоди при настанні цих подій. При цьому слід враховувати як прямі, так і косвені збитки. Прямі збитки являють собою безпосередній збиток здоров'ю третіх осіб, майну або майновим інтересам підприємства (третіх осіб). Непрямі збитки виникають внаслідок неможливості нормального функціонування підприємства протягом певного часу.

Для формалізації процедур ПР з управління ризиками в умовах невизначеності необхідно використовувати теорію експертних оцінок, теорію штучного інтелекту, теорію нечітких (розмитих) множин та методи нечітко-логічного висновку, які дають можливість за допомогою безлічі лінгвістичних змінних, нечітких значень факторів і змінних небезпечних ситуацій оцінити ступінь впливу ФР різної природи на цільові показники діяльності підприємств, а також виявити найбільш значимі ФР. У той же час, відомі експертні методи аналізу ризиків не дозволяють в повній мірі використовувати добре розроблений апарат імітаційного моделювання небезпечних ситуацій, що знижує гнучкість створюваного на їх основі алгоритмічного і програмно-інформаційного забезпечення сучасних СППР. Зазначені обставини, в свою чергу, знижують обоснованість ПР з УР підприємств в умовах невизначеності.

Процеси прийняття УР в проектах зі створення кінцевого продукту відбуваються в умовах суттєвої невизначеності, яка проявляється у вигляді обмеженості або нечіткості інформації про умови реалізації проектного продукту [10,13,27,36].

Процес планування реагування на ризики ґрунтується на результатах якісного і кількісного аналізу. На цьому етапі призначаються відповідальні особи за зниження ризику і розробляються методи і процедури, які сприяють зниженню впливу найбільш небезпечних загроз на цілі проекту, а також оцінюються витрати ресурсів для зниження несприятливих подій до прийнятного рівня. Ризики розглядаються згідно їх пріоритетам, а способи реагування розробляються для кожного ризику окремо.

На етапі моніторингу та контролю рівнів ризику аудитори з БП відстежують ідентифіковані загрози, контролює виконання планів з реагування на ризики і оцінює їх ефективність протягом усього життєвого циклу проекту. Здійснюється документування результатів проведених заходів щодо зниження впливу найбільш небезпечних ризиків, оцінка їх ефективності, вивчення причин виникнення несприятливих ситуацій, а також проводиться ідентифікація нових ризиків і перегляд стану відомих ризиків.

З урахуванням вищевикладеного можна сказати, що для підвищення ефективності управління ризиками проекту необхідні формалізація і автоматизація управління ризиками на різних етапах. Таке завдання може бути вирішена шляхом розробки СППР

управління проектними ризиками. СППР при цьому повинна ґрунтуватися на сучасних методах обробки інформації в умовах суттєвої невизначеності і дозволяти проводити аналіз ризиків, виробляти, оцінювати і приймати ефективні рішення. Для цього система повинна використовувати моделі, що інтегрують якісні та кількісні фактори, що визначають ризики АД [48].

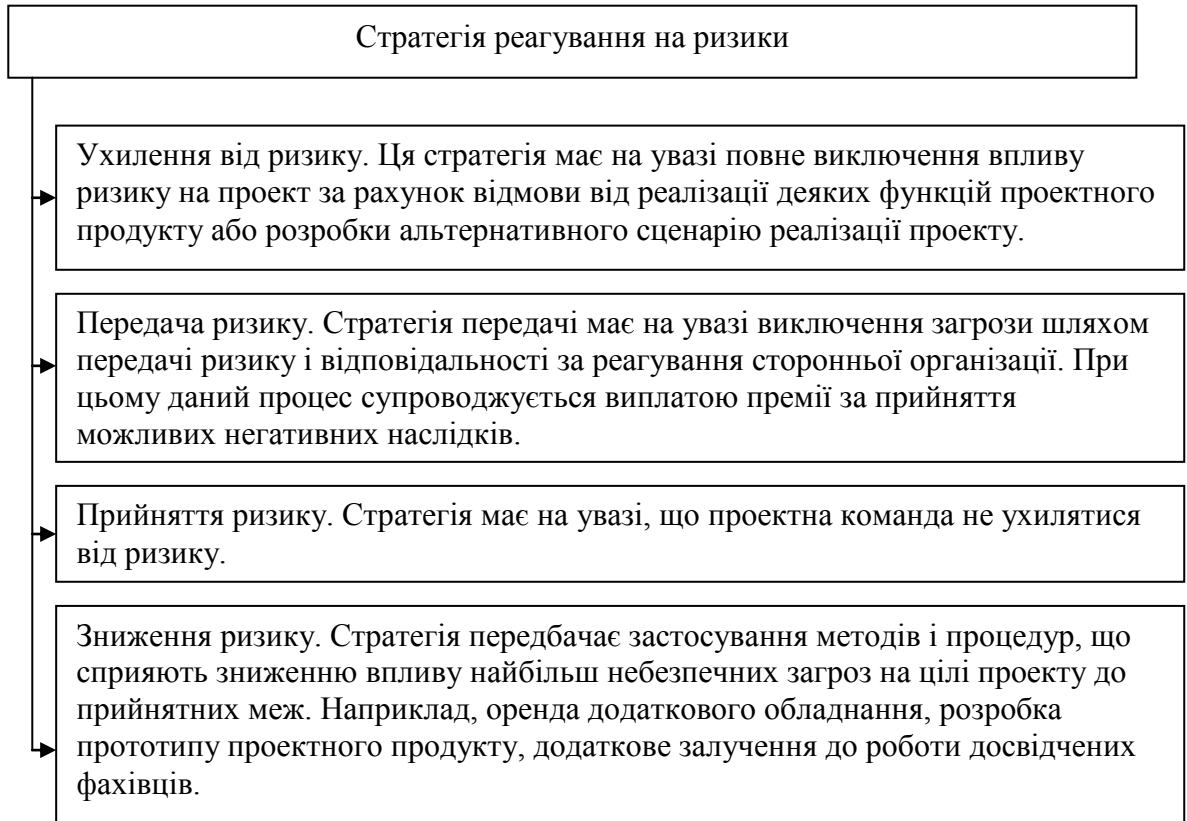


Рис 1.27. Стратегія реагування на ризики

Мінімаксний підхід допускає приймати рішення на підставі тільки найкращих і найгірших інтегральних оцінок.

Формально принцип максиміна полягає в мінімізації критерію

$$w_1 = f_1(x, \beta_1) = \begin{cases} F_1(x, \beta_1), & x \in P_1 \\ -\infty, & x \in \overline{P_1} \end{cases} \quad (1.1)$$

оперуючої сторони по  $\beta_1$  та  $x_2 \dots x_n$  при відомих  $B_1, X_1$  і подальшої максимізації отриманого виразу по стратегіям  $\tilde{x}_1$ , причому  $\beta_1 \in B_1$  і для наступних

$$w_{i1} = f_{i1}(x, \alpha_{i1}), \alpha_{i1} \in A_{i1}, i = 2, \dots, n \quad (1.2)$$

т. е. в реалізації

$$L_1[X_1] = \max_{\tilde{x}_1 \in X_1} \min_{\substack{x_i \in X_0^i \\ i \geq 2}} \min_{\beta_1 \in B_1} f_1(\tilde{x}_1, x_2 \dots x_n, \beta_1) \quad (1.3)$$

де  $X_1$  є безліч стратегій, відповідних чикуваної інформації про  $x_i, \beta_1$ . Нагадаємо, що ми вважаємо  $X_1 \supset X_1^0$  і що гра замкнута, т. е. в  $X_1^0$  входять і вибори, що відображають свідому відмову від проведення існуючої незамкнутої гри. Максимін є окремим випадком ізоляціоністських дій. При цьому знову формально передполагается, що один з операторів може незалежно обирати будь які  $x_1, X_1$ . Насправді така можливість є хіба лише при використанні точок, що належать відповідній проекції  $P^\Phi$ . Реалізація таких  $x_1$  можлива завжди, якщо перший оператор першим же і вибирає конкретне значення  $x_1$ . Реалізація більш складних  $\tilde{x}_1$  можлива, звичайно, і в інших випадках.

Навіть для реалізованих  $\tilde{x}_1$  максимін (1.3) не завжди правильно оцінює максимальний гарантований результат, оскільки в (1.3) не враховується фізична неможливість виходу  $x_1$  за межі безлічі  $P^\Phi$ . Тим самим цей результат, взагалі кажучи, знижується, якщо про  $P^\Phi$  є досить точна інформація. Заніження свідомо не відбувається, якщо  $P^\Phi \supset X_1^0 \times \dots \times X_n^0$  (що може бути плодом часткових колективних дій, що означають відсутність чистого ізоляціонізму).

Якщо припускати вже виконаним сформульовану умову, то розумною підставою для використання (1.3) є достатня широта множин  $A_{i1}$  в суб'єктивному описі (1.2), що свідчить про досить неточном знанні (або навіть незнанні) інтересів інших операторів (в тому числі і множин  $P_i$ ). Крім того, показанням до застосування (1.3) є близькість критеріїв інших гравців до випадку «безцільовий природи», за допомогою критерію байдужості

$$w_N = f_N(x, y) = \text{const} . \quad (1.4)$$

В силу самого визначення стратегії, обрані в у відповідності з (1.5.3), що не залежать від інтересів (і обмежень) інших операторів (стійкі по відношенню до них), так само як і сам найкращий гарантований результат  $L_1[X_1]$ . У той же час цей результат гнучко змінюється в залежності від інформації, закладеної в  $X_1$ . Так, при  $X_1 = X_1^0$  (1.5.3) перетворюється в звичайний максимін

$$L_1^0 = \max_{\tilde{x}_1 \in X_1} \min_{\substack{x_i \in X_i^0 \\ i \geq 2}} \min_{\beta_1 \in B_1} f_1(\tilde{x}_1, x_2 \dots x_n, \beta_1) \quad (1.5)$$

а при  $X_1 = X_1^0$  і при відсутності інформації про  $\beta_1$  в мінімаксимін

$$L_1^0 = \min_{\substack{x_1 \in x_i^0 \\ i \geq 2}} \max_{x_i \in X_i^0} \min_{\beta_1 \in B_1} f_1(\tilde{x}_1, x_2 \dots x_n, \beta_1) \quad (1.6)$$

Якщо ж очікується повна інформація і про  $\beta_1$  то отримаємо мінімакс

$$L_1 = \min_{\substack{x_1 \in x_i^0 \\ i \geq 2}} \min_{\beta_1 \in B_1} \max_{x_1 \in X_1^0} f_1(\tilde{x}_1, x_2 \dots x_n, \beta_1) \quad (1.7)$$

Ще один характерний приклад дає випадок, коли  $x_1 = (x_1^1, x_2^1, \dots, x_{1,1}^n)$

так що при виборі  $x_1^i$  відомі  $x_j$  для  $j \leq i - 1$  а при виборі  $x_1^n$  - ще й  $\beta_1$ ; тоді маємо

$$L_1 = \min_{x_1 \in X_1^0} \max_{x_1^1} \min_{x_3 \in X_3^0} \max_{x_2^1} \dots \min_{\beta_1 \in B_1} \max_{x_1^n} f_2(x_1^1, \dots, x_1^n, \dots, x_2 \dots x_n, \beta_1) \quad (1.8)$$

При цьому раціональна стратегія має вигляд  $\{x_1^1(x_2, \dots, x_1^{n-1}, \dots, (x_2 \dots x_n), x_1^n(x_2, \dots, x_n, \beta_1))\}$  (1.9)

Аналогічно записи (1.5.3) визначаються і для інших операторів максиміна стратегії і результати  $L_i[X_i]$ . Важливою властивістю сукупності величин  $L_i[X_i]$  є те, що ці результати оператори можуть забезпечити собі самі, незважаючи на дії і інтереси інших гравців. Отже, неможливо існування коаліцій, що не забезпечують кожному своєму учасникові результату не менш  $L_i$  а практично, звичайно, більшого, ніж  $L_i$  якщо кожен оператор знає цю величину. Тому визначені  $L_i[X_i]$  є необхідним етапом будь-яких дій по створенню коаліцій [45,46].

Не менш важливо і визначення безлічі

$$E_i[X_i] = \{\tilde{x}_i : w_i \geq L_i[X_i]\}, x_j \in X_j^0, j = 1, \dots, n, j \neq i, \beta_1 \in B_1 \quad (1.10)$$

стратегій  $\tilde{x}_1$  які реалізують відповідні максимін, оскільки ця безліч описує невизначеність дій  $i$ -го гравця, якщо він не може отримати більш  $L_i[X_i]$ ; з цією невизначеністю необхідно повинні вважатися інші.

У формулі (1.3) в загальному випадку всі максимуми і мінімуми повинні бути, звичайно, замінені на  $\sup$  та  $\inf$  {відповідно та рекомендації щодо вибору раціональних стратегій залежать від деякої заданої величини  $\varepsilon_1$  так, що раціональні  $\tilde{x}_1$  для яких

$$\inf_{x_j \in X_j^0} \inf_{\beta_1 \in B_1} f_1(\tilde{x}_1^2, x_2, \dots, x_n, \beta_1) \geq L_1[X_1] - \varepsilon_1 \quad (1.11)$$

Ця обставина в зв'язку з невизначеністю  $\varepsilon_i$  для різних операторів, а значить, і невизначеністю відповідних множин

$$E_i[X_i, \varepsilon_i] = \{\tilde{x}_i : w_i \geq L_i[X_i] - \varepsilon_i\}, x_j \in X_j^0, j = 1, \dots, n, j \neq i, \beta_1 \in B_1 \quad (1.12)$$

може ще більше ускладнити дослідження, якщо операторам не забезпечується результат, більший  $L_i[X_i]$ .

Принцип максиміна може, звичайно, різноманітно співпрацювати з коаліційними діями і осередненням. так, якщо утворена коаліція всіх операторів (крім природи), то при наявності побічних платежів навігідніше якщо вони визначаються після відповідної дії. Що ж стосується навігідніших  $x$ , то вони визначаються з реалізації

$$\max_{x \in P_c} \min_{\beta_1 \in B_1} \sum_{i=1}^n f_i(x, \beta_i) \quad (1.13)$$

Принцип максиміна легко поєднується з осередненням по випадковим факторам, якщо закони розподілу останніх відомі, більш конкретно є використання

осереднення для попередньої модифікації гри з подальшим її використанням. В цьому випадку інформація о  $\Psi(\beta)$  використовується для заміни критеріїв всіх операторів на

$$w_i = \int f_i(x_i \beta_i) d\Psi(\beta) \quad (1.14)$$

Це підтверджує, що всі оператори готові замінити існуючий критерій на його математичне очікування.



#### 1.4. Сучасні теорії моделювання ризиків. Загальні підходи до моделювання ризиків

В даний час спостерігається зростання кількості методик визначення ризиків та їх застосування. Це пов'язано з потребами різних видів діяльності в забезпеченні ефективного розвитку підприємств. Багато підходи залишаються на рівні вербальних моделей, не мають формалізованих математичних моделей. Зокрема, в міжнародному стандарті ISO 31010 «Менеджмент ризиків. Методики оцінки ризиків», наводиться велика кількість найрізноманітніших методів (31), які мають різні можливості, сфери застосування. І тільки 21 з них здатні обчислювати ризик (якісно або кількісно). Нижче вони наведені в таблиці.

Таблиця 1.15. Застосування інструментів оцінки ризику

Інструменти та методики	Процес оцінки ризику				
	Ідентифікація ризику	Аналіз ризику			Обчислення ризику
		Наслідок	Імовірність	Рівень	
Мозговий штурм	SA	NA	NA	NA	NA
Структуровані та напівструктуровані інтерв'ю	SA	NA	NA	NA	NA
Метод Дельфі	SA	NA	NA	NA	NA
Контрольні листи	SA	NA	NA	NA	NA
Попередній аналіз небезпек (ПАН)	SA	NA	NA	NA	NA
Дослідження небезпек та працездатності (HAZOP)	SA	SA	A	A	A
Аналіз небезпек та	SA	SA	NA	NA	SA
Оцінка екологічного ризику	SA	SA	SA	SA	SA
Структура «Що якщо?» (SWIFT)	SA	SA	SA	SA	SA
Аналіз сценаріїв	SA	SA	A	A	A
Аналіз впливу на бізнес	A	SA	A	A	A
Аналіз корінних причин	NA	SA	SA	SA	SA
Аналіз видів та наслідків потенційних відмов	SA	SA	SA	SA	SA
Аналіз дерева несправностей	A	NA	SA	A	A
Аналіз дерева подій	A	SA	A	A	NA
Аналіз причини/наслідку	A	SA	SA	A	A
Причинно-наслідковий аналіз	SA	SA	NA	NA	NA
Аналіз рівней надійності Засобів захисту (LOPA)	A	SA	A	A	NA
Дерево рішень	NA	SA	SA	A	A
Аналіз людської надійності	SA	SA	SA	SA	A
Аналіз «метелика»	NA	A	SA	SA	A
Надійність центрів обслуговування	SA	SA	SA	SA	SA
Аналіз паразитних контурів	A	NA	NA	NA	NA
Аналіз Маркова	A	SA	NA	NA	NA
Імітаційне моделювання методів Монте-Карло	NA	NA	NA	NA	SA

Байесовська статистика та мережі Байеса	NA	SA	NA	NA	SA
Криві FN	A	SA	SA	A	SA
Індксація ризиків	A	SA	SA	A	SA
Матриця наслідків/ймовірності	SA	SA	SA	SA	A
Аналіз затратів/вигоди	A	SA	A	A	A
Аналіз рішення за декількома ознаками (MCDA)	A	SA	A	SA	A
SA - Застосовується в обов'язковому порядку, NA - Не застосовується, A - Застосовується					

Останнє десятиліття почали активно вивчатися питання математичного моделювання економічних ризиків. Систематичний виклад різних підходів в розробці ризикових економіко математичних моделей представлено в монографіях і статтях вітчизняних і зарубіжних авторів. Математичні моделі формуються в основному за галузевим принципом [163,182,183,184,194,195,196]. Можна знайти моделі для аналізу фінансових, страхових, технічних, екологічних, в освіті, медичних інші. На жаль, вони не володіють спільністю і в багатьох випадках непридатні для інших областей застосування.

Загальних підходів до побудови моделі ризику трохи, вони досить повно представлені в роботі [76].

Двофакторна модель ризику. В реальних задачах оцінки ризиків можна скористатися двофакторною моделлю ризику, яка спирається на комбінацію ймовірності події та тяжкості можливих його наслідків [9]. Зазвичай вважається, що ризик тим більше, чим більша ймовірність події і тяжкість її наслідків. При цьому ризик в разі кількісного вираження ймовірності події та тяжкості її наслідків виражається формулою:

$$\text{Ризик} = \text{ймовірність} * \text{тяжкість наслідки}, R = p * Z,$$

де  $p$  - ймовірність реалізації небезпеки,  $Z$  - тяжкість наслідків прояви небезпек. Як правило, тяжкість наслідків пов'язана з цілями бізнес-процесів, з персоналом, з навколишнім середовищем.

Якщо змінні є якісними величинами, то операція множення не визначена. Тоді в явному вигляді ця формула використовуватися не повинна.

Для розрахунку ризику необхідно сформувані шкали ймовірності появи небезпеки і тяжкість наслідки прояву небезпеки, за якими можна вимірювати входять до вираз чинники. Це одна з найважливіших завдань в менеджменті ризику.

Трифакторна модель ризику. У три факторній моделі до двох згаданих складових ризику додається ще одна. Таким третім елементом може бути частота появи (ймовірність) ситуації, ризик для якої оцінюється. наприклад: Ризик = ймовірність \* тяжкість наслідків \* частота появи ( $R = p * Z * f$ ), чим вище можлива частота появи небезпеки, тим вище ризик. Неважко помітити, що твір ймовірність (для працівника) \* частота появи по суті є ймовірність для підприємства. З цієї точки зору такий варіант моделі ризику не відрізняється принципово від наведеної вище двофакторної моделі.

Як третій фактор при оцінці ризику можна також використовувати можливість передбачення події, ризик наслідків якого ми оцінюємо. Формула для розрахунку ризику в цьому випадку буде:

$$\text{Ризик} = \text{ймовірність виникнення} * \text{тяжкість наслідки} * \text{можливість виявлення події} (R = p * Z * U).$$

Якщо є технічні (або організаційні) кошти для виявлення появи небезпеки, то очевидно, що запобігти таку небезпеку легше. Наприклад, якщо на апараті, що працює під тиском, варто манометр, то з підвищення тиску легко передбачити можливість

некерованого розвитку ситуації (наприклад, вибух), тобто передбачити появу небезпеки. Така можливість прискорить прийняття заходів по її запобіганню, а це в свою чергу призведе або усунення небезпеки (знизимо тиск), або до зниження тяжкості наслідків (всіх вивели з небезпечної зони). Отже, ризик повинен бути менше. Наведена модель враховує це. Саме такий підхід реалізується в методі FMEA [10]. У цьому методі по кожній з трьох складових ризику введені експертні шкали з рівнями експертної оцінки від 1 до 10 (найвища ймовірність - 10, найважчі наслідки - 10, повна відсутність можливості виявлення події - 10). При цьому загальний показник ризику змінюється від 1 до 1000, а значним вважається ризик в 125 і більше одиниць.

У сфері інформаційної безпеки (ISO 27005) широке застосування знайшла наступна трифакторна модель:

Ризик = Загроза \* Уразливість \* Тяжкість наслідків ( $R = Q * G * Z$ ).

У цій моделі використовується такі додаткові поняття: Загроза ( $C >$ ) - Можливі причини появи небезпечних подій, які можуть призвести до негативних наслідків для організації.

Уразливість ( $v$ ) - Оцінка схильності небезпеки. Це залежить, наприклад, від захищеності об'єкта, на який може подіяти небезпека, від можливості контролю і як наслідок - попередження дії небезпеки тощо.

Неважко помітити, що всі трифакторної моделі легко зводяться до двофакторної, тому що два фактора (за винятком присутнього в кожній моделі як фактора тяжкості наслідків) по суті визначають ймовірність настання негативного (небезпечного) події. Очевидно, що частота появи небезпеки (наприклад, кількість небезпечних одиниць обладнання) однозначно впливає на загальну ймовірність її появи. Точно також і твір «Загрози» на «Уразливість» також визначає ймовірність прояву небезпеки. І твір «ймовірності» виникнення небезпечної події на «можливість виявлення події» також визначає реальну ймовірність настання події. Хоча при управлінні ризиками в разі виділення кількох складових ймовірності появи небезпеки можна чіткіше визначити фактор, який потрібно міняти для зниження ризику. В даному випадку, замість «зниження ймовірності» (як в двофакторної моделі) можна знижувати ймовірність появи загрози, або знижувати вразливість, тобто виходить більше можливостей для «напрямки впливу» з метою зниження ризику.

Тому трифакторної моделі тільки вводять «розкладання» ймовірності на складові не вносячи принципів нововведень. Для всіх додаткових чинників, до речі, потрібно вводити відповідні шкали, що в деякому сенсі ускладнює розрахунок ризиків. Хоча при управлінні ризиками можна чіткіше визначити «напрямок впливу» на ризик.

#### П'ятифакторна модель ризику.

$$R = \frac{S_1 * S_2}{S_3} * p * Z$$

Існує пятифакторная модель ризику, де [76]:

Тут введені додаткові чинники:

$S_1$  - небезпека (інтенсивність небезпеки); ця характеристика «сили» небезпеки.

$S_2$  - схильність небезпеки; ця характеристика оцінює впливу небезпеки на конкретний об'єкт.

$S_3$  - опірність небезпеки; ця характеристика оцінює здатність чинити опір прояву небезпеки.

Однак всі ці складові ризику також як і в разі трехфакторной моделей, можна врахувати побічно через ймовірність появи небезпеки. Величини  $S$  оцінюються експертом по узгодженій шкалою. Наприклад, від 1 до 5.

$Z$  - величина втрат, вони можуть бути виражені в грошовому еквіваленті,

$p$  - ймовірність появи небезпеки, може оцінюватися по будь узгодженій шкалою

Останні два чинники повністю збігаються з аналогічними в попередніх моделях.

### Багатофакторні моделі ризику

У загальному випадку можна записати:

$$R = \prod_{i=1}^n r_i$$

- де  $r_i$  - певний фактор, оцінюваний за прийнятною узгодженою шкалою.
- Наприклад:
- Розмір збитку,
- Час перебування співробітників в небезпечній зоні (для кумулятивної небезпеки),
- Можливість виявлення причин небезпеки,
- Імовірність виникнення небезпеки,
- Можливість запобігання небезпеки на тій чи іншій стадії її розвитку,
- Область поширення небезпеки.

У загальному випадку введення багатофакторних моделей розрахунку ризику дозволяє більш точно знаходити способи зниження ризиків.

В цілому все математичні моделі обчислення ризиків по суті наводяться до представленого в міжнародному керівництві двофакторної моделі, в якій складовими є ймовірність появи небезпеки і тяжкість її наслідків.

Для використання таких моделей необхідно сформувати шкали і методи оцінок цих характеристик.

## 1.5. Принципи та стратегії забезпечення гарантованого рівня безпеки польотів

Інформаційні технології, будучи одним з дієвих інструментів, можуть створити додаткові дефіцити безпеки, які повинні бути своєчасно виявлені і врівноважені. Схожість природи появи ризиків для різних критичних об'єктів обумовлює актуальність створення методології забезпечення і підтримки гарантованого РБП.

Авіаційна діяльність як складна поліергатична система має наступні напрямки які наведено в таблиці 1.15. :

*Таблиця 1.15. Опис авіаційної діяльності*

Функціональний напрям	ділиться за якісними властивостями взаємодії з іншими інфраструктурами на: пасивне функціонування, результатом якого є підготовка матеріального, енергетичного або інформаційного матеріалу для інших систем; обслуговування систем більш високого ієрархічного рівня; протистояння в середовищі, що містить інші системи з протилежними інтересами і цільовими установками; існування, суттю якого є цілеспрямована діяльність, пов'язана з поглинанням інших систем; існування, спрямоване на перетворення інших систем.
Морфологічний напрям.	містить ієрархічний опис структури системи, при цьому глибина опису є параметром. На нижньому рівні ієрархії описуються елементи, які морфологічним описом не охоплюються. В свою чергу, елементний рівень опису деталізує структурні властивості використовуваних в інфраструктурах мінімальних структурних одиниць.
Інформаційний напрям	опису містить опис способів подання, зберігання, обміну та обробки інформації, форматів використовуваних даних, використовуваних інформаційних технологій.
Композиційне напрям.	визначає спосіб об'єднання елементів в системи інфраструктури

Реалізація забезпечення гарантованого результату полягає в реалізації процесів управління таким чином, щоб не допустити перехід інфраструктури або її систем в потенційно небезпечний стан і полягає в блокуванні (виключенні) відповідного технічного об'єкта в разі загрози переходу або при переході в небезпечне (аварійне) становище і мінімізація наслідків такого переходу.

При розгляді аспектів безпеки прийнятий постулат, що абсолютної безпеки не існує - після прийняття захисних заходів деякий залишковий ризик завжди залишається. Ризик це поєднання ймовірності події та її наслідків. Необхідно відзначити, що даний термін використовують лише в тому випадку, коли існує можливість настання негативних наслідків[138-142]. Нами розглядається ризик як міра ймовірності заподіяння шкоди безпечному функціонуванню системи і навколишнього середовища, а також тяжкості цієї шкоди. «Збиток» визначається як фізичне пошкодження або нанесення шкоди, пов'язаної з погіршенням стану здоров'я або життєвих функцій людини, який зменшує його здатності до нормального повноцінного функціонування з точки зору його фізіології. Збиток може бути завдано як прямо, так і опосередковано і якісно класифікується за рівнями як катастрофічний, критичний, граничний, незначний. Найбільш доцільним для проведення оцінювання збитку є використання методології забезпечення гарантованого результату. У загальному

випадку функціонування безпеки АД досягається за рахунок зменшення ризику до допустимого рівня.

Авіаційна діяльність демонструє фізичні та суспільні процеси, в яких інтереси учасників не посягають антагоністичний характер, хоча аж ніяк і не завжди збігаються. Вивчення таких процесів в основному необхідно для вироблення їх учасниками способів ПР по вибору тих чи інших параметрів процесів, які знаходяться в їх розпорядженні[143,144,146].

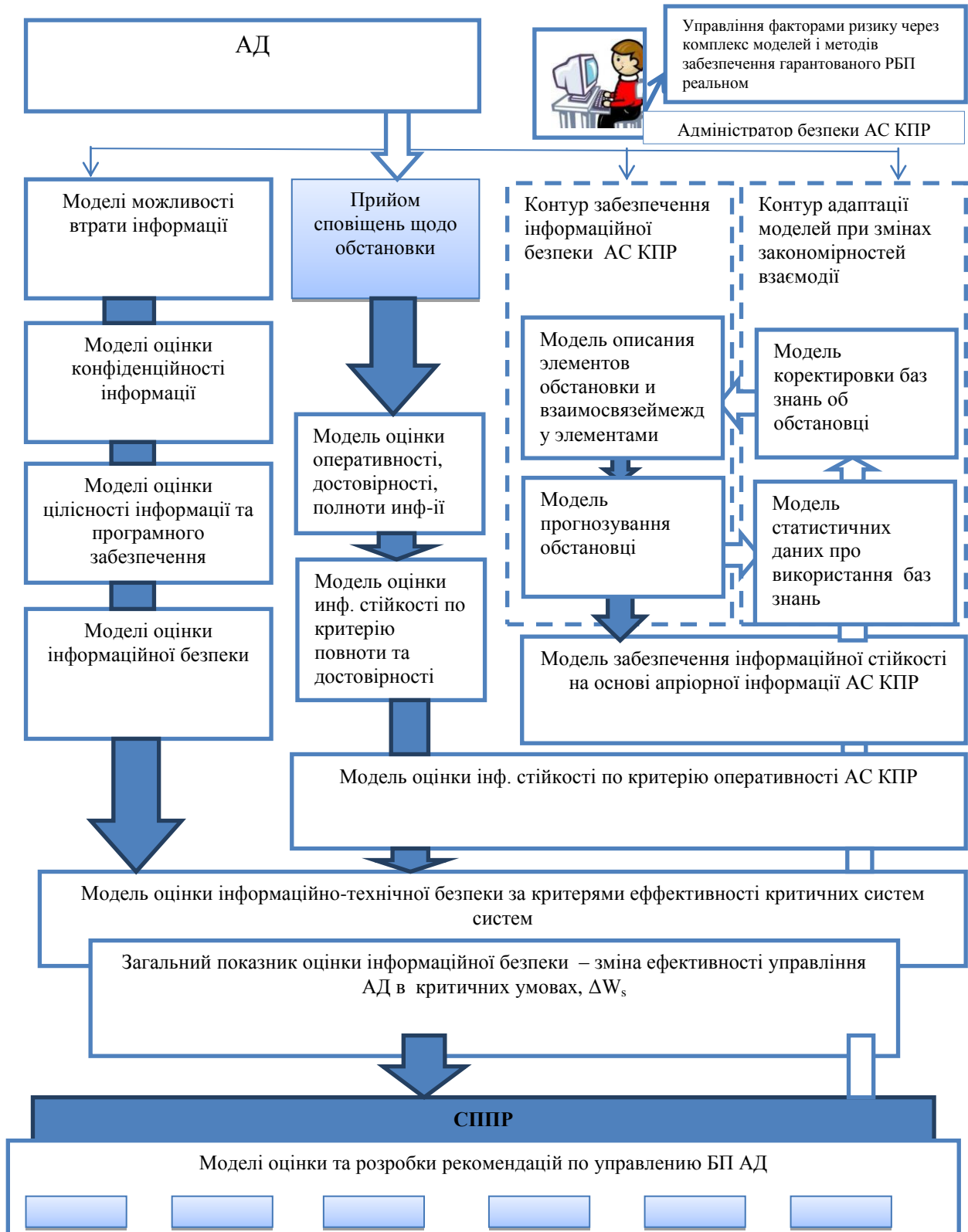


Рис. 1.28 Комплекс моделей забезпечення гарантованого РБП при АД

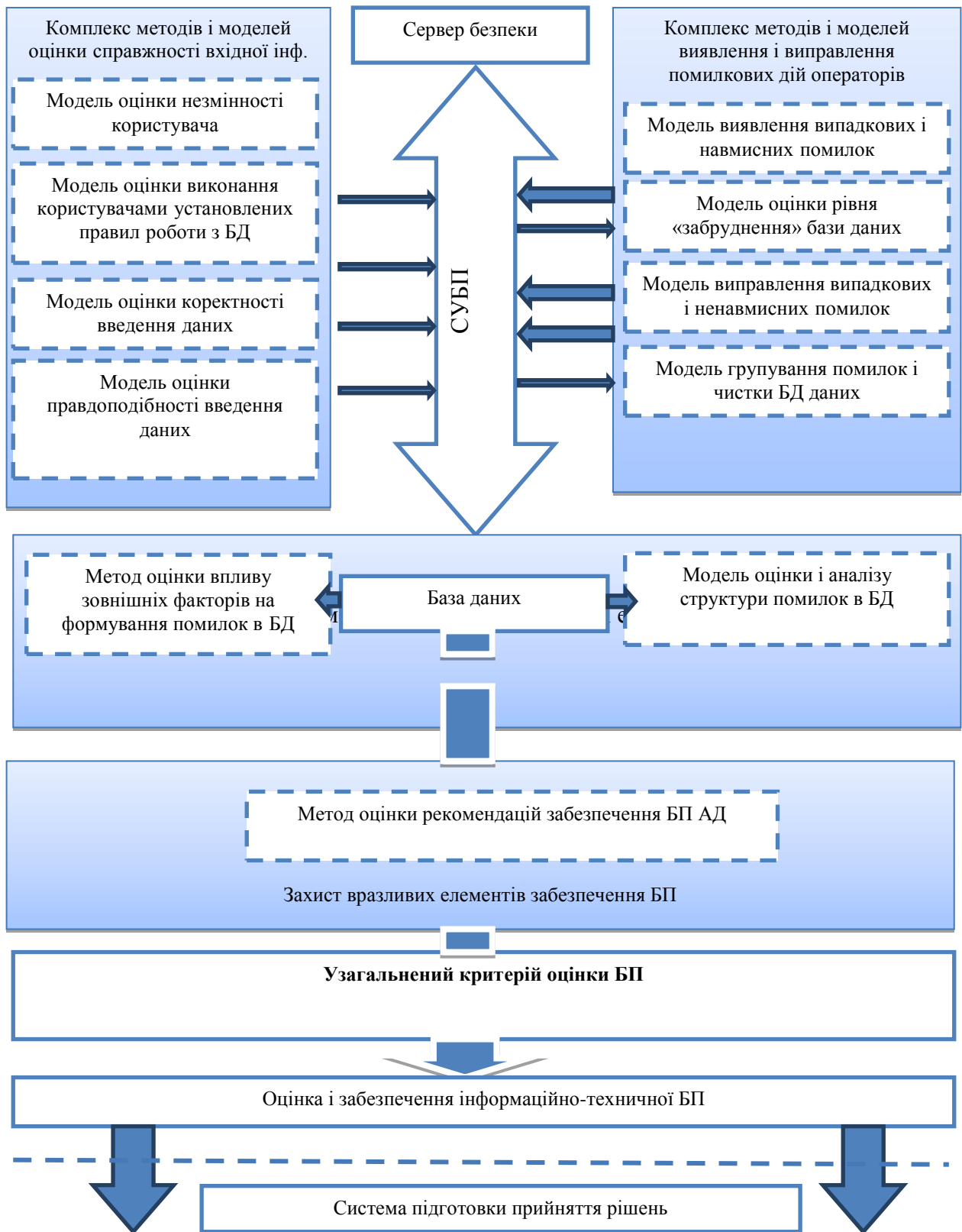


Рис. 1.29 Комплекс методів і моделей забезпечуючи СППР

Якщо  $i$ -й оператор вибрав значення параметра рівним  $X_i = X_i^0$ , то його дії формально можуть бути описані як прагнення до максимізації функції  $f_i = -|x_i - x_i^0|$ . Тому будь-яке ПР  $i$ -м оператором процесу може трактуватися (хоча б апостеріорі) як цілеспрямоване, спрямоване до збільшення значення деякої величини  $w_i$  (критерію

ефективності), що залежить в загальному випадку від виборів всіх  $n$  операторів процесу, тобто

$$w_i = f_i(x_1, \dots, x_n), i = 1, \dots, n. \quad (1.15.)$$

Описаний таким чином процес, який переслідуює різні інтереси і обмеженими в свободі вибору  $x_i \in X_i$ . Діяльність, що розглядається тільки з позицій одного з учасників (або з позицій всіх тих, у кого критерії  $f_i$ , збігаються), доцільно називать операцією цього «учасника», а його самого - оперуючою стороною [7]. Таке виділення підкреслює один з  $n$  суб'єктивних підходів до об'єктивно існуючої діяльності; у багатьох випадках цей суб'єктивізм просто неминучий і добре відображає реальний стан справ.

Нехай в операції присутні  $n$  операторів, кожен з яких прагне збільшувати свій критерій ефективності  $w_i(x_1, \dots, x_n), i = 1, \dots, n$ . здійснюючи вибір вектора  $x_i$  з деякої безлічі  $X_i$

Відзначимо найпростіші види зв'язку між цими критеріями.

1) Збіг інтересів, коли тотожно

$$w_i = \varphi_i(w), \quad (1.16)$$

де  $\varphi_i(t)$  монотонно зростаючі функції, а  $w$  - величина, однакова для всіх учасників.

2) Протилежність інтересів, коли  $n = 2i$

$$w_2 = \varphi(-w_1). \quad (1.17.)$$

де  $\varphi(t)$  - також монотонно зростаюча функція.

Антагонізм відповідає випадку  $w_2 = c - w_1$ .

3) Ситуація повної незалежності критеріїв коли [6]

$$w_i = f_i(x_i), x_i \in X_i \quad (1.18.)$$

У загальному випадку зв'язку між інтересами учасників, не вичерпуються зазначеними найпростішими ситуаціями.

Відзначимо ряд позицій, на основі яких базуються основні постулати методології забезпечення гарантованого результату.

1. Взаємодія з зовнішнім середовищем.

Взаємодія з зовнішнім середовищем є процес, в якому оперуюча сторона, прагне до збільшення критерію

$$w_i = f_i(x, y), \quad (1.19)$$

де  $y$  — чинники, які обрані ним і описують деякі об'єктивні явища, що впливають на величину  $w$ . Зазвичай фактори зовнішнього середовища невідомі або неіснуючі, а при виборі вектору  $x$  в розрахунку на найгірший випадок приймаються антагоністичними по відношенню до інших критеріїв. Однак більш правильним моделюванням поведінки середовища є її опис за допомогою критерію «байдужості»:

$$w_N = f_N(x, y) = const. \quad (1.20.)$$

У багатьох випадках критерії зовнішнього середовища можуть вважатися реально існуючими, відомими, чи не протилежними критеріями оперуючої сторони і не описує (3). Саме, розумно вважати, що «критерії зовнішнього середовища» полягають у виконанні тих чи інших фізичних законів. Якщо ці закони дані в варіаційном вигляді то опис зовнішнього середовища з цілком певними критеріями безпосередньо дано. Якщо ж закони зовнішнього середовища має вигляд рівності  $\varphi(x, y) = 0$ , визначального величину  $y$  при будь-яких заданих  $x$ , то введення критерію ефективності для зовнішнього середовища  $w_N = \varphi^2(x, y)$ , очевидно, цілком замінює цей закон, якщо додатково припустити, що обирається що оперує стороною значення  $x$



обов'язково стає відомим оператору. Саме, в цьому випадку прагнення до збільшення  $w_N$  та приведе до умови  $\varphi(x, y) = 0$ . Типовим прикладом такого підходу є уявлення дискретної задачі оптимального управління  $\varphi(x, y) = 0, \max f(x_1, \dots, x^2)$  та веде до взаємодії з критеріями:

$$w_i(x_1, \dots, x_n), i = 1, \dots, n., w_N = -\sum_{i=1}^{n-1} [x^{i+1} - \varphi^i(x_1, \dots, x^i, u^i)]^2. \quad (1.21.)$$

причому оператор відповідає  $u = (u^1, \dots, u^{n-1})$ , зовнішнє середовище буде відповідати  $x = (x^1, \dots, x^n)$ .

Аналогічно, наявність обмежень  $\varphi(x, y) \geq 0$ , неоднозначно описуючого вибір  $y$ , легко моделюється критерієм ефективності зовнішнього середовища:

$$w_N = -\{\min[\psi(x, y) \geq 0]. \quad (1.22)$$

Введення критерію ефективності типу (4) визначає зняття зв'язків між  $x$  і  $y$  і має супроводжуватися обов'язковим дією оператора за критерієм  $x$ .

Однак не завжди критерії зовнішнього середовища слід вважати антагоністичними критеріями оперуючої сторони; їх можна описати, зокрема, зазначеними способами.

1. Антагоністичні взаємодії з особливими ситуаціями.

Розглянемо взаємодію з критеріями

$$w_1 = f_i(x_1, x_2), w_2 = -f_i(x_1, x_2), \quad (1.23)$$

при наявності загальних обмежень  $\varphi(x_1, x_2) \geq 0$  або  $(x_1, x_2) \in P$ . Ця взаємодія за допомогою природних обмежень формально можна привести до взаємодії з протилежними критеріями.

$$w_1^* = \begin{cases} f(x_1, x_2), (x_1, x_2) \in P, \\ -\infty, (x_1, x_2) \notin P \end{cases}, \quad w_2^* = \begin{cases} -f(x_1, x_2), (x_1, x_2) \in P, \\ -\infty, (x_1, x_2) \notin P \end{cases} \quad (1.24)$$

1. Завдання визначення небезпечних факторів [1,2]. Досить типовим прикладом антагоністичної взаємодії є:

$$\sum_{j=1}^k X^i - a, \sum_{j=1}^k y^j = b, w_1 = \sum_{j=1}^k \lambda^j \max[x^i - p^j y^j; 0] = -w_2 \quad (1.25)$$

І якщо цей вислів показує наявність факторів небезпеки, то для захисту критерій ефективності може бути рівним:

$$w_2 = -\sum_{j=1}^k \mu^j \max[x^i - p^j y^j; 0] = -w_2, \text{ приче } \mu^j \neq \lambda^j \quad (1.26)$$

2. Конкурентне взаємодія виглядає наступним чином [6, 8]:

$$w_1 = \begin{cases} (p-a)x, p < q \\ \min[C - px, qy] - ax, p \geq q \end{cases} \quad (1.27)$$

$$w_2 = \begin{cases} (q-a)y, q < p \\ \min[C - px, qy] - ay, q \geq p \end{cases} \quad (1.28)$$

Тут  $a$  і  $y$  - обсяги продукції, що випускається конкурентами, а  $p$  і  $y$  - призначаються їм ціни,  $C$  - загальна кількість грошей у покупців,  $a$  - собівартість продукції. Встановлено максимально можливий обсяг продукції обох сторін. Дана взаємодія легко узагальнюється на будь-яке число експлуатантів. Нехай економічний

потенціал двох експлуатантів виражається функціями  $r_i(x_i, t), i=1,2$ , де  $t$  - момент часу, в який експлуатант цікавиться потенціалом, а  $xt$  - способи використання ресурсів (т. е. сировини, робочої сили і т. д.). Тоді досить природно виразити інтереси конкуруючих операторів у вигляді:

$$w_1 = \varphi_1[r_1(x_1, t_1) - r_2(x_2, t_1)], \quad w_2 = \varphi_2[r_2(x_2, t_2) - r_1(x_1, t_2)], \quad (1.29)$$

де  $\varphi_1(u), \varphi_2(u)$  — монотонно зростаючі функції. Очевидно, що при  $t_1 = t_2$  інтереси операторів в (7) протилежні. Однак вони перестають бути такими, якщо  $t_1 \neq t_2$

1. Непротівоположність взаємодії як наслідок застосування принципу гарантованого результату. Нехай  $w_1 = f_i(x_1, x_2, y) = -w_2$ , (8) причому або у природний невизначений фактор так що по 1.3  $w_N \equiv C$ , або у вибирається третьою стороною, Тоді для кожного з них прідержівається прінцип гарантованого результату по відношенню до  $y$ , т. е. замінити свої критерії на

$$w_1^* = \min_y f_i(x_1, x_2, y), \quad w_2^* = \min_y \{-f(x_1, x_2, y)\} = -\max_y f(x_1, x_2, y) \quad (1.30)$$

Непротилежними інтересів гравців після цього безпосередньо видно з (1.31) і особепно яскраво проявляється на прикладі  $f(x_1, x_2, y) = (x_1 - x_2)y$ , прицьому  $|y| \leq 1$ . Тут  $w_1^* = |x_1 - x_2| = w_2^*$  тобто критерії першого і другого операторів з антагоністичних стають однаковими. Застосування операторами в ситуації  $w_1 = f_i(x_1, x_2) = -w_2$  таким чином прінцип гарантованого результату є перехід до

$$w_1^* = \min_{x_2} f_i(x_1, x_2) = \varphi(x_1), \quad w_2^* = \min_{x_2} \{-f(x_1, x_2)\} = \psi(x_2) \quad (1.32)$$

4. Ієраіхіческіє системи [8] Так як ДАСУ є регулятором АД, то експлуатанти не залежать один від одного, а тільки від центру і вибирають відповідно вектори  $X_i$  виражають їх технологічну і асортиментну політику. Фактори, які обираються ДАСУ, позначимо вектором  $u = \{u_1, \dots, u_n\} \in U$ , де  $U_i$  є вплив центру па і-го виробника (виділення ресурсу, встановлення цін на продукцію, штрафи і заохочення і т. д.).

Якщо в достатній відповідно до реальністю вважати, що ДАСУ нічого не виробляє, але цікавиться якимось сукупним результатом виробництва, а виробники цікавляться лише своїм результатом, то можна висловити критерій ефективності для ДАСУ у вигляді

$$w_0 = f_0(x_1, \dots, x_n), u \in U, \quad (1.33)$$

и для експлуатантів

$$w_i = f_i(x_i, \dots, x_i), i=1, \dots, n, x \in X \quad (1.34)$$

Істотною властивістю моделі ієраіхії (9) - (10) є те, що критерій ДАСУ не залежить від власних стратегій; ця обставина, робить нераціональним використання ситуацій рівноваги в цьому завданні.

Найважливіша особливість ієраіхічних систем полягає в тому, що перший хід робить ДАСУ та регулює за діями експлуатантів та має інформацію про  $x_i$ .

Векторний критерій оптимізації. У багатьох задачах ПР присутня одна оперуюча сторона, що вибирає вектор  $x$  з множини  $X$  і цікавиться цілим набором критеріїв (що може бути наслідком просто його нерішучості)

$$w_s = f_s(x), s=1, \dots, S. \quad (1.35)$$

При цьому оператору хотілося б збільшити значення всіх  $w_s$  що, як правило,

неможливо. Завдання (1.32), часто звана завданням векторної оптимізації, легко зводиться до простого взаємодії, але з накладеними загальними обмеженнями.

Як і в випадку (1.32), тут виникають питання знаходження компромісів між складовими векторного критерію; в даній моделі це компроміс між колективною складовою і індивідуальною для кожного оператр.

*Модель раціонального вибору стратегій.* Нехай існує  $n$  експертів, які прагнуть підвищити критерій ефективності

$$\omega_i(x_1 \dots x_n) i = 1, \dots, n \quad (1.36)$$

здійснює вибір вектору  $x_i$  з множини  $X_i$ .

1. Співпадання інтересів

$$\omega_i = \varphi_i(\omega), \quad (1.37)$$

где  $\varphi_i(t)$  монотонно ростуча функція, а  $\omega = const$ .

2. Протилежність інтересів,

$$n=2, \omega_i = \varphi_i(-\omega_1) \quad (1.38)$$

де  $\varphi_i(t)$  монотонно ростуча функція.

3. Ситуація с незалежними інтересами

$$\omega_i = \varphi_i(\omega), x_i \in X_i. \quad (1.39)$$

Діяльність задання критеріїв ефективності

$$\omega_i = F_i(x_1 \dots x_n, \beta_i), \quad (1.40)$$

$i = 1, \dots, n$ ,  $\beta_i = B_i$  - невизначеність. Вектор контролюємих факторів

$X = x_1 \dots x_n$ , то  $i$ -й експерт налягає обмеження  $x_i \in P_i$  наприклад  $\varphi_i(t) \geq 0$  та з умовою цього вибрати  $X_i$ .

При веденні обмежень і відповідних розривних критеріїв ефективності (1) і (2) замінюється діяльністю без обмежень  $P_i$ ;  $\omega_i = f_i(x_i, \beta_i) = -\infty$  - будь які значення

$$R_i = \inf_{x \in P_i, \beta_i \in B_i} F_i(x_i, \beta_i) \quad (1.41)$$

Можливість розширення стратегій перетворюючи (3), передану інформацію від  $i \neq j$  через  $Z_{ij}$   $\omega_i = f_i - \sum_{j=1}^n Z_{ij} + \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} z_{ij}$  коефіцієнт ефективності  $\lambda_{ij}$  визначає цінність для  $i$ -го експерта одиниці інформації передаються  $j$ -м оператором,  $\lambda_{ij} = 1$  при  $i \leq m$

$$Z_i = \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} Z_{ij} - \sum_{j=1}^n Z_{ij} \quad U_i = \sum_{j=m+1}^n \lambda_{ij} Z_{ij}, \text{ а при } i < m$$

$$t_i = \sum_{j=m+1}^n \lambda_{ij} Z_{ij} - \sum_{j=1}^n X_{ij}; \gamma_i = \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} Z_{ij} \quad (1.42)$$

Тоді,

$$\omega_i = f_i(x, \beta) + Z_i + u_i; i = 1 \dots m \quad (1.43)$$

$$\omega_i = f_i(x\beta) + t_i + \gamma_i; i = 1 \dots m + 1 \dots n \quad (1.44)$$

Оцінка величини ризику визначається на основі розрахунку двох показників: можливість виникнення ризику і величина збитку. При розрахунку величини збитку доцільно використовувати нечітко-логічний підхід, що відрізняється також урахуванням самостійних чинників шкоди. Для оцінки величчї шкоди від настання ризиків розроблена нечітко-продукційна модель яка заповнюється елементами, і з доступної бази знань на основі експертного заключення. Для зменшення надмірності елементи на кожному рівні доцільно групувати за схожими ознаками або ранжувати за ступенем значущості.

Прямі методи побудови функцій приналежності припускають, що експерт самостійно визначає правила завдання значень функції приналежності  $\mu_A(X)$ , описує мий елемент  $x$ .

Ці значення вибираються їм на безлічі елементів  $X$  відповідно до наступних правил.

1. Для  $\forall x_1, x_2 \in X$  співвідношення їх функцій належності визначається нерівнянням  $\mu_A(x_1) < \mu_A(x_2)$  коли  $x_2$  більш належно, чим  $x_1$ , т.е. в більшій ступеню описує мий властивістю  $A$ .

2. Для  $\forall x_1, x_2 \in X$  відношення функцій належності визначається рівнянням  $\mu_A(x_1) = \mu_A(x_2)$  та  $x_2$  однакові відносно властивостей  $A$ .

Традиційно, прямі методи визначення функцій належності застосовуються для кількісно вимірюваних змінних або у випадках, коли можна виділити протилежні значення. Підклас прямих методів - прямі групові методи, які передбачають, що певний об'єкт пред'являють деякої експертної групи, і кожен з експертів повинен визначити чи належить даний об'єкт заданій множині. У цьому випадку кількість позитивних відповідей, поділене на кількість експертів, визначає значення функції приналежності об'єкта до заданого нечіткій множині.

До прямих методів належать також завдання функції приналежності графічно, а також у вигляді таблиці, формули.

Непрямі методи визначення функції приналежності об'єкта застосовуються у випадках відсутності вимірних властивостей, що визначають нечіткі множини і є більш складно реалізованими на практиці, але їх перевага полягає в стійкості щодо спотворень [4].

У непрямих методах функції приналежності повинні відповідати заздалегідь заданим умовам, які можуть визначати вид одержуваної інформації та процедури її перетворення. До числа непрямих методів відносяться статистичний метод, парних порівнянь, експертних оцінок і інші [8].

В основі методу статистичних даних лежить обробка статистики. Ступень приналежності об'єкта нечіткій множині визначається як оцінна величина частоти використання лінгвістичного терміна, що описує нечітка множина, для характеристики даного об'єкта. При цьому використання спеціалізованих матриць підказок дозволяє отримати гладкі функції приналежності.

Функція належності  $\mu_S(X)$  ставить у відповідність кожному елементу

$x \in X$  число з інтервалу  $[0, 1]$ , характеризує ступінь приналежності елемента  $X$  безлічі  $A$ . Сприймаючи інформацію, експерт не користується конкретними цифрами, а перетворює їх в термінологічні поняття - значення конкретної лінгвістичної змінної, яка описується функцією приналежності, індивідуальної для кожного з експертів.

Нехай аналізуючи стан об'єкта протягом певного проміжку часу,  $n$  раз акцентується увага на тому, чи відбувся факт  $A$ . Подія, в  $n$  перевірках присутності

факту А, є оціночною. Припустимо, факт А мав місце в до перевірок. Експерт визначає частоту  $p = k/p$  факту А і описує її з використанням слів «часто», «рідко» та інших.

Оцінюючи частоту  $p$ , експерт враховує свій досвід, який визначає частоту виникнення факту А в подіях минулого, здаються йому схожими розглянутого події. До нього надходить також інформація, заснована на сторонніх спостереженнях появи факту А, тобто інформація, що відображає суспільні знання. Залежно від рівня довіри до джерела інформації вона запам'ятовується з різними вагами.

Значення лінгвістичної змінної визначаються на шкалі  $[0, 1]$ . Тоді приналежність конкретного значення нечіткій множині розраховується як відношення кількості експериментів, в яких воно зустрічалось в заданому інтервалі шкали, до максимального для даного значення кількості експериментів по всіх можливих інтервалах. Статистичний метод ґрунтується на виконанні умови, що в кожному інтервалі використовуваної шкали виявляється рівну кількість експериментів. Дана умова не завжди дотримується. На практиці будується емпірична таблиця, в якій досліди можуть бути нерівномірно розподілені по інтервалах.

1. Розглянутий метод дозволяє отримувати достовірні і адекватні оцінки функцій належності при наявності повної статистичної інформації.

2. Метод побудови функцій приналежності на підставі експертних оцінок. Цей метод визначення функцій приналежності полягає в іспользованні нечітких чисел, приблизно рівних чіткому числу, і наближених інтервальних оцінок, що відображають експертні думки з аналізованого питання. Завдання полягає в пошуку параметрів певної експоненційної функції, для вирішення якої застосовуються результати опитування експертів.

3. При побудові функції приналежності з використанням параметричного методу здійснюється побудова модифікованих нечітких термів на основі вже наявних.

4. Описуваний метод отримання функцій приналежності створений на основі припущення, що експерт, описуючи лінгвістичне значення якого-небудь ознаки, з мінімальними витратами може визначити три точки універсальної шкали: А, В, С, дві з яких - точки В і С - ще (або вже) не належать лінгвістичним значенням, А - точка, безумовно яка належить йому.

5. Послідовність побудови функцій приналежності:

6. На прямій  $\mu = 1$  відзначається точка навпроти того значення носія  $x_1$ , який виразно належить даному терму (точки А і D).

7. На прямій  $\mu = 0$  відзначаються точки навпроти найближчих значень, розташованих зліва і праворуч від  $x_1$  на носії (осі X), які безумовно не належать даному терму (точки В, С і E).

8. Зазначені на прямих  $\mu = 1$  і  $\mu = 0$  точки з'єднуються відрізками прямої.

9. Штрихуванням позначається частина носія, що відноситься до збудованого опису.

Метод побудови функцій приналежності з використанням інтервальних оцінок. Цей метод використовується для формалізованого опису завдань вибору, в яких немає межі між допустимим і недопустимим, а також між ідеальним і неідеальним станами.

Вибір конкретного методу побудови функцій приналежності визначається класом розв'язуваної задачі, складністю придбання експертної та статистичної інформації, достовірністю отриманих даних, а також трудомісткістю алгоритмів аналізу і обробки інформації при визначенні функцій приналежності.

Формування продукційної бази знань, яка описує впливу станів вузлів-предків графа на величину вузла-нащадка, заданої у вигляді набору продукційних правил.

3. Отримання підсумкового значення збитку кожного виду інформаційного ризику на підставі побудови ієрархічних систем нечітко-логічного висновку з нечітко заданими входними змінними на основі нечіткої імплікації Ларсена і композиції  $\max$ - $\text{prod}$ .

Нечітко логічний висновок здійснюється з використанням нечіткої імплікації Ларсена за формулою [10]:

$$\mu_R(x, y) = \mu_A(x)\mu_B(y)$$

Як операції згортки використовується операція множення. Таким чином, в основі нечіткого виведення лежить використання max-prod-композиції:

$$\mu_B(y) = \max_{x \in X} \{ \mu_A(x)\mu_R(x, y) \} \quad (1.45)$$

Вибір даного композиційного правила обумовлений простотою реалізації і велику чутливість до змін вхідних змінних в передумовах нечітких продукційних правил [1].

Приведення до чіткості (defuzzification) полягає в перетворенні нечітких значень знайдених вихідних змінних в чіткі. При цьому всі методи отримання чіткого значення вихідної змінної можна розділити на дві групи [7]:

- методи дефаззифікації акумульованої на попередньому етапі (з активізованих висновків всіх правил бази) вихідної змінної;
- методи дефаззифікації вихідної змінної без попереднього акумулювання висновків правил.

До першої групи належать такі методи дефаззифікації [2]:

1. Центр тяжкості. Цей метод дефаззифікації може бути використаний тільки для моделей, заснованих на нечітких лінгвістичних продукційних правилах, в яких консеквента є нечіткими висловлюваннями. Чітке значення у вихідної змінної визначається як центр ваги отриманої функції приналежності  $\mu_B(y)$  та обчислюється за формулою:

$$y' = \frac{\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} y \mu_B(y) dy}{\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \mu_B(y) dy} \quad (1.46)$$

де  $Y_{\min}$  і  $Y_{\max}$  - межі інтервалу носія нечіткої множини вихідний перемінної у.

3. Центр площі. Чітке значення вихідної змінної у' за цим методом визначається з рівняння:

$$\underbrace{\int_{y_{\min}}^y \mu_B(y) dy}_{S_1} = \underbrace{\int_y^{y_{\max}} \mu_B(y) dy}_{S_2} \quad (1.47)$$

4. Максимум функції належності. Чітке значення вихідної змінної розраховується за формулою:

$$y' = \arg_y \sup(\mu_B(y)) \quad (1.48)$$

де  $\mu_B(y)$  - унімодальна функція, форма котрої може бути произвольною.

4.4. Перший максимум, званий також лівим максимумом. Чітке значення у знаходиться як найменше значення, при якому досягається максимум підсумкового нечіткого безлічі:

$$y' = \min \{ y_{\max} : \mu_B(y_{\max}) \} = \max_y \{ y : \mu_B(y) \} \quad (1.49)$$

5. Самий правий максимум. Чітке значення змінної у знаходиться як найбільше значення, при якому досягається максимум підсумкового нечіткого безлічі:

$$y' = \max \{y_{\max} : \mu_B(y_{\max})\} = \max_y \{ \mu_B(y) \} \quad (1.50)$$

Особа яка здійснює ПР, як правило оцінює ситуацію в умовах обмеженої та нечіткої інформації, а процеси реалізації характеризуються невизначеністю, що суттєво впливає на якість рішень, що приймаються. Підвищення достовірності таких рішень може бути досягнуто створенням методології, яка ураховує невизначення. Вірогіднісний підхід базується на статистичній обробці, оцінки яких адекватні в недостатній мірі через недостатньої кількості об'єму вибірки. Відомо, що Мінімакський підхід допускає прийняття рішень на основі найкращих/найгірших інтегральних оцінок, що є недостатньо ефективним, експертні методи важко застосовувати при оперативній оцінці невизначеності та ризиків, крім того достатньо важко об'єднати в одній моделі кількісні та якісні фактори. Застосування апарату нечіткої математики є альтернативою в тих випадках, коли класичні методи не дають адекватного результату, та дозволяють виконувати формалізацію та преобразування нечітких кількісних, якісних понять. Нечіткі моделі [1], мають ряд особливостей щодо можливості урахування досвіду та інтуїції експертів, можливості більш адекватно моделювати процеси управління безпекою польотів та отримувати рішення по точності які співвідносяться з вихідними даними; підтримка швидкої розробки системи УБП з подальшим збільшенням складності її функціональності; більш проста їх апаратна та програмна реалізація в системах управління та ПР в порівнянні з класичними алгоритмами. Системи, які базуються на нечіткої логіці зв'язують динамічні процеси між входом та виходом набором нечітких правил, використовуючи лінгвістичні перемінні, замість ускладнених динамічних моделей. На рисунку.1.28 представлена загальна структура нечіткої моделі моделі прийняття рішення.

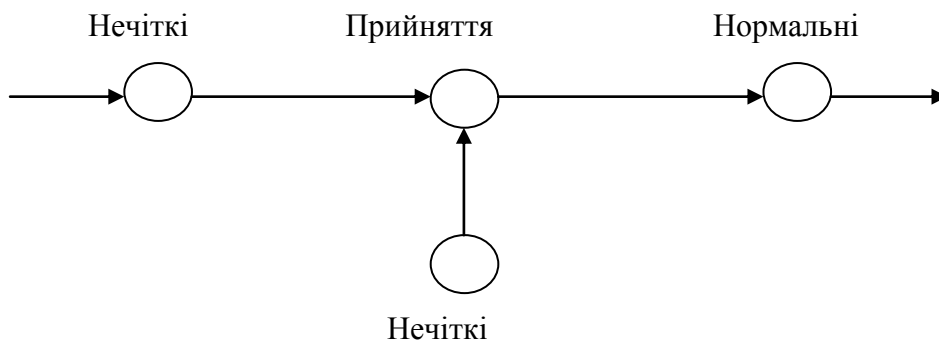


Рис 1.30. Граф нечеткої моделі прийняття рішення

Принцип застосування лінгвістичного підходу при ПР в процесі аналізу та УБП проводиться термінами «низький ризик», «допустимий ризик» та «високий ризик», однак, особі яка здійснює ПР складно надати їх об'єктивну оцінку та описати за допомогою математичної мови. Застосування методів, моделей нечіткої логіки для отримання оцінок ризику дозволить реалізувати комплексний облік різноманітних факторів, також є можливість побудови моделей предметних областей, які характеризуються невизначеністю, використовує нечіткі числа, множини та лінгвістичні змінні [2]. Автоматизація процесів ідентифікації, якісного та кількісного аналізу ризиків через СППР УБП значно підвищує ефективність роботи особи, яка здійснює ПР. На рисунку 1.292 приведено функційні вимоги «еталонної» моделі СППР УР, котра інтегрує облік якісних та кількісних факторів при оцінці ризиків [5].

Розробка якісної СППР залежить від архітектурних рішень, прийнятих в процесі її проектування [3,4,5,6]. На рисунку 1.30 наведена загальна схема архітектури СППР. Особа, яка здійснює ПР, в процесі аналізу ризиків, задіє варіант використання «Формування моделі аналізу», який включає варіант використання

«Введення чинників ризику» і «Формування бази правил». Далі посилає повідомлення, яке активізує варіант використання «Завдання мети аналізу».

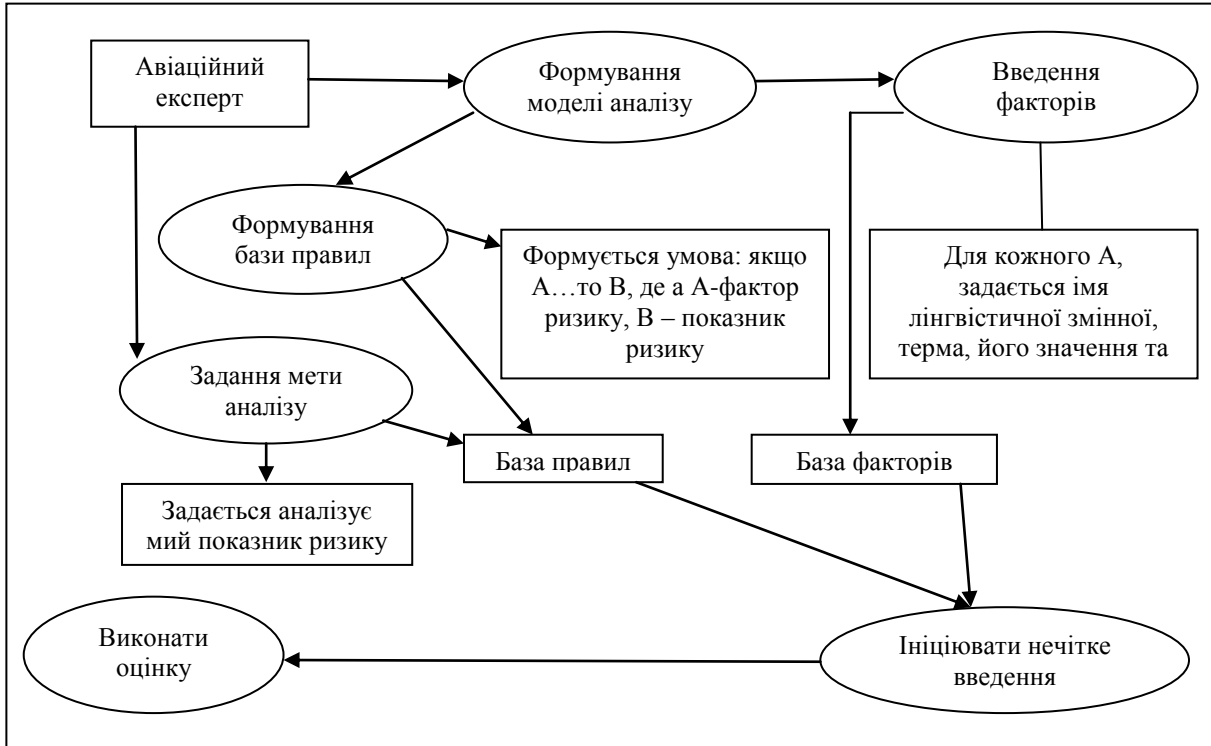


Рис 1.31. Функційні вимоги «еталонної» моделі СППР

Обрана мета аналізу вказує які входні фактори ризику і базу правил необхідно заповнити менеджеру для реалізації нечіткого моделювання. Робоча область, що складається з баз правил і баз фактів, визначає чи можливо виконання варіанта використання «Ініціювати нечіткий висновок», який обчислює функцію належності вихідної лінгвістичної змінної, яка характеризує показник ризику. На фінальному етапі особа, яка здійснює ПР, активізує  $V_1$  «Виконати оцінку ризику», який в свою чергу задіє варіант використання «Ініціювати нечіткий висновок».

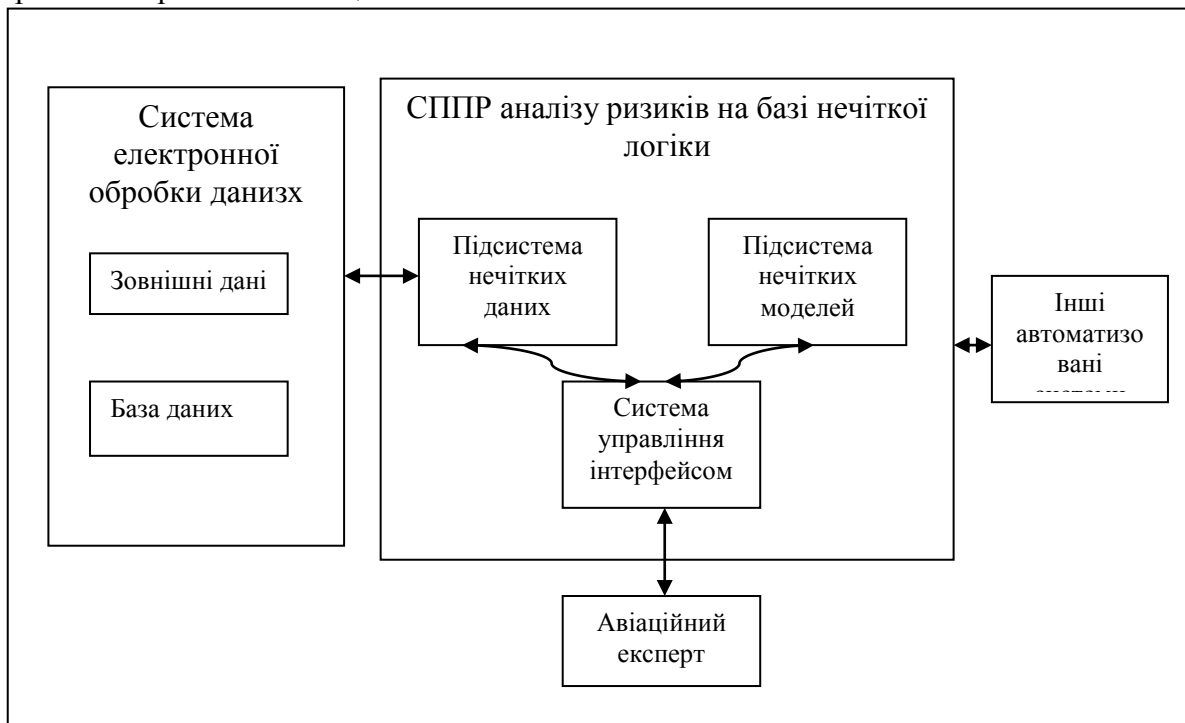


Рис 1.32. Загальна схема архітектури СППР



Система управління інтерфейсом забезпечує просте взаємодія між користувачем, підсистемою даних і підсистемою моделей, а також забезпечує проведення аналізу та моделювання проблеми для допомоги в прийнятті управлінських рішень [7].

Застосування зазначеного методу в задачах вибору СППР УР дозволить: виділити основні функції інформаційних систем; визначити групи подібних систем; ранжувати системи за функціональною повнотою; визначити системи, що перевершують інші; зіставити порівнювані системи до вимог вимогам «еталонної» моделі СППР[147-150].

## 2. ДЕФІНІЦІЯ БАЗОВИХ КОНЦЕПЦІЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАРАНТОВАНОГО РІВНЯ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ

### 2.1. Аналіз методів прийняття управлінських рішень. Нейронно мережевий підхід.

Ефективність вибору того або іншого рішення визначається деяким критерієм  $F$ , що допускає кількісне уявлення. У загальному випадку всі фактори, від яких залежить ефективність вибору, можна розбити на групи наведені на рис. 2.1.1.

Критерій оптимальності представимо у вигляді:

$$F = F(X_1, X_2, \dots, X_l, A_1, A_2, \dots, A_p, Y_1, Y_2, \dots, Y_q, Z_1, Z_2, \dots, Z_r, t),$$

де  $X$  – контрольюемі фактори, вибір яких визначається експертами, які приймають рішення;

$A$  – детерміновані неконтролюемі фактори – невідповідні фіксовані величини, значення яких відомі;

$Y$  – стохастичні – випадкові величини і процеси з відомими законами розподілу;

$Z$  – невизначені, для яких відома область, всередині якої знаходиться закон розподілу, їх значення невідомі в момент прийняття рішення.

Неконтролюемі фактори, які характеризують умови, в яких здійснюється вибір на який експерти, які приймають рішення вплинути не можуть. До складу неконтролюемих факторів входить час  $t$ . Значення контрольованих факторів зазвичай обмежені рядом природних причин, наприклад обмеженістю ресурсів –  $g$ , що розташовуються. Математично ці обмеження записуються у наступному вигляді:

$$g_i = g_i(X_1, X_2, \dots, X_l, A_1, A_2, \dots, A_p, Y_1, Y_2, \dots, Y_q, Z_1, Z_2, \dots, Z_r, t) \{ \leq, =, \geq \} b_i, i = \overline{1, m}. \quad (2.1.1)$$

Умови (2.1.1) визначають області  $\Omega_{X_1}, \Omega_{X_2}, \dots, \Omega_{X_l}$ , простору, усередині яких розташовані можливі (допустимі) значення факторів  $X_1, X_2, \dots, X_l$ . Аналогічно можуть бути обмежені й області можливих значень неконтрольованих факторів. Скористаємося класифікацією [8,9,10,17], в основу якої покладено важливі класифікаційні ознаки, які показані на рис 2.1.2.

Аналіз однокритеріальної статичної детермінованої ЗПР. Результат управлінських рішень (УР) залежить від вибраного рішення (стратегії управління) і деяких невідповідних фіксованих факторів, повністю відомих особі, що приймає рішення [9]. Стратегії управління можуть бути представлені у вигляді значень  $n$ -мірного вектора  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , на компоненти якого накладені обмеження, обумовлені рядом природних причин і що мають вигляд:

$$g_i = g_i(A_i, X) \{ \leq, =, \geq \} b_i; i = \overline{1, m}; m \{ <, =, > \} n, \quad (2.1.2)$$

де  $A_i$  – вектор-строка фіксованих невідповідних параметрів, які характеризують властивості об'єктів, що беруть участь в управлінні, і умови його протікання. Умови (2.1.2) визначають область  $\Omega_X$  допустимих значень стратегій  $X$ .

Ефективність прийняття УР характеризується деяким чисельним критерієм оптимальності  $F$ :

$$F = F(X, C), \quad (2.1.3)$$

де  $C$  – масив фіксованих, невідповідних параметрів, які характеризують властивості об'єктів, що беруть участь в управлінні, і умови протікання управління. Перед особою, що приймає рішення, стоїть завдання вибору такого значення  $\overline{O} = (\overline{o}_1, \overline{o}_2, \dots, \overline{o}_i)$  вектора управління  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  з області  $\Omega_X$  його максимально допустимих значень,  $\overline{F}$ :

$$\overline{F} = F(\overline{X}, C) = \max_{X \in \Omega_X} F(X, C), \quad (2.1.4)$$

де область  $\Omega_x$  представляється умовою (2.1.2). У (2.1.4) символи  $\bar{F}$  і  $\bar{X}$  позначають максимально досяжне в умовах (2.1.2) значення критерію оптимальності  $F$  і відповідне йому оптимальне значення вектора управління  $X$ .

Сукупність співвідношень (2.1.2), (2.1.3) і (2.1.4) є загальним видом математичної моделі однокритеріальної статичної детермінованої ЗПР [10].

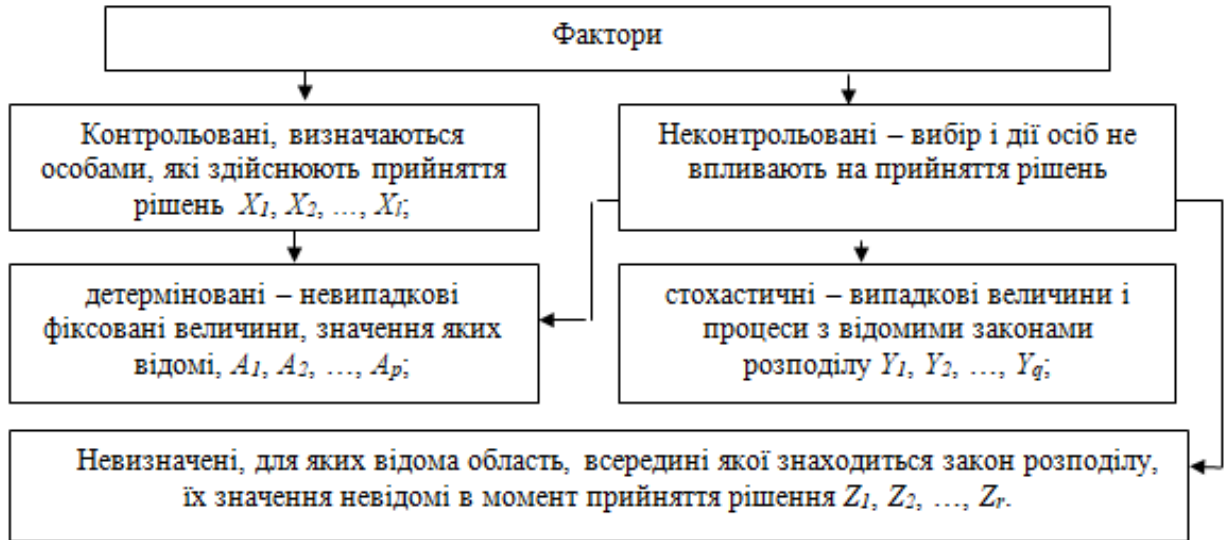


Рис. 2.1.1. Групи факторів від яких залежить прийняття управлінських рішень

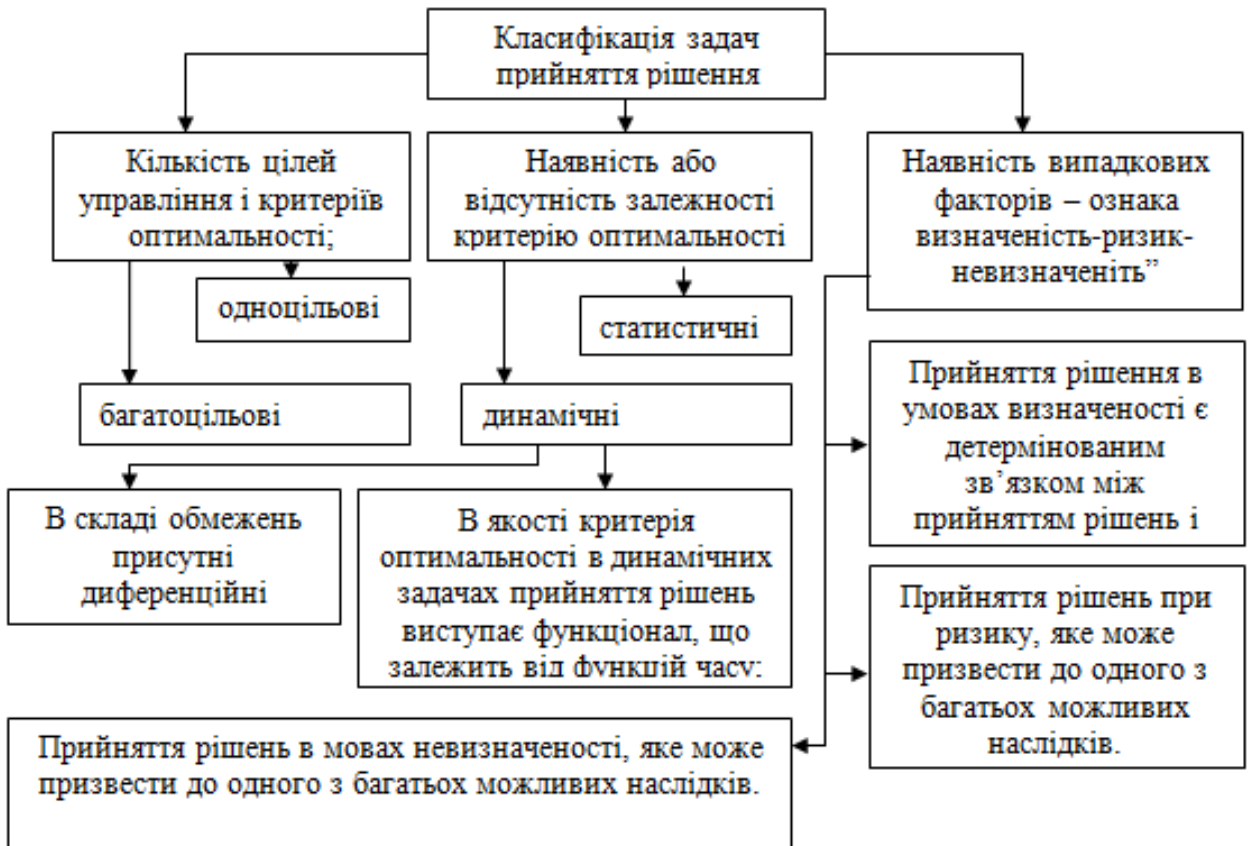


Рис. 2.1.2. Класифікація задач прийняття рішень

*Багатокритеріальні ЗПР.* Вибираємо одне з множини рішень  $X$  з області  $\Omega_x$  їх допустимих значень. Але на відміну від викладеного вище, кожне вибране рішення оцінюється сукупністю критеріїв  $f_1, f_2, \dots, f_k$ , які можуть відрізняються своїми

коефіцієнтами відносної важливості  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$ . Критерії  $f_q, q = \overline{1, k}$ , називають частинними або локальними критеріями, вони утворюють інтегральний або векторний критерій оптимальності  $F = \{f_q\}$ . Коефіцієнти  $\lambda_q, q = \overline{1, k}$ , утворюють вектор важливості  $A = \{\lambda_q\}$ . Кожен локальний критерій характеризує деяку локальну мету прийнятого рішення. Оптимальне рішення повинне задовольняти співвідношенню:

$$\overline{F} = \overline{F(X)} = \operatorname{opt}_{X \in \Omega_X} [F(X), A], \quad (2.1.5)$$

де  $\overline{F}$  - оптимальне значення інтегрального критерію;  $\operatorname{opt}$  - оператор оптимізації, який визначає вибраний принцип оптимізації.

Область допустимих рішень  $\Omega_X$  може бути розбита на дві непересічні частки:  $\Omega_X^c$  - область згоди, в якій якість рішення може бути покращене одночасно по всіх локальних критеріях або без зниження рівня будь-якого з критеріїв;  $\Omega_X^k$  - область компромісів, в якій поліпшення якості рішення по одних локальних критеріях приводить до погіршення якості рішення по інших.

Оптимальне рішення може належати тільки області компромісів, оскільки в області згоди рішення повинно бути поліпшено по відповідних критеріях.

Виділення області компромісу звужує область можливих рішень, але для вибору єдиного варіанту рішення слід розкрити сенс оператора оптимізації ( $\operatorname{opt}$ ) вираження (2.1.5) або, інакше кажучи, вибрати схему компромісу шляхом вибору функції агрегування частинних показань ефективності.

Нейронно-мережевий підхід. Основу кожної нейронної мережі (НМ) складають відносно прості, у більшості випадків — однотипні, елементи (осередки), що імітують роботу нейронів мозоку [60]. Далі під нейроном матиметься на увазі штучний

нейрон, тобто осередок НМ. Кожний нейрон характеризується своїм поточним станом по аналогії з нервовими клітками головного мозоку, які можуть бути збуджені або загальмовані. Він володіє групою синапсів – однонаправлених вхідних зв'язків, сполучених з виходами інших нейронів, а також має аксон – вихідний зв'язок даного нейрона, з яким сигнал (збудження або гальмування) поступає на синапси наступних нейронів. Загальний вид нейрона приведений на рис. 1.5. Кожний синапс характеризується вагою синаптичного зв'язку, яка по фізичному значенню еквівалентна електричній провідності [11,12].

Поточний стан нейрона визначається як зважена сума його входів:

$$S = \sum_{i=1}^n X_i \cdot W_i, \quad (2.1.6)$$

де  $n$  – число входів нейрона;  $S_i$  – значення  $i$ -го входу нейрона;  $W_i$  – вага  $i$ -го синапсу.

Вихід нейрона є функція його стану:  $Y = F(S)$ ,

де  $F$  – активаційна функція, називається, яка має наступний вигляд:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}}. \quad (2.1.7)$$

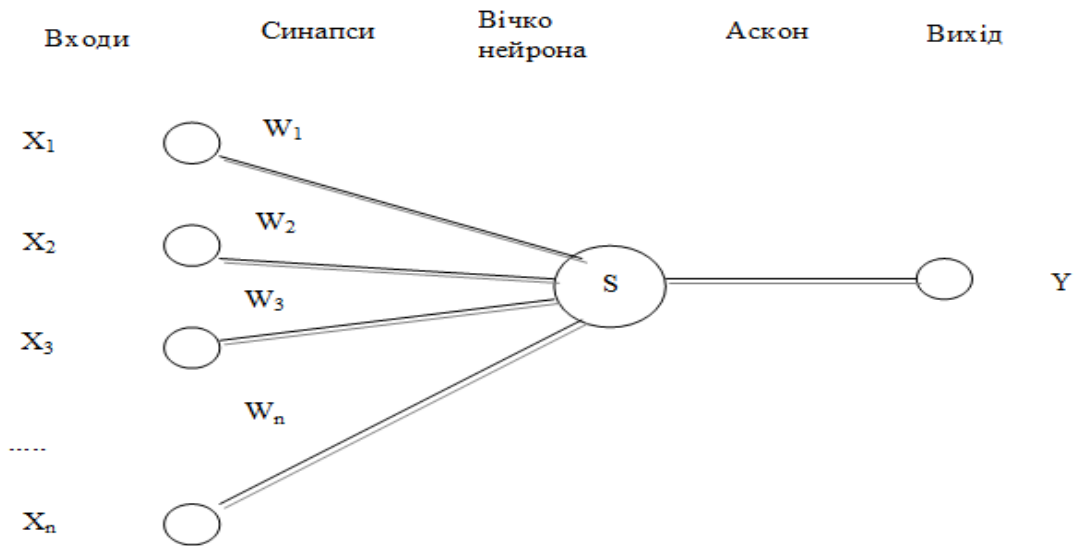


Рис. 2.1.3 Загальна схема нейронної мережі.

Основна перевага (2.1.6) в тому, що вона диференційована на всій осі абсцис і має дуже просту похідну:

$$f'(x) = \alpha f(x)(1 - f(x))$$

У загальному випадку задача навчання НМ зводиться до знаходження якоїсь функціональної залежності  $Y=F(X)$  де  $X$  – вхідний, а  $Y$  – вихідний вектори. В загальному випадку така задача, при обмеженому наборі вхідних даних, має нескінченну множину рішень. Для обмеження простору пошуку при навчанні ставиться задача мінімізації цільової функції помилки НМ, яка знаходиться по методу найменших квадратів [33, 41]:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^p (y_j - d_j)^2$$

де  $y_j$  – значення  $j$ -го виходу нейромережі;  $d_j$  – цільове значення  $j$ -го виходу;  $p$  – число нейронів у вихідному шарі

Навчання НМ проводиться методом градієнтного спуску, т. е. на кожній ітерації зміна ваги проводиться по формулі

$$\Delta w_{ij} = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}, \quad (2.1.8)$$

де  $\eta$  – параметр, що визначає швидкість навчання.

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{dy_j}{dS_j} \cdot \frac{\partial S_j}{\partial w_{ij}}, \quad (2.1.9)$$

де  $y_j$  – значення виходу  $j$ -го нейрона;  $S_j$  – зважена сума вхідних сигналів, визначувана по формулі (2.1.6), при цьому множник:

$$\frac{\partial S_j}{\partial w_{ij}} \equiv x_i$$

де  $x_i$  – значення  $i$ -го входу нейрона.

Далі розглянемо визначення першого множника формули (2.1.8)

$$\frac{\partial E}{\partial y_j} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} \cdot \frac{dy_k}{dS_k} \cdot \frac{\partial S_k}{\partial y_j} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} \cdot \frac{dy_k}{dS_k} \cdot w_{jk}^{(n+1)},$$

де  $\partial$  – число нейронів в шарі  $n+1$ .

За допомогою допоміжної змінної можливо визначити рекурсивну формулу для визначення  $n$ -ного шару, якщо нам відомо наступного  $(n+1)$ -го шару:

$$\delta_j^{(n)} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{dy_j}{dS_j}; \quad \delta_j^{(n)} = \left[ \sum_k \delta_k^{(n+1)} \cdot w_{jk}^{(n+1)} \right] \cdot \frac{dy_j}{dS_j}.$$

Знаходження ж для останнього шару НМ не уявляє труднощі, оскільки нам відомий цільовий вектор, т. е. вектор тих значень, які повинна видавати НМ при даному наборі вхідних значень

$$\delta_j^{(N)} = (y_i^{(N)} - d_i) \cdot \frac{dy_i}{dS_i}.$$

І нарешті запишемо формулу (1.8) в розкритому вигляді

$$\Delta w_{ij}^{(n)} = -\eta \cdot \delta_j^{(n)} \cdot x_i^n \quad (2.1.10)$$

Простим методом удосконалення градієнтного спаду є введення моменту  $m$ , коли вплив градієнта на зміну вагів змінюється з часом. Тоді формула (2.1.10) прийме вигляд:

$$\Delta w_{ij}^{(n)}(t) = -\eta \cdot \delta_j^{(n)} \cdot x_i^n + \mu \Delta w_{ij}^{(n)}(t-1).$$

Додатковою перевагою від введення моменту є здатність алгоритму долати дрібні локальні мінімуми та на підставі вектору  $X$ , рекомендацій експертів з БП і статистичній інформації вибираються вагові коефіцієнти синаптичного зв'язку першого шару  $W_j$ :

$$w_{ik} = \frac{x_i^k}{2}, i=0..n-1, k=0..m-1, \quad (2.1.11)$$

де  $x_i^k$  —  $i$ -ий елемент  $A$ -ого образу.

З малюнка функції одиничного стрибка видно, що порогові значення  $T$ , у загальному випадку, може приймати невідоме наперед значення, яке підбирається на стадії навчання разом з ваговими коефіцієнтами  $T_k = n/2, k=0..m-1$ .

Даний етап можна назвати навчанням НМ і від того, наскільки якісно він буде виконаний, залежить здатність мережі вирішувати поставлені перед нею проблеми під час експлуатації. Виходи НМ формуються самостійно, а вага змінюється по алгоритму, що враховує тільки вхідні і похідні від них сигнали.

Виходячи з вектора  $X$  і вагових коефіцієнтів синаптичного зв'язку  $w_i$ , розраховуються стани нейронів першого шару (2.1.11), які характеризують приватні показники чинників, що впливають на БП:

$$y_j^{(1)} = s_j^{(1)} = \sum_{i=0}^{n-1} w_{ij} x_i + T_j, j = 0..m-1$$

Після цього набутими значеннями ініціалізуються значення аксонів другого шару:

$$y_j^{(2)} = y_j^{(1)}, j = 0..m-1,$$

і обчислюються нові стани нейронів другого шару:

$$s_j^{(2)}(p+1) = y_j^{(2)}(p) - \varepsilon \sum_{k=0}^{m-1} y_k^{(2)}(p), k \neq j, j = 0..m-1$$

а значення їх аксонів:

$$y_j^{(2)}(p+1) = f[s_j^{(2)}(p+1)], j = 0..m-1$$

Таким чином використання НМ в АСУБП дозволяє ефективно вирішувати задачі синтезу (прогнозування й управління ризиками) і виробити ефективний вектор УР[26, 61,62]. Однією із складових АСУБП є бази даних, які визначаються міжнародними керівними документами з управління безпекою польотів.

## 2.2. Метод моделювання імовірності виникнення особливих ситуацій у польоті

Для вирішення задач аналізу та синтезу систем забезпечення БП на єдиній теоретичній основі необхідно розробити аналітичні моделі, які дають можливість обчислювати не тільки узагальнені показники БП, а й доповнити його сукупністю показників оцінки функційної ефективності розробляємої системи [25,28,29].

В якості моделі діяльності окремих ланцюгів, так і аеронавігаційної системи в цілому може бути прийнятий керований випадковий процес.

Розглянемо політ ПС з простішим набором можливих станів (безпечних/небезпечних), визначаючим дією трьох основних елементів аеронавігаційної системи людина-техніка-середовище. Перехід з однієї ОС до іншої відбувається послідовно, проте можливі і прямі переходи [30,31].

Проведення заходів щодо підвищення РБП, направлене на зменшення частоти переходів зі стану БП в стани різних ОС. В задачах аналізу та синтезу систем забезпечення БП застосуємо математичний апарат теорії марківських процесів, [56, 86]. Марківська апроксимація достатньо проста та забезпечує добру сходиність експериментальних та теоретичних результатів. Для опису переходів застосуємо марківські процеси з дискретним часом, що розширить можливість більш повно описати функціонування аеронавігаційної системи сумісно з системою забезпечення БП. Інтервали часу між переходами і їх напрямку розглянемо як випадкові події. Дана методологія, використовується для вирішення завдань аналізу і синтезу систем забезпечення належного РБП, і дозволяє віднести можливість обліку всіх істотних для вирішення завдань зв'язків, аналізу складних процесів по частинах, його синтезу і розвитку моделей без проведення додаткових експериментів.

Якщо відомий стан процесу  $1_j \in E$  в даний момент часу, то майбутній стан залежить тільки від  $1_j$  і не залежить від стану  $1_n \in E$  при  $i_n (i < j < n)$ .

В [87,88,90] показано, що якщо переходи з станів описуються пуасонівськими процесами, то процес, який протікає в системі є марківським.

В [35,40]. показано що кожен марківський потік повністю характеризується інтенсивністю, для опису систем з кінцевим числом станів  $N$  слід визначити інтенсивність переходів  $a_{ij}(t)$  із стану  $1_i$  в стан  $1_j$ . Інтенсивності переходів зручно записувати у вигляді квазістохастичної (інфінітивної) матриці:

$$A = \|a_{ij}(t)\| = \begin{pmatrix} a_{11}(t) & a_{12}(t) & \dots & a_{1N}(t) \\ a_{21}(t) & a_{22}(t) & \dots & a_{2N}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1}(t) & a_{N2}(t) & \dots & a_{NN}(t) \end{pmatrix};$$

$$\sum_{j=1}^N a_{ij}(t) = 0; \quad a_n(t) = -\sum_{j=1}^N a_{ij}(t)$$

Цій матриці відповідає орієнтований розмічений граф станів, на якому крім напрямів переходів указані інтенсивності потоків подій.

В роботі [47] отримана система диференціальних рівнянь щодо імовірності знаходження системи в будь-якому з можливих станів в даний момент часу:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -\sum_{j=1}^N a_{ij}(t)P_i(t) + \sum_{j=1}^N a_{ji}(t)P_j(t) \quad (2.2.1)$$

Система диференціальних рівнянь (2.2.1) — із змінними коефіцієнтами. Її рішення зв'язане із значними труднощами. В процесі функціонування аеронавігаційної



системи її параметри міняються поволі і пуассонівські потоки можна прийняти стаціонарними, тобто покласти  $a_{ij}(t) = a_{ij} = const$  і вважати процес однорідним. При цьому допущенні, система (2.2.1) перетворюється на систему диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -\sum_{j=1}^N a_{ij}P_i(t) + \sum_{j=1}^N a_{ji}P_j(t), \quad (2.2.2)$$

її можна вирішити за допомогою перетворень Лапласа:

$$P(S) = \int_0^{\infty} 1^{-st} P(t) dt = L\{P(t)\} \quad SP(S) - P(0) = \int_0^{\infty} 1^{-st} P'(t) dt = L\{P'(t)\},$$

що дає змогу перейти до системи алгебраїчних рівнянь:

$$SP_i(S) - P_i(0) = -\sum_{j=1}^N a_{ij}P_j(S) + \sum_{j=1}^N a_{ji}P_j(S) \quad (2.2.3)$$

З неї можна визначити  $P_i(S)$  і, перейшовши до оригіналів, отримати залежності для визначення імовірності  $P_i(t)$ . Аналітичне дослідження рішень системи (2.2.2) досягне тільки для обмеженого числа станів. Для розвинених систем аналіз показників марківських моделей зручніше виконувати в чисельній формі.

У роботі [5,14]. приведено зручне правило складання систем диференційних рівнянь з орієнтованим графом станів.

Похідна  $\frac{dP_i}{dt}$  імовірностей перебування системи в стані  $l_i$  дорівнює алгебраїчній сумі, число доданків якої рівне числу ребер на графі станів, що сполучають стан  $l_i$  з іншими станами.

Якщо ребро направлене в стан  $l_i$ , то доданок в сумі береться із знаком плюс; якщо направлене із стану  $l_i$  – із знаком мінус.

Кожен доданок рівний добутку ймовірності того стану, з якого направлене ребро, на інтенсивність потоку подій, що переводить систему по даному напрямку.

По цих правилах складена система диференціальних рівнянь яка має вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{dP_1(t)}{dt} &= -(a_{12} + a_{13} + a_{14})P_1(t) + a_{21}P_2(t) + a_{31}P_3(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= a_{12}P_1(t) - a_{21}P_2(t) + a_{42}P_4(t); \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= a_{13}P_1(t) - a_{31}P_3(t); \\ \frac{dP_4(t)}{dt} &= a_{14}P_1(t) - a_{42}P_4(t) \end{aligned}$$

У цій системі диференціальних рівнянь показниками якості системи забезпечення БП може служити імовірність  $P_1(t), \dots, P_4(t)$  знаходження системи екіпаж - ПС у всіх можливих станах. Інтенсивності переходів а виражаються через регульовані параметри системи забезпечення БП, які можуть розглядатися як активні дії.

Якщо кожен стан в графі є транзитивним, тобто має хоч би погодному вхідному і вихідному ребру, то після закінчення достатньо тривалого часу (теоретично при  $t \rightarrow \infty$  імовірності станів системи практично не залежать від того, у якому стані система знаходилася в початковий момент  $t = 0$  і не залежать від самого проміжку часу. Це властивість ергодичності марківських процесів.

Виходячи з того, що

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{dP_i(t)}{dt} = 0,$$

а самі імовірності  $P_i(t)$  прагнуть до фінальних значень:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_i(t) = P_i,$$

то система (S) переходить в систему алгебраїчних рівнянь:

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} P_i - \sum_{j=1}^N a_{ij} P_j = 0 \quad (2.2.4)$$

Використовуючи властивості марківських процесів, через інтенсивність переходів  $a_{ij}$  отримуємо характеристики марківських моделей, які зручно використовувати як показники якості системи забезпечення БП:

імовірність переходу  $P_{ij}(t)$  із стану  $1_i$  в  $1_j$  за час  $t$  визначається: 
$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_j a_{ij}},$$

функції розподілу часу перебування в  $1_i$ -му стані: 
$$F_i(t) = 1 - 1_i^{-at},$$

середній час перебування в  $1_i$ -му стані: 
$$\mu_1 = \int_0^{\infty} [1 - (1 - 1_i^{-at})] dt = \frac{1}{a_i}.$$

Для забезпечення аналізу якості систем забезпечення БП доцільно використовувати метод агрегування. Уся підмножина  $E = \{1_1, 1_2, \dots, 1_N\}$  можливих станів розбивається на підмножину  $E_i$ , що представляється як окремі стани.

Нехай координата  $x$  виникнення ОС має імовірнісний розподіл з щільністю імовірності змішаного типу [97, 117],

$$f(x; \mu) = (1 - \alpha) \frac{1}{2a_1 b_1 \Gamma(b_1)} \exp\left(-\left|\frac{x - \mu}{a_1}\right|^{1/b_1}\right) + \alpha \frac{1}{2a_2 b_2 \Gamma(b_2)} \exp\left(-\left|\frac{x - \mu}{a_2}\right|^{1/b_2}\right), x \in \mathfrak{R},$$

де  $\Gamma(b)$  – ейлерова гама-функція,  $\alpha \in (0, 1)$  – параметр суміші,  $a_1$  і  $a_2$  – позитивні параметри масштабу,  $b_1$  і  $b_2$  – позитивні параметри форми,  $\mu \in \mathfrak{R}$  – параметр частоти того чи іншого ФР.

Щільність імовірності є щільністю подвійного узагальненого розподілу Лапласа [40, 117]. Перша складова правої частини формули відповідає головній частині розподілу, друга складова відповідає рідкісним подіям.

Щільності імовірності для координати  $x_1 = f(x_1; \mu_1)$  і  $x_2 = f(x_2; \mu_2)$  мають різні параметри виникнення ФР  $\mu_1$  і  $\mu_2$ . Ці щільності мають загальні параметри  $\alpha, a_1, a_2, b_1$  і  $b_2$ .

Виникнення ОС по координаті  $X$  можливо, якщо,  $|X_1 - X_2| \leq d$ , де  $d$  – ФР,  $X_1$  і  $X_2$  – поточні значення координати  $X$ . Завдання полягає в тому, щоб оцінити вірогідність виникнення ОС по координаті  $X$

$$P_x = P\{|X_1 - X_2| \leq d\},$$

визначимо:

$$\rho(x; \mu, a, b) = \frac{1}{2ab\Gamma(b)} e^{-\left|\frac{x-\mu}{a}\right|^{1/b}}, \quad x \in \mathfrak{R}$$

де  $a > 0$ ,  $b > 0$ ,  $\mu \in \mathfrak{R}$  також при  $0 < \alpha < 1$

$$f(x, \mu) = (1 - \alpha)\rho(x; \mu, a_1, b_1) + \alpha\rho(x; \mu, a_2, b_2), \quad x \in \mathfrak{R}. \quad (2.2.5)$$

Дисперсія цього розподілу визначається:

$$\sigma^2 = (1 - \alpha) \frac{a_1^2 \Gamma(3b_1)}{\Gamma(b_1)} + \alpha \frac{a_2^2 \Gamma(3b_2)}{\Gamma(b_2)}, \quad (2.2.6)$$

при  $b_1 = \frac{1}{2}$  маємо  $\rho\left(x; \mu, a_1, \frac{1}{2}\right)$  – щільність нормального розподілу. Введем

сумісну щільність координат  $x_1$  і  $x_2$ :

$$f(x_1, x_2) = f(x_1, \mu_1) f(x_2, \mu_2), \quad x_1, x_2 \in \mathfrak{R}, \quad \mu_1 \neq \mu_2,$$

де  $\rho_{x_i}(x_i)$  – щільність розподілу  $N(\mu_i, \sigma^2)$ .

Визначимо сумісну гаусовську щільність, концентровану на виникнення ОС:

$$\hat{f}(x_1, x_2) = \frac{df}{\Phi\left(\frac{\mu_1 - \mu_2 + d}{\sigma\sqrt{2}}\right) - \Phi\left(\frac{\mu_1 - \mu_2 - d}{\sigma\sqrt{2}}\right)} \rho_{X_1}(x_1) \rho_{X_2}(x_2) I(|x_1 - x_2| \leq d)$$

статистична оцінка імовірності  $P_x$  визначається виразом:

$$Y_n = \frac{df}{n} \sum_{i=1}^n \frac{f(\hat{x}^{(i)})}{\hat{f}(\hat{x}^{(i)})},$$

де  $\hat{x}^{(i)} = (\hat{x}_1^{(i)}, \hat{x}_2^{(i)})$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , – незалежна вибірка, сформована по

щільності  $\hat{f}(x_1, x_2)$ . Тоді  $\mathbf{E}Y_n = P_x$ ,  $Y_n - P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{f(\hat{x}^{(i)})}{\hat{f}(\hat{x}^{(i)})} - P_x \right]$ .

Нехай  $\lambda > 0$ . Необхідно знайти оцінку імовірності виникнення ОС,

$$A_{\lambda n} = \left\{ \frac{df}{P_x} \left| \frac{Y_n - P_x}{P_x} \right| \geq \lambda \right\}, \quad (2.2.7)$$

яка повинна задовольняти умові  $P(A_{\lambda n}) < \beta$ , де  $1 - \beta = 0,95$  – рівень довіри.

Нехай  $X_1, \dots, X_n$  – однаково розподілені незалежні випадкові величини

$S_n = X_1 + \dots + X_n$ ; нехай  $X = X_1$ . при  $x > 0$ , тоді справедливо нерівняння

$$P\{S_n \geq x\} \leq nP\{X \geq x\} + P_1, \\ P_1 \stackrel{df}{=} \exp \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{\mu(-x, x)}{x} + \frac{\beta^2(-x, x)}{x^2} \right) \ln \left( 1 + \frac{x^2}{\beta^2(-x, x)} \right) \right\}, \quad (2.2.8)$$

де  $\mu(-x, x) \stackrel{df}{=} nE(X, |X| \leq x)$ ,  $\beta^2(-x, x) \stackrel{df}{=} nE(X^2, |X| \leq x)$ .

Аналогічно маємо

$$P\{S_n \leq -x\} \leq nP\{X \leq -x\} + P_1 \Rightarrow P\{|S_n| \geq x\} \leq nP\{|X| \geq x\} + 2P_1 \quad (2.2.9)$$

Сформулюємо додаткові умови  $EX_1 = 0$ . Тоді

$$\mu(-x, x) = -nE(X, |X| > x) \stackrel{df}{=} -\bar{\mu}(x), \\ P_1 = \exp \left\{ 1 - \left( 1 + \frac{\bar{\mu}(x)}{x} + \frac{\beta^2(-x, x)}{x^2} \right) \ln \left( 1 + \frac{x^2}{\beta^2(-x, x)} \right) \right\} \quad (2.2.10)$$

Нехай зростаюча функція, при  $\frac{g(x)}{x}$ ,  $x > 0$ , є спадаючою. Визначимо  $g(0)$  по безперервності та продовжимо  $g(x)$  на  $\mathfrak{R}$  до чітної функції. Тоді  $g: \mathfrak{R} \rightarrow [0, +\infty)$  – чітна функція. Наприклад,  $g(x) = |x|^\alpha$ ,  $x \in \mathfrak{R}$ , де  $0 < \alpha < 1$ .

Оцінемо деякі складові в (2.2.9), (2.2.10):

$$P\{X \geq x\} \leq P\{X \cdot g(X) \geq x \cdot g(x)\} \leq \frac{EX_+ g(X)}{x \cdot g(x)},$$

тут і нижче  $X_+ \stackrel{df}{=} X \cdot I\{X \geq 0\}$ ,  $X_- \stackrel{df}{=} -X \cdot I\{X \leq 0\}$ .

$$\frac{1}{x^2} E(X^2, |X| \leq x) = \frac{1}{x} E\left(|X| \cdot \frac{|X|}{x}, |X| \leq x\right) \leq \frac{1}{x} E\left(\frac{|X|g(X)}{g(x)}, |X| \leq x\right) \leq \frac{E|X|g(X)}{x \cdot g(x)};$$

$$\frac{1}{e} P_1 = \frac{\left(1 + \frac{x^2}{\beta^2(-x, x)}\right)^{-nE(X, |X| > x)}}{\left(1 + \frac{x^2}{\beta^2(-x, x)}\right)^{1 + \frac{\beta^2(-x, x)}{x^2}}} \leq \frac{\beta^2(-x, x)}{x^2} \cdot \left(1 + \frac{x^2}{\beta^2(-x, x)}\right)^{nE(-X, X < -x)}$$

Нехай при деякому  $c > 0$  з імовірністю  $\epsilon$ , яка дорівнює один виконано нерівняння  $X \geq -c$ . Тоді при  $x \geq c$  маємо  $E(-X, X < -x) = 0$ . Крім того,  $P\{X \leq -x\} = 0$ . В результаті якщо  $EX = 0$ ,  $X \geq -c$  з імовірністю  $1 - \epsilon$  і  $n \cdot x \geq c$ , то

$$P\left\{\left|\frac{1}{n} S_n\right| \geq x\right\} \leq \frac{EX_+ g(X) + \epsilon E|X|g(X)}{x \cdot g(n \cdot x)} \quad (2.2.11)$$

На основі запропонованого методу моделювання імовірності виникнення ОС у польоті розробимо багатofакторну та логіко-імовірнісну моделі виникнення авіаційних подій, вихідні значення яких будуть входними значеннями для їх обробки в нейронно – мережевому програмному середовищі, які дозволять синтезувати алгоритми оцінки РБП, проводити моніторинг ризику по кожному типу ПС; кількісно оцінювати ступень зміни ризику АП та прогнозувати ступень ризику в запланованих польотах.

### 2.3. Імовірнісна модель управління факторами ризику

Ризик АП у польоті на оцінюваний період експлуатації в загальному вигляді можна визначити за формулою:

$$r_{АП} = \sum_{i=1}^{m(j)} \sum_{j=1}^n P_{ij} \quad (2.3.1)$$

де - імовірність АП при  $i$ -ої події  $j$ -го типу (при події  $A_{ij}$ );

$i$  - номер фактора  $j$ -го типу,  $i = 1, 2, \dots, m(j)$ ;

$j$  - номер типу події,  $j = 1, 2, \dots, n$ ;

$m_j$  - дана кількість АП  $j$ -го типу;

$n$  - кількість вибраних для оцінки типів подій.

Через залежність імовірності факторів від імовірності кожної зі всіх даних подій, вона може бути виражена:

$$P_{ij} = P(A_{ij}) \cdot P(АП / A_{ij}), \quad (2.3.2)$$

де  $P_{ij}$  - імовірність  $i$ -ої АП  $j$ -го типу факторів у польоті;

$P(АП / A_{ij})$  - імовірність АП, за умови, що подія  $A_{ij}$  мала місце.

Ризик АП за оцінюваний період (імовірність АП хоча б в одному з польотів за період) визначається по формулі:

$$R_{АП} = 1 - \prod_{\substack{i=1, \\ j=1}}^{n, \\ m(j)} (1 - P(АП / A_{ij})) . \quad (2.3.3)$$

Слід визнати, що такий підхід передбачає оцінювання ризику АП по їх сукупності, що тільки ідентифікуються. Через визнану в міжнародній авіаційній практиці відсутність абсолютної безпеки [84], у кожному польоті, існує, складова ризику АП, яка обумовлена технічною стороною, тобто чинниками групи "ПС". Тому навіть за відсутності у польоті АП імовірність їх виникнення може бути прийнята на рівні нижньої межі діапазону, яка визначається нормами льотної придатності [44,45,47].

При апостеріорному кількісному оцінюванні ризику АП за аналізований період як  $P(A_{ij})$  використовуємо статистичну імовірність мавших місце АП або їх частоту прояву (кількість подій, віднесена до кількості виконаних польотів)[24,27].

Оцінка умовної імовірності АП  $P(АП / A_{ij})$ , коли АП  $A_{ij}$  мало місце, може визначатися при розслідуванні кожної події й аналізі його обставин експертним методом [19,39,42] (кожний з експертів або членів комісії по розслідуванню визначає, у якому ступені близькою до АП є подія, що розслідується, наприклад, скільки шансів у розвитку АП з 100 таких подій). Ураховуватися повинна групова експертна оцінка думок про імовірність розвитку АП унаслідок події, що розслідується.

Обчислення проводиться з використанням формул (2.3.2).(2.3.3):

$$r_{АП}^{аносм} = \sum_{i=1}^{m(j)} \sum_{j=1}^n P(АП / A_{ij}). \quad (2.3.4)$$

За відсутності можливості експертного оцінювання умовної імовірність АП при кожній аналізованій події  $i$ -го типу, усі вони приймаються за події рівної тяжкості з фіксованим значенням оцінки імовірність розвитку будь-якого типу події, тобто застосувати правило "1:600" ("піраміда ризику") [84, 103]. При недоліку або відсутності статистики про співвідношення АП, указані співвідношення можуть бути визначені експертним методом [14] і періодично коректуватися у міру оновлення статистичних даних [20, 102].

При цьому практично ризик АП оцінюється по формулі, одержаній на підставі (2.3.1) з урахуванням обумовлених допущень:

$$r_{АП}^{аносм} = \frac{1}{N} (K_{АП} P_{АП/АС} + K_{СИ} P_{АП/СИ} + K_{И} P_{АП/И}), \quad (2.3.5)$$

де  $K$  - кількість за оцінюваний період АП відповідного типу: АП, серйозних інцидентів, інцидентів;  $N$  — кількість виконаних польотів;

$P_{АП/АС}, P_{АП/СИ}, P_{АП/И}$  - оцінки імовірності АП, коли мала місце ОС за наявності АП в оцінюваному періоді, серйозні інциденти та інциденти приймають рівною 1. Оцінювання ризику АП за період (у всіх виконаних польотах) у загальному вигляді проводиться по формулі:

$$P_{АП}^{аносм} = 1 - [(1 - P_{АП/АС})^{K_{АП}} (1 - P_{АП/СИ})^{K_{СИ}} (1 - P_{АП/И})^{K_{И}}]. \quad (2.3.6)$$

Процедура оцінювання, втрачає значення після АП. Можливе також апостеріорне кількісне оцінювання ризику місця конкретного АП, що мало, - за раніше відомими даними, тобто по чинниках ризику АП і чинниках запобігання АП, що апріорі ідентифікуються і кількісно оцінювані, але не по самих АП [29]. При цьому передбачається синтез функції імовірності АП по імовірності прояву ФР і ефективності нейтралізації їх факторами запобігання АП, з обліком їх взаємовпливу, початкового стану оцінюваної системи на момент появи ФР; ступеня посилювання (виправлення) ситуації в кожній з можливих станів системи [112].

При апріорному кількісному оцінюванні ризику АП на прогнозований період льотної експлуатації (квартал, рік) як імовірність у виразі (2.3.8) використаємо оцінку частоти прояву АП кожного типу (кількість подій, віднесена до планованої кількості польотів). За наявності досвіду експлуатації літакового парку джерелом для оцінювання є накопичена статистична інформація.

Апріорне оцінювання ризику АП за наслідками прогнозування (як статистичного, так і експертного) може проводитися по формулі, аналогічній виразу (2.3.6):

$$\hat{r}_{АП}^{анр} = \frac{1}{N_{план}} (K_{АП}^* P_{АП/АС} + K_{СИ}^* P_{АП/СИ} + K_{И}^* P_{АП/И}), \quad (2.3.7)$$

де на відміну від (2.3.11),  $N_{план}$  - планована на прогнозований період кількість польотів;

$K_{АП}^*, K_{СИ}^*, K_{И}^*, K_{ПИ}^*$  — прогнозована кількість АП відповідного типу: АП та інцидентів.

Оцінювання ризику АП в планованому періоді експлуатації запланованих польотах, проводиться відповідно до виразу (2.3.8), з використанням даних про прогнозовану кількість АП відповідного типу:  $K_{АП}^*, K_{СИ}^*, K_{И}^*, K_{ПИ}^*$

На користь оцінювання АП, з погляду тяжкості їх наслідків, категорія АП може бути розділена на два рівні тяжкості: "аварія" і "катастрофа". При цьому висловлений

методологічний підхід не зазнає принципових змін, змінюється лише кількісний склад змінних у функціях (2.3.6) -(2.3.7).

Для розробки імовірнісної моделі управління факторами ризику використаємо підпростір станів системи екіпаж – ПС – середовище, яке включає фун станів, які приводять до ОС певної класифікації.

В цілях вироблення підходів до оцінки і прогнозування РБП, до діагностування і кількісної оцінки ФР, до оптимізації ефективності УР, розглянемо множини ФР (–), кожен з яких оцінюється імовірністю впливу Р- і умовою формування ОС тієї або іншої тяжкості. Строчені знаки ФР підкреслюють можливість їх належності до джерел (за ознакою походження): екіпаж – ПС – середовище. Крім того, є поле обмеженої безлічі факторів, що певною мірою знижують імовірність розвитку АП (+) Р+. Дані фактори можуть бути як одинарні, так і комбіновані. Ураховуючи важливість і вагомість кореляцій між показниками взаємозв'язаних і взаємозалежних факторів, а також передбачувану складність їх кількісної оцінки, у першу чергу - найбільш вагомим чинників, розглядати й оцінювати як окремі неподільні складені фактори (події з умовами збіжності) [25,28].

Безліч варіантів обмежена об'ємом інформації про фактори (–) і (+), їх сукупностях, взаємозв'язках і взаїмозалежностей. Вона може бути розширена при виявленні нових, як одинарних, так і комбінованих, факторів (–) і (+).

Кількісне оцінювання імовірнісних показників РБП виконується по наборах факторів відповідного імовірнісного простору через функції декількох аргументів:

$$P_{yyn} = F_1(P-1_i, n_1, P+1_j, m_1); \quad (2.3.8)$$

$$P_{cc} = F_2(P_{yyn}, P_{2i}, n_1, P+2_j, m_2); \quad (2.3.9)$$

$$P_{ac} = F_3(P_{yyn}P_{cc}, P-3_i, n_3, P+3_j, m_3); \quad (2.3.10)$$

$$P_{kc} = F_4(P_{yyn}P_{cc}, P_{ac}P-4_i, n_4, P+4_j, m_4) \quad (2.3.11)$$

де  $F_1, F_2, F_3, F_4$  - логіко-імовірнісні функції оцінки імовірності відповідно УУП, СС, АС, КС в запланованому польоті;

$P_1, P_2, P_3, P_4$  - апіорні ймовірності розвитку відповідно УУП, СС, АС, КС в запланованому польоті по і-му фактору (-);

$n_1, n_2, n_3, n_4$  - кількість факторів (-), безпосередньо впливаючи на розвиток ОС в запланованому польоті;

$P+1_j, P+2_j, P=3_j, P=4_j$  - апіорні імовірності запобігання розвитку відповідно УУП, СС, АС, КС в запланованому польоті по  $j$ -му фактору (+);

$m_1, m_2, m_3, m_4$  - кількість факторів (+), що безпосередньо запобігають розвиток відповідно УУП, СС, АС, АК в запланованому польоті.

Формалізація залежностей (2.3.8) - (2.3.11) дозволяє через похідні дослідити оцінки імовірнісних показників  $P_{yyn}, P_{cc}, P_{ac}, P_{kc}$  на екстремум з ціллю визначення оптимальних умов мінімізації імовірностей ОС:

$$\frac{dF_1(P-1_j, P+1_j, m_1)}{d} = 0; \quad (2.3.12)$$

$$\frac{dF_2(P-1_j, P+2_j, m_2)}{d} = 0; \quad (2.3.13)$$

$$\frac{dF_3(P-1_j, P+3_j, m_3)}{d} = 0; \quad (2.3.14)$$

$$\frac{dF_4(P-1_j, P+4_j, m_4)}{d} = 0; \quad (2.3.15)$$

«Вузькі» місця (елементи першочергового додатку управляючих дій,) виявляються за параметрами, що відповідають умовам (2.3.12) - (2.3.15). По ним формуються алгоритми синтезу дій, що управляють. Синтезовані варіанти УР підлягають первинній апробації на моделі з метою кількісної оцінки їх ефективності і оптимізації по рівню ризику АП і потрібних витрат [49, 69]. При даному підході і оцінці ефективності застосовуються такі типи показників як імовірнісні заходи; випадкові процеси; закони розподілу випадкових величин.

Звідси, такі показники можуть бути дискретними або безперервними по вигляду закону розподілу [7,13]. Перевагою статистичних і імовірнісних підходів є можливість представлення моделі взаємозв'язку у формі статистичного або імовірнісного закону.

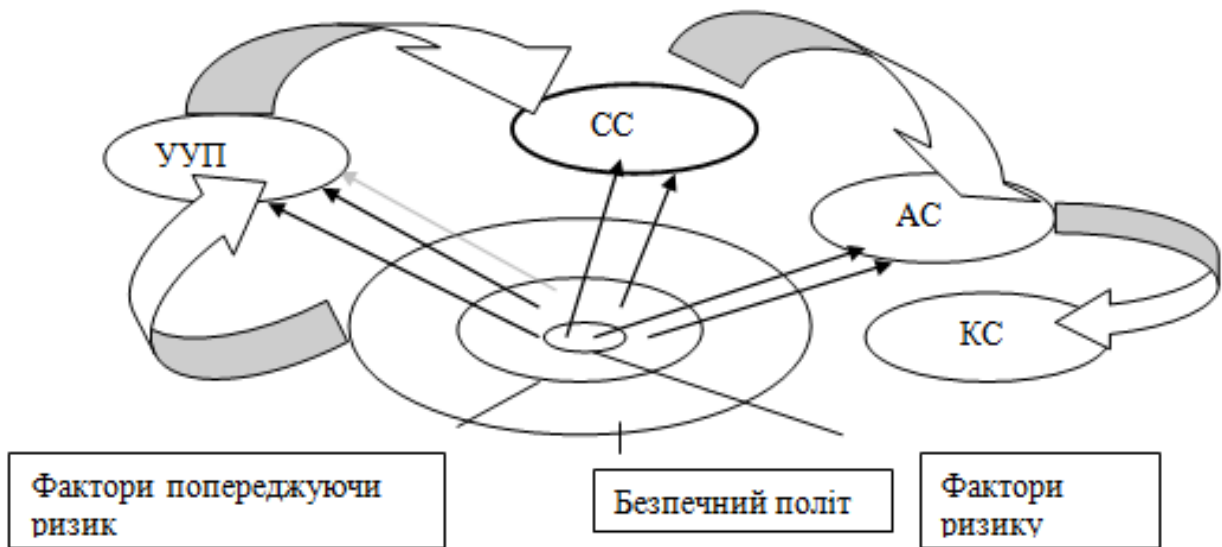


Рис. 2.3.1. Логико-імовірнісна модель управління факторами ризику

Аналізуючи закони імовірнісних розподілів можна зробити висновок, що експоненціальний зв'язок усередині імовірнісних законів, по суті, є універсальним зв'язком, який фактично справедливий для всіх законів. [13,23,32]. Логико-імовірнісна модель варіантів розвитку ОС по сукупностям ФР за наявності факторів, що запобігають АП, відображена на рис. 2.3.1.

При вирішенні завдань автоматизації процесів УБП, прогнозуванні та створенні експертних систем застосуємо теорію НМ та розробимо нейронно-мережеву модель автоматизованого УБП, яка дозволить ефективно вирішити задачу синтезу виникнення ризику АП та видати вектор управляючих сигналів мережі по неповній та спотвореній інформації о явищах, подіях та процесах, які мають вплив на БП.



## 2.4. Нейронно-мережева модель автоматизованого управління безпекою польотів

Застосування теорії НМ, детально розглянуто в розділі 1, однак для вирішення задачі УБП пропонується використати НМ, маючу структуру, показану на рис. 2.4.1.

Мережа складається з двох шарів, які мають по  $m$  нейронів, де  $m$  — число зразків, визначених сукупністю можливих «ризиків».

Нейрони першого шару мають по  $n$  синапсів, з'єднаних з входами мережі. На вхід мережі подається невідомий вектор розмірності якого визначається потоком інформації о явищах, подій, дій та процесів, що впливають на БП.

У загальному випадку НМ здійснює наступні перетворення:

$$S : X \Rightarrow A; \quad H : A \Rightarrow A'; \quad P : A' \Rightarrow y,$$

де  $X$  -  $n$  мірний простір неперервних вхідних сигналів;  $A$  -  $n$  -мірний простір асоціацій,  $A'$  - перетворене алгоритмом хешування простір асоціацій  $y$  - вектор вихідних сигналів.

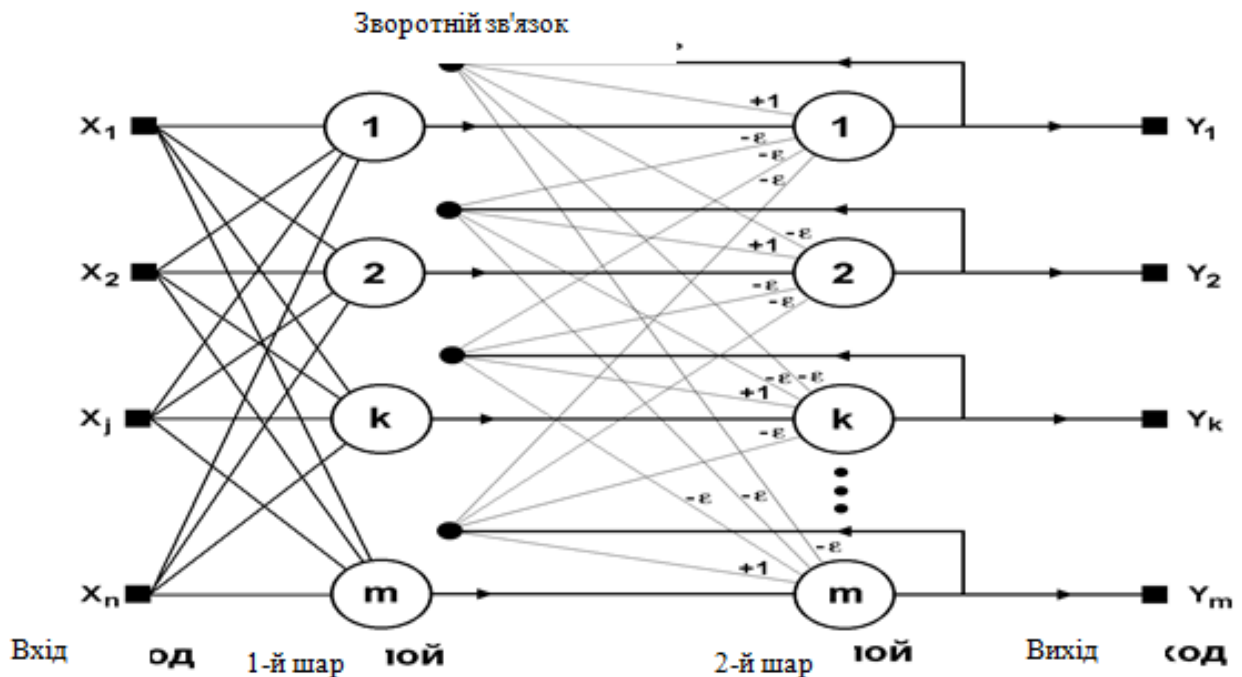


Рис 2.4.1. Нейронна мережа аналітичної автоматизованої системи управління безпекою польотів.

Перетворення відповідає кодуванню інформації  $a = S(x)$  хешуванню  $a' = H(a)$  обчисленню вихідного сигналу

$$y = P(a') = (a')^T \omega = (H(a))^T \omega$$

Важливим питанням при реалізації мережі є вибір базисних функцій.

Вираз описує перетворення, здійснюване в традиційній НМ використанням хешування інформації при виборі прямокутних базисних функцій [18]. Якщо в мережі використовуються нейрони з активаційними функціями, відмінними від прямокутної, перетворення приймає вигляд

$$y = H(a^T \Phi(x)) \omega,$$

$$\Phi(x) = \begin{bmatrix} \Phi_1(x) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \Phi_2(x) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \Phi_n(x) \end{bmatrix},$$

де  $\Phi_i(x) = \prod_{j=1}^N f_{ij}(x_j)$ ;  $f_{ij}(x_j)$  - значення вибраної базисної функції в точці.

У розробленій НМ використовуються прямокутні базисні функції, що дозволяє здійснювати постійну апроксимацію. В цьому випадку обчислювальні витрати будуть мінімальними, унаслідок чого значно скорочується час реакції мережі на вхідний сигнал, що поступив.

Компоненти вектора асоціацій можуть приймати значення 0 або 1. Швидкість навчання мережі при виборі базисних функцій прямокутної форми буде максимальною.

Як базисні в мережі використовуються Гаусовські функції [11,105], які

$$\Phi_i(x_j) = \exp\left\{-\frac{(x_j - \mu_i)^2}{\sigma_i^2}\right\},$$

володіють властивістю локального збудження, достатньо складно чітко виділити межі її збудження, так і можна достатньо чітко виділити межі її збудження, що є важливим для здійснення кодування інформації в НМ. Цього недоліку позбавлена Гаусівська функція.

$$\Phi_i(x) = \begin{cases} \exp\left\{-\frac{(\lambda_2 - \lambda_1)^2 / 4}{(x - \lambda_1)(\lambda_2 - x)}\right\} & \text{при } x \in (\lambda_1, \lambda_2); \\ 0 & \end{cases}$$

і тригонометрична (косинусоїдальна)

$$\Phi_i(x_j) = \begin{cases} \cos\left(\frac{\pi}{\rho r_j}(x_j - \lambda_i)\right) & \text{при } x_j \in \left(\lambda_i - \frac{\rho r_j}{2}, \lambda_i + \frac{\rho r_j}{2}\right), \\ 0 & \end{cases}$$

де  $\lambda_i$  – центр області квантування,  $\rho r_j$  – куля квантування по компоненті вхідного сигналу. Нейрони другого шару пов'язані між собою заперечувальними синоптичними зв'язками. Єдиний синапс з позитивним оберненим зв'язком для кожного нейрону поєднаний з його ж аксоном.

Ідея роботи мережі складається в знаходженні відстані Хеммінга від тестованого образу до всіх зразків. Відстанню Хеммінга називається число

відрізняючих бітів в двох бінарних векторах. Мережа повинна вибрати зразок з мінімальною відстанню Хеммінга до невідомого вхідного сигналу, у результаті чого буде активізовано тільки один вихід мережі, що відповідає цьому зразку [110]. Іншими словами НМ по вхідному вектору  $X$  вибере (спрогнозує) рівні «ризиків» і дасть пропозицію по виробці УР у вигляді вихідного вектору

На основі вектору  $X$ , рекомендацій експертів по БП і статистичної інформації вибираються вагові коефіцієнти синоптичного зв'язку першого слою  $W_j$ :

$$w_{ik} = \frac{x_i^k}{2}, i = 0 \dots n-1, k = 0 \dots m-1,$$

де  $x_i^k$  —  $i$ -ий елемент  $A$ -ого образу. Активаційна функція має вигляд порогу, який показано на рис. 2.4.2.

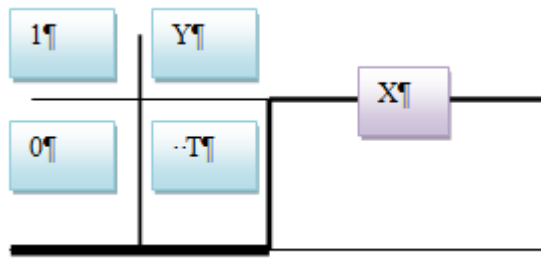


Рис. 2.4.2. Активаційна функція

З малюнку функції одиничного стрибка видно, що порогове значення  $T$ , в загальному випадку, може приймати вільне значення. Більш того, воно повинно приймати таке вільне, невідоме завчасно значення, яке підбирається на ступені навчання разом з ваговими коефіцієнтами.

$$T_k = n / 2, k = 0 \dots m - 1$$

Даний етап можна назвати навчанням НМ і від того, наскільки якісно віно буде виконано, залежить здатність мережі вирішувати поставлені перед нею проблеми під час експлуатації. Детально процес навчання і алгоритми наведені в Розділі 3.

Нехай  $Y_i$  наближаємо наступним шаром значення, тоді  $Y_0$  – само значення наближаємої функції в точках експериментальної вибірки, а  $Y_1$  та наступні – погрешності обчислення на відповідному кроці.

Навчання ведеться оптимізацією параметрів мережі будь яким з градієнтних методів по всьому задачнику.

Тоді при навчанні  $k$ -го нейрона

$$Y_k = w_{k1}^{(2)} F_k \left( a_k \sum_{i=1}^{N_{\text{вв}}} w_{ik}^{(1)} x_i \right),$$

$H$  (функція помилки) для всього задачника буде мати вид:

$$H = \sum_{j=1}^{N_p} \left[ w_{k1}^{(2)} \left( a_k \sum_{i=1}^{N_{\text{вв}}} w_{ik}^{(1)} x_i^j \right) y_k^j \right]^2.$$

Таким чином в якості критерію близьості апроксиміруємої та апроксимируючої функцій вибрана сума квадрату помилки по всієї навчаючої виборці [89].

Для навчання кожного наступного нейрона використовуються часні похідні

функції  $F_k$  по вагам першого шару  $w_{ik}^{(1)}$ :

$$\frac{\partial H_k}{\partial w_{ik}^{(1)}} = \sum_{j=1}^{N_p} 2 \left[ w_{k1}^{(2)} F_k \left( a_k \sum_{i=1}^{N_{\text{вв}}} w_{ik}^{(1)} x_i^j \right) - Y_k^j \right] \left\| w_{k1}^2 a_k x_i^j F_k' \left( a_k \sum_{i=1}^{N_{\text{вв}}} w_{ik}^{(1)} x_i^j \right) \right\|$$

параметру нейрона  $a_k$ :

$$\frac{\partial H_k}{\partial a_k} = \sum_{j=1}^{N_p} 2 \left[ w_{k1}^{(2)} F_k \left( a_k \sum_{i=1}^{N_{\text{вв}}} w_{ik}^{(1)} x_i^j \right) - Y_k^j \right] \left\| w_{k1}^2 \left( \sum_{i=1}^{N_{\text{вв}}} w_{ik}^{(1)} x_i^j \right) F_k' \left( a_k \sum_{i=1}^{N_{\text{вв}}} w_{ik}^{(1)} x_i^j \right) \right\|,$$

та ваги синапсу другого (вихідного) шару  $w_{ik}^{(2)}$  відповідно даному нейрону

$$\frac{\partial Y_k}{\partial w_{k1}^{(2)}} = \sum_{j=1}^{N_{np}} 2 \left[ w_{k1}^{(2)} F_k \left( a_k \sum_{i=1}^{N_{\tilde{a}\tilde{o}}} w_{ik}^{(1)} x_k^j \right) - Y_k^j \right] \left\| F_k a_k \left( \sum_{i=1}^{N_{\tilde{a}\tilde{o}}} w_{ik}^{(1)} x_k^j \right) \right\|,$$

де  $N_{np}$  число прикладів навчаючої виборки.

Якщо обчислювальні функції  $H$  зв'язані з витратами процесорного часу порядку  $T_H$  то обчислення її градієнту традиційними засобами вимагає часу  $T_{grad} = nT_H$ , де  $n$  число перемінних функцій  $H$ .

Функція  $F$  на  $R$  задана набором своїх значень в випадкових крапках пространства

$(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)$ . Побудуємо її апроксимацію за допомогою комбінацій  $f_i = ( \bar{X}, \bar{a} )$ , - функцій з набору  $F$ , тоді:

$$F_1 = F - f(x, a) \text{ - помилка апроксимації } F \text{ функцією } f_i = ( \bar{X}, \bar{a} );$$

$$F_2 = F_1 - f_1(x, a) \text{ - помилка попереднього кроку апроксимації;}$$

$$F_3 = F_2 - f_2(x, a)$$

Апроксимація може вестися не тільки підбором коефіцієнтів, но також вибором

на кожному кроці функцій  $f_i = ( \bar{X}, \bar{a} )$  із  $\Phi$ . Таким чином отримано розклад функції  $F$  в збігаючий ряд виду:

$$F = \sum f_i(a, x)$$

Рішення задачі апроксимації може бути отримано шляхом мінімізації функціонала якості, відповідного квадрату відхилень:

$$H = \sum (F(a^{-i}, x^{-i}) - y_i)^2 \rightarrow \min \quad (2.27)$$

Задача складається в наближенні функції  $F$ , яка задана вибіркою, при допомоги НМ – предикатора з невідомою кількістю нейронів та виглядом функції, яка використовується в перетворювачі кожного з нейронів [91]. Ряд (2.27) представимо як НМ, яка має структуру, відображену на рис. 2.4.3.

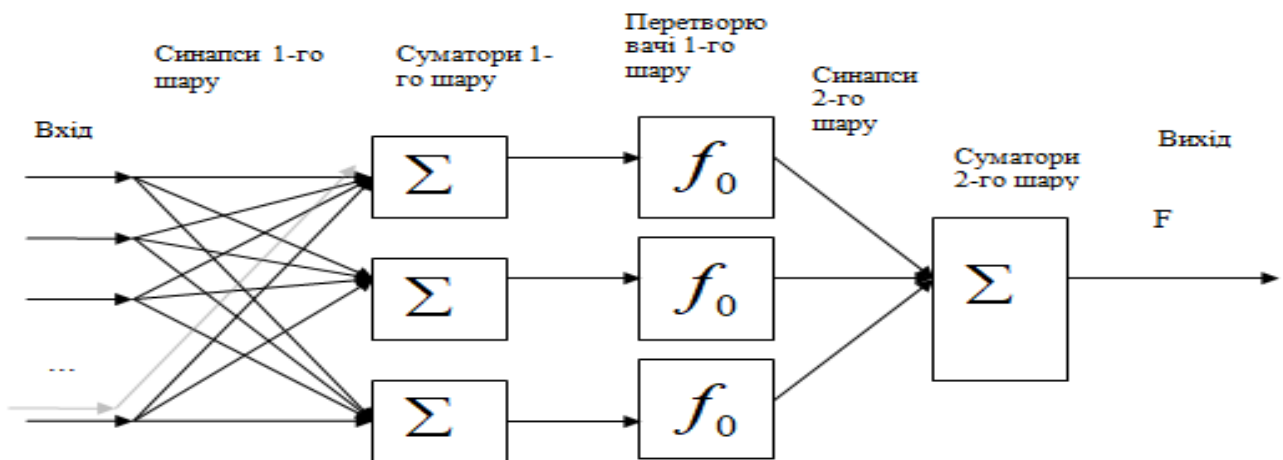


Рис 2.4.3. Структура „поточної” нейронної мережі

Тоді для обчислення градієнту функції помилки  $H$ , використовується схема, двойствена даної. При цьому вирішення задачі може бути спрощено таким чином, що навчання наступного шару починається коли попередні шари пройшли навчання, а їх зв'язки зафіксовані, тоді кожний нейрон навчається відокремлено від інших, а в якості

значення  $k$ -го нейрона береться погрішність обчислення функції попереднім  $k-1$  – нейронами, або  $F_i$ . Процес навчання всієї мережі [104] зводиться до її розбивання к ряду послідовних процесів навчання, структур ,виду, показано на рис. 2.4.4 (далі за текстом така структура буде носити назву „потомком мережі”). Обчислення похідних Н (функції помилки), для мережі, представляю чого собою один „поток”, можна вести на основі апарату подвійних функцій та алгоритму зворотньому розповсюдження помилки. Схема проходження сигналів при зворотньому функціонуванні показана на рис.2.4.5.

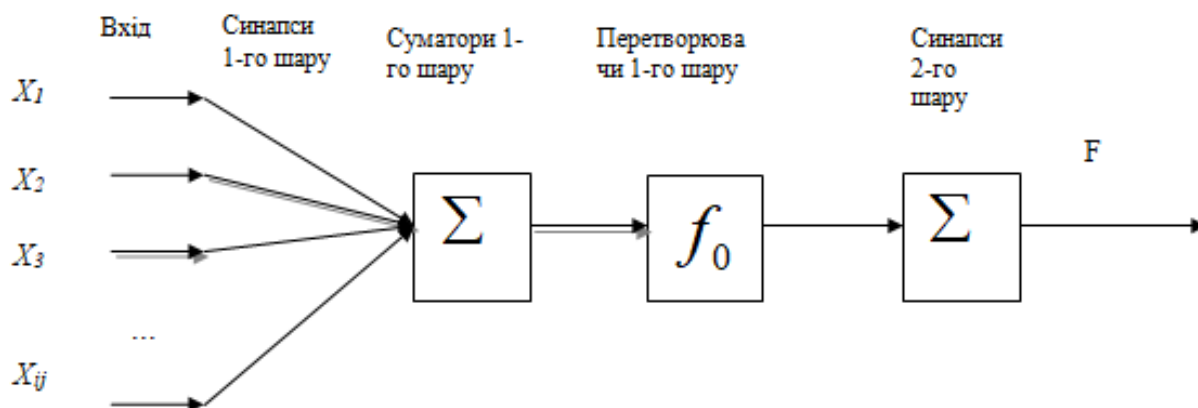


Рис.2.4.4 Структура одного „потому” мережі.

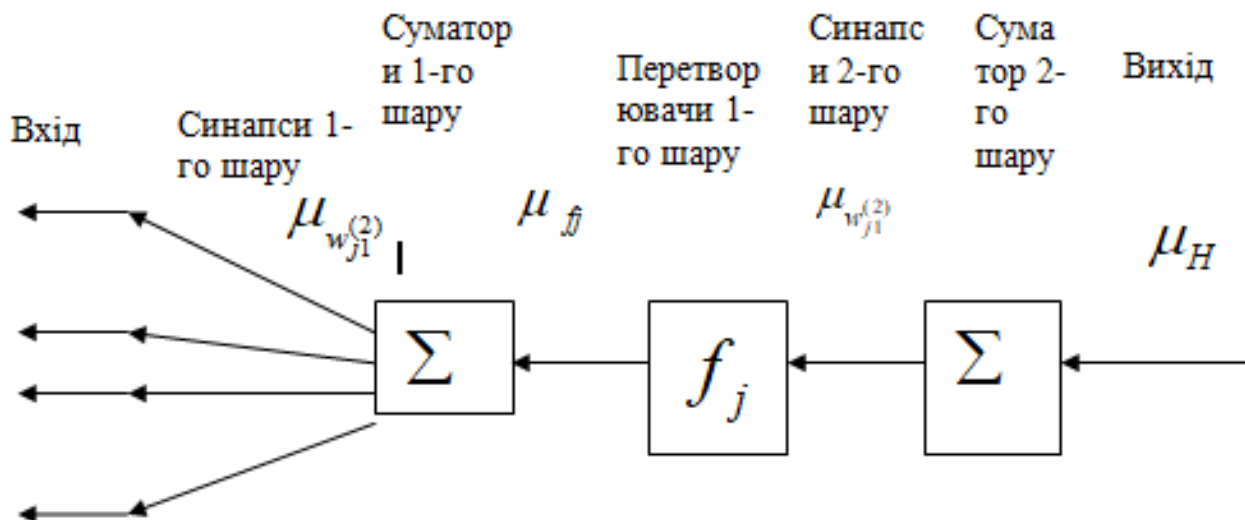


Рис. 2.4.5. Структура одного „потому” мережі при зворотньому сигналі.

де  $\mu_H$  подвійний сигнал від функції оцінки, який передається без змін через тривіальний суматор другого слоя,  $\mu_{w_{j1}^{(2)}}$  - подвійний сигнал від відповідного синапсу другого слоя,  $\mu_{f_j}$  - подвійний сигнал від перетворювача  $j$ -го „потому”,

передаючи суматору для роздачі на синапси  $\mu_{w_{j1}}^{(1)}$  подвійні сигнали відповідних синапсів 1-го шару.

Таким чином застосування НМ в АСУБП дозволяє ефективно вирішувати задачу синтезу (прогнозування та управління ризиками) та виробити вектор управляючих дій щодо мінімізації впливу факторів ризику[79,67].

## 2.5. Формалізація методів «Простору безпеки», класифікація та характеристики умов виникнення ризиків

У розділі 1 було приведено детальне трактування і застосування поняття ризику, яке дозволяє переводити небезпеку в розряд вимірюваних категорій. Ризик, фактично, є міра небезпеки. Часто використовується поняття "ступінь ризику" (Level of risk), по суті, не відрізняється від поняття ризик, але лише підкреслює, що мова йде про вимірювану величину.

В даний час на зміну концепції абсолютної безпеки прийшла концепція "прийнятної" (допустимого) ризику. Це поняття походить від прийнятого в сучасній науковій літературі терміна - "принцип прийнятної ризику", відомого як принцип ALARA (аббревіатура від "As Low As ReasonabLe AchievabLe": "настільки низько, наскільки це досяжно в межах розумного", з огляду на соціальні та економічні фактори).

В інших країнах масштаби використання концепції "прийнятної" ризику в законодавстві більш обмежені, але в багатьох країнах існує тенденція до її все більш повного застосування (табл.2.5.1).

Оскільки межі допустимого ризику важко раціонально обґрунтувати, при вирішенні складних технічних завдань слід використовувати порівняння ризиків в аналогічних ситуаціях. При цьому в аналізі слід орієнтуватися на найбільш несприятливі випадки. Встановлений таким чином вкрай несприятливий випадок загрози потрібно порівняти за частотою і величиною з раніше мали місце аналогічними ризиками. Тому Безпека – це стан, при якому можливість заподіяння шкоди особам або майну знижена до прийнятної рівня і підтримується на цьому або нижчому рівні за допомогою постійного процесу виявлення факторів небезпеки та управління факторами ризику для безпеки польотів[1].

Таблиця 2.5.1. Критерії прийнятності ризику в п'яти Європейських країнах

Країна	Определение приемлемости надзорными органами	Требуемое обоснование	Использование количественных оценок риска
Великобританія	Ризик повинен бути такий низький, як практично можливо	Доклад о діяльності, визначеної нормативами СІМАН	Ризик аварій $10^{-4}$ 1/год на межі прийнятності
Німеччина	Повинен задовольняти технічним правилам і не завдавати шкоди середовищу або значної шкоди населенню	Аналіз безпеки останнього стану	Тільки як частина аналізу безпеки. Ніякі кількісні показники не можуть бути задовільнено визначені
Франція	Реальне арбітражне просвітлення	Оценка технічного ризику та економічний аналіз	Ризик неприємних наслідків, який не повинен перевищувати $10^{-6}$ 1/год, - розглядається як мета, а не стандарт
Данія	Вимоги виражені в загальних термінах. Забруднення навколишнього середовища не вище порогових значень	Повинен бути прийнятним для авіаційної адміністрації	Ризик, не перевищує $10^{-6}$ 1/год прийнятний

Нідерланди	Небезпека повинна бути квантифікувати настільки точно, наскільки можливо	Доклад з БП повинен бути одобрено авіаційною адміністрацією. Пригодність операційного персоналу повинна бути оцінена.	Аналіз в термінах теорії ймовірності. Забезпечує максимальний приємний індивідуальний ризик АП $10^{-6}$ 1/год
------------	--	---	--

Застосування кількісних методів аналізу вимагає вибору критеріїв, для порівняння кількісних показників досліджуваних альтернатив вирішення проблеми щодо витрачених ресурсів і отриманих результатів. Вимоги до критеріїв показані на рис. 2.5.1.

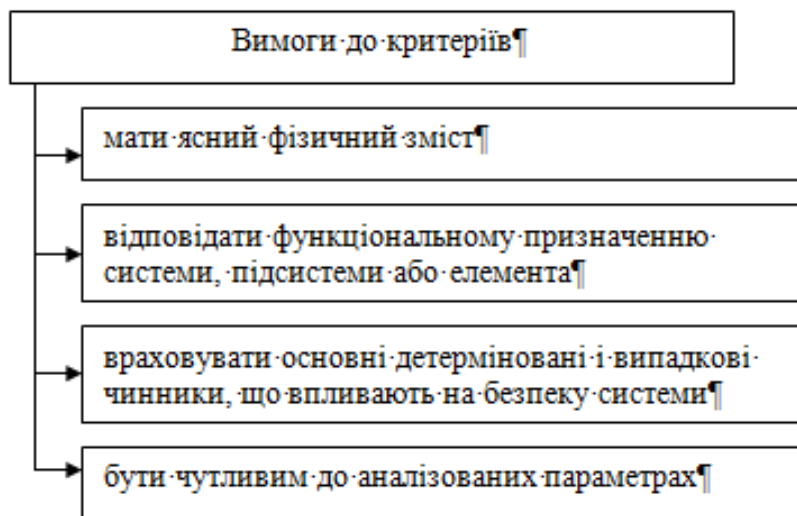


Рис 2.5.1. Вимоги до критеріїв

Кількісний аналіз проводиться на основі результатів вимірювання і прогнозування наслідків впливу небезпеки, прння якому необхідно оцінювати повноту і достовірність вихідних даних, адекватність і точність використовуваних схем і моделей, обґрунтованість прийнятих припущень і залежність від них одержуваних рекомендацій і висновків. Підходи до аналізу причинних зв'язків, що призводять до обставин АП наведено на рис. 2.5.2.

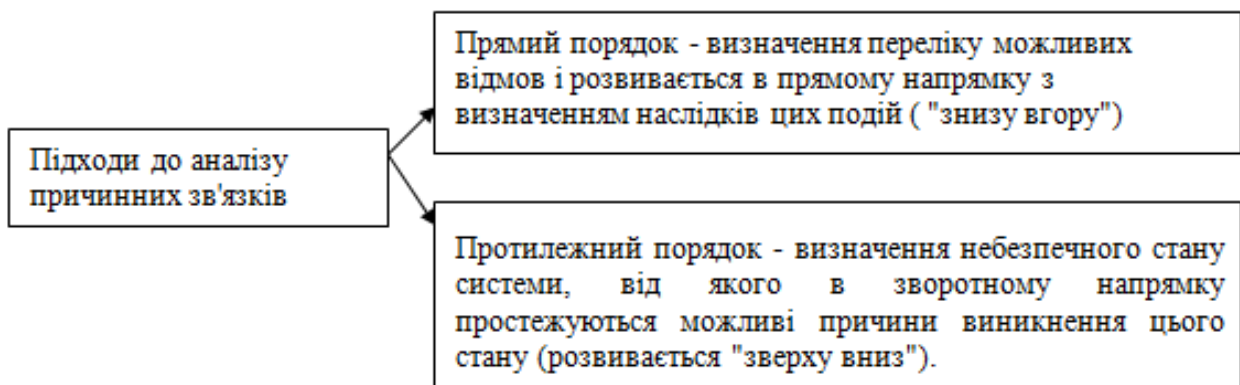


Рис. 2.5.2. прямий аналіз і аналіз на протилежне.

В інженерних методах аналізу використовуються обидва підходи. В одному з таких методів при побудові дерева подій використовується прямий порядок. Зворотний



порядок використовується для аналізу за допомогою дерев відмов. Для попереднього аналізу небезпек використовується як прямий підхід, так і зворотний.

При виконанні аналізу в прямому порядку розглядаються різні послідовності подій, (складаються відповідні цим послідовностям сценарії), які можуть призводити до небезпечних станів системи.

Зворотний підхід, тобто аналіз за допомогою дерева відмов, використовується при визначенні причинних зв'язків, що ведуть до даного небезпечного стану системи. Саме небезпечний стан розглядається як кінцева подія дерева відмов. При цьому задається питання: з яких причин може статися відмова системи (виникнути небезпечний стан). Дане конкретний кінцевий подія є лише одним з багатьох можливих небезпечних станів системи, що представляють інтерес для аналізу; дерево відмов саме по собі не виявляє можливих небезпечних подій в системі. Великі системи можуть мати багато всіляких кінцевих подій і відповідних їм дерев відмов.

Пряма логіка часто називається індуктивною; логіка, яка використовується при зворотному порядку аналізу, називається дедуктивною.

Метою попереднього аналізу небезпек є визначення топографії системи, її частини або окремого елемента, виявлення потенційних небезпек або небезпечних станів, які можуть створювати система або її елементи в ході роботи і які можуть привести до небезпечних подій, тобто визначення тієї частини системи, де потрібно провести більш детальний аналіз.

В авіації ризик АП, перш за все, пов'язаний з безконтрольним вивільненням енергії рухомого ПС.

Оскільки одні частини системи (ПС, системи «екіпаж-ПС» і т.д.) становлять велику небезпеку, ніж інші, на самому початку аналізу слід розбити систему або технологічний процес на підсистеми (етапи), для того щоб виконати попередній аналіз небезпек в послідовності показаної на рис 2.5.3.

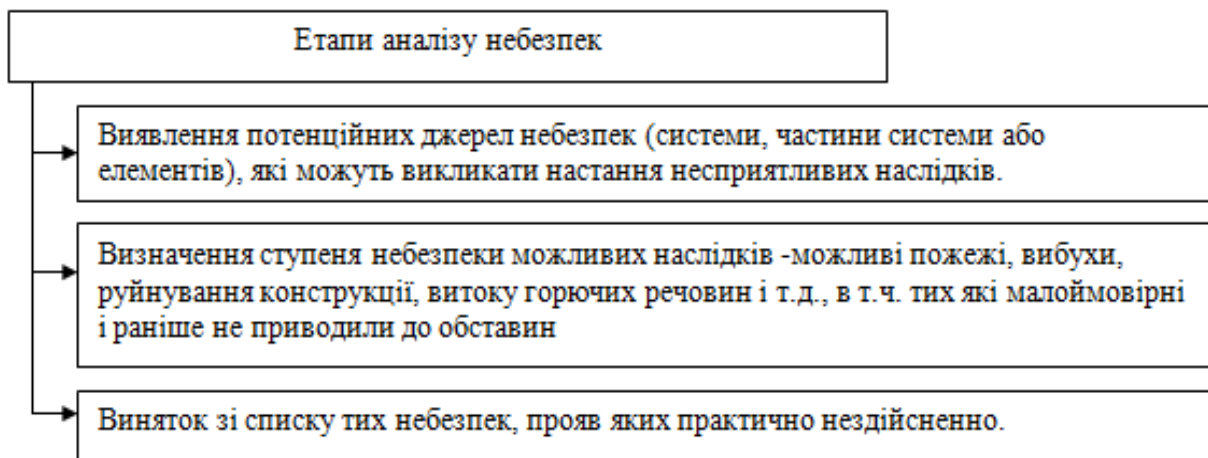


Рис. 2.5.3. Етапи виявлення небезпек

Процедура нерідко включає в себе не тільки попереднє виявлення елементів системи або подій, які можуть призвести до небезпечних ситуацій. Завдання аналізу розширюються з використанням кількісних (формалізованих) прийомів порівняння, включенням в розгляд послідовності подій, що перетворюють небезпеки в події, а також коригуючих заходів (контрзаходів) для усунення небезпеки. Результатом будуть: перелік небезпек, причинно-наслідкові ланцюжки настання несприятливих наслідків і коригувальні дії. На цій основі в подальшому розгортається детальний кількісний аналіз. Іншими словами - виявляються пріоритети і види небезпек, які слід розглядати більш детально. Методи перевірконого листа., та що буде якщо....

Детальний аналіз проводиться за сукупністю зібраних контрольних карт і полягає в наступному:

1. Небезпеки систематизуються за місцем і часу дії в технологічній операції, що дозволяє краще оцінити серйозність і тривалість небезпеки.

2. Виявляються початкові причини виникнення небезпеки, (замість використання проміжних ознак виявляються на етапі загального аналізу).

3. Детально оцінюється впливу контрзаходів, що важко зробити в загальному аналізі.

4. Простежується вплив кожної контрзаходи на всі елементи системи з метою виявлення таких станів системи, при яких небезпека події зростає через негативного впливу коригувальних заходів на роботу інших елементів системи.

Наступний етап детального аналізу - матричне представлення результатів аналізу. Його мета - представити інформацію про витрати і ефективності контрзаходів в стислій і логічною формі. При цьому інформація не обробляється, що не формалізується, а тільки лише представляється в зручному вигляді для прийняття правильного рішення. Як правило, проводиться порівняння альтернативних варіантів контрзаходів і різних типів небезпек.

У матриці елементи небезпеки, виявлені в ході детального аналізу, розташовуються в порядку важливості. Альтернативні варіанти вказуються в вертикальному стовпці і тут же зазначаються витрати на дану контрзахід. В поле матриці в місцях перетину небезпек і контрзаходів вказуються символи:

"-" - усунення елемента небезпеки, R - зниження небезпеки,

X - небезпека не змінилася, I - небезпека збільшилася.

Економічна ефективність заходів являє собою додаткову змінну, певну в ході детального аналізу. Матричне уявлення не гарантує оптимальність рішення, оскільки призначене тільки для полегшення процесу прийняття управлінського рішення за рахунок упорядкування результатів якісної оцінки небезпек. В даний час авіація є безпечною системою (тобто системою, яка зазнає менше одного катастрофічного розбиття на безпеку кожні мільйон виробничих циклів). Основною тенденцією сучасної АД є прийняття ділового підходу до УБП. Система управління безпекою авіації включає інструменти управління бізнесом для управління безпекою. Розробка інструментів управління бізнесом, спрямована на розвиток авіаційного "простору безпеки". В межах "простору безпеки" авіаційна організація може забезпечувати оперативну діяльність з упевненістю, що вона перебуває в межах максимального опору ризику для безпеки наслідків небезпеки. Основними межами "простору безпеки" є виробництво та захист [2]. З цієї точки зору дуже важливо знайти найбільш правильні методи визначення цих кордонів, щоб запобігти проблемі неправильного розподілу ресурсів авіаційних організацій. Є дві сторони для простору безпеки або двох кордонів: фінансової (виробничої) кордону та межі безпеки (захисту) [2].

Фінансова (виробнича) межа визначається фінансовим управлінням організації. Межа безпеки / охорони приміщення безпеки повинна визначатися керівництвом з безпеки організації. Ця межа запобігає неправильному розподілу ресурсів, що може призвести до катастрофи.

Розглянувши вищезгадану інформацію, пошук нових методів оцінки "космічного простору" авіації є актуальним і важливим для майбутньої безпеки, ефективності та розвитку цивільної авіації. Існують різні тести гіпотез, які можна знайти в підручниках з статистики. Нижче наводиться ефективний тест, запропонований А. Вальдом [11], який, на думку авторів, може бути дуже ефективним для покращення точності визначення площі авіаційної організації, яка називається "безпечним простором".

Гіпотеза є запропонованим поясненням явища. Для того, щоб гіпотеза була науковою гіпотезою, науковий метод вимагає, щоб його можна було протестувати. В основному вчені засновують наукові гіпотези на попередніх спостереженнях, які не можуть бути задовільно пояснені доступними науковими теоріями. Незважаючи на те,

що слова "гіпотеза" та "теорія" часто використовуються синонімами, наукова гіпотеза не така ж, як наукова теорія.

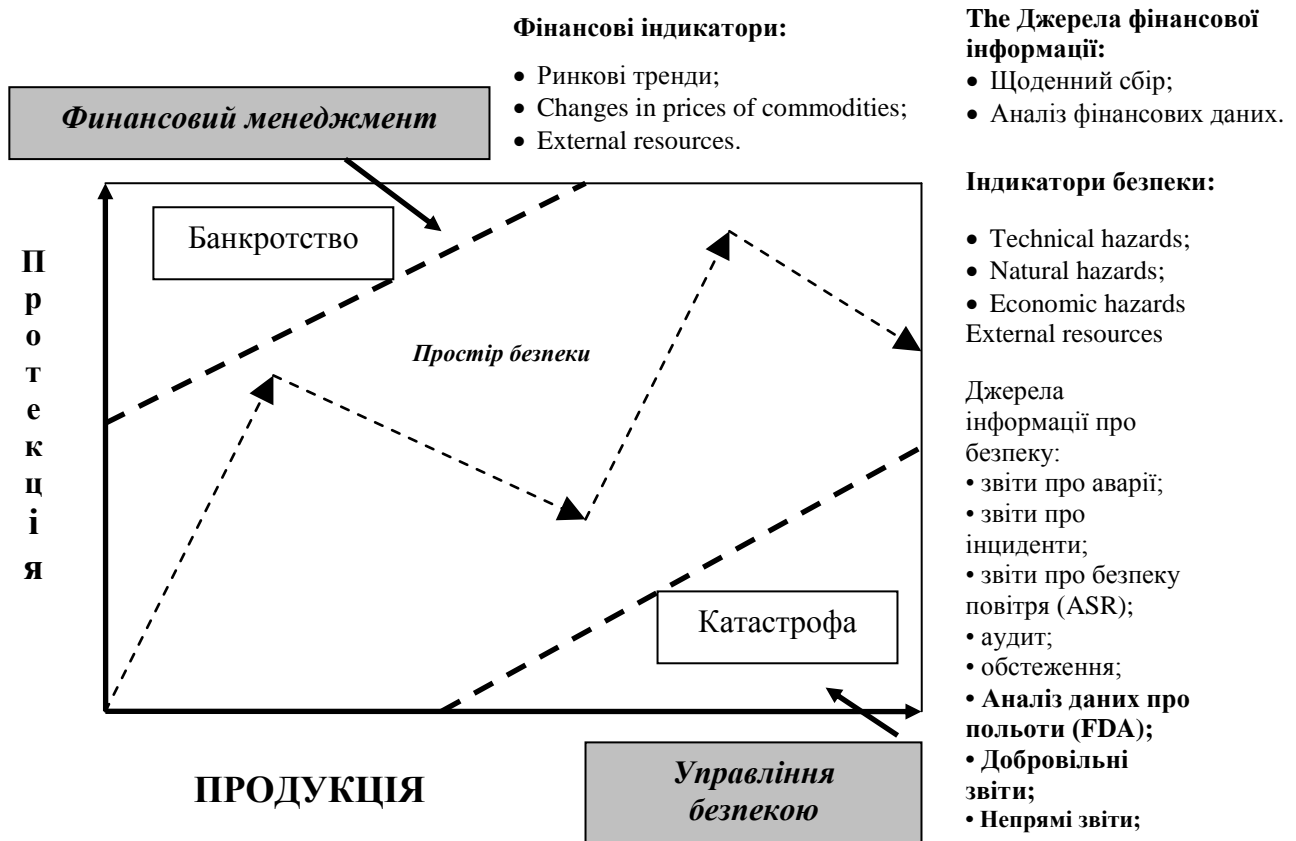


Рис. 2.5.4. Простір безпеки

Статистична гіпотеза, як правило, є твердженням про сукупність параметрів розподілу населення. Це називається гіпотезою, оскільки невідомо, чи це правда.

Наприклад, розглянемо певну нормальну розподілену популяцію, яка має невідоме середнє значення  $\theta$  та відома дисперсія 1. Поняття " $\theta = 2$ " - це статистична гіпотеза, яку ми можемо спробувати випробувати шляхом спостереження випадкової вибірки з цієї популяції. Він називається нульовою гіпотезою і позначається  $H_0$ . Символічно ми можемо висловити нульову гіпотезу як

$$H_0: \theta = 2. \quad (2.5.1)$$

Первинна проблема полягає у розробці процедури визначення того, чи є значення випадкової вибірки з цієї популяції узгодженою з гіпотезою. Цей процес називається тестуванням гіпотез. Якщо випадкова вибірка вважається такою, що відповідає розглянутій гіпотезі, ми кажемо, що гіпотеза була "прийнята"; Інакше ми скажемо, що це було "відхилено".

Альтернативою нульовій гіпотезі, яку випробувач фактично намагається встановити, називають альтернативною гіпотезою і позначається  $H_1$ . Для нашого прикладу,  $H_1$  - гіпотеза про те, що " $\theta$  менше 2", який можна записати символічно як

$$H_1: \theta < 2. \quad (2.5.2)$$

Нехай  $X$  - випадкова величина з розподілом імовірності  $f(x)$ . Нехай перевірена гіпотеза  $H_0$  є твердженням про те, що розподіл  $X$  є. Припустимо, що альтернативна гіпотеза  $H_1$  заявляє, що розподіл  $X$  визначається як  $f(x, \theta_0)$

Якщо ми позначимо серію  $n$  спостережень, то ймовірність цих  $n$  спостережень дається

Якщо ми позначимо серію  $n$  спостережень за  $X_n = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , То ймовірність цих  $n$  спостережень дається

$$P_0 = \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta_0) \quad (2.5.3)$$

якщо  $H_0$  вірно

та

$$P_1 = \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta_1) \quad (2.5.4)$$

якщо  $H_1$  вірно.

Покладено поточні тести статистичної гіпотези 1) сумнів щодо вірності гіпотези, 2) можливість як мінімум двох результатів: А) прийняти гіпотезу, Б) відхилити його

На відміну від поточної процедури випробувань метод послідовних тестів статистичної гіпотези доповнюється третім результатом: «не знаю». У такому випадку схема тестування гіпотези передбачає наступну форму

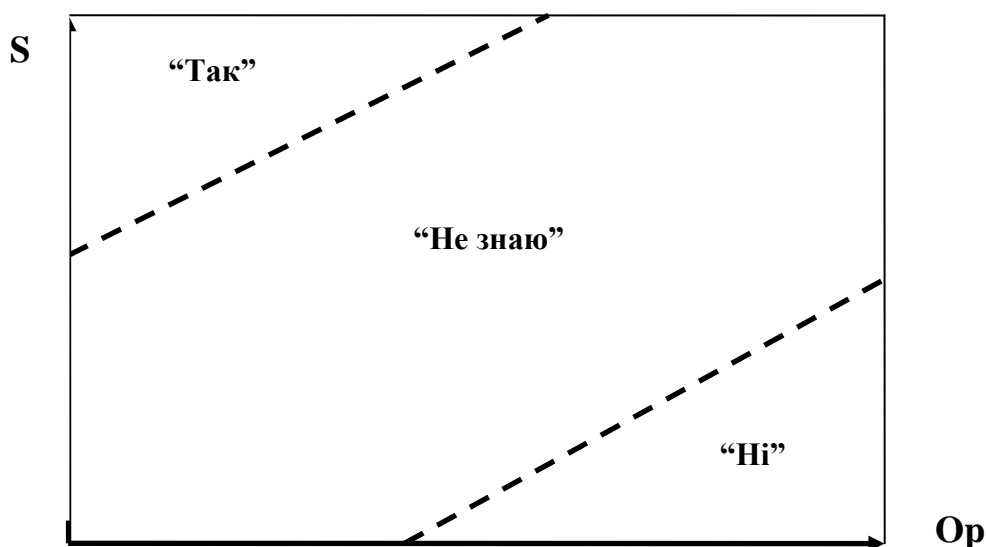


Рис 2.5.5. Приймається схема тестування гіпотези  
Співвідношення правдоподібності може бути написано таким чином:

$$L = \frac{P_1}{P_0} = \prod_{i=1}^n \frac{f(x_i, \theta_1)}{f(x_i, \theta_0)} \quad (2.5.5)$$

Або за логарифмічною формою:

$$\lg L_n = \lg P_1 - \lg P_0 = \sum_{i=1}^n [\lg f(x_i, \theta_1) - \lg f(x_i, \theta_0)] \quad (2.5.6)$$

Цей логарифм коефіцієнта правдоподібності  $\lg L_n$  оцінюється після кожного  $i$ -го експерименту і порівнюється з довірчими межами  $\lg A$  та  $\lg B$ , які визначаються на основі значень помилок першого типу ( $\alpha$ ) та другого типу ( $\beta$ ), де

$P(\text{відхилення } H_0 \mid H_0 \text{ істинно}) \leq \alpha$ ,

$P(\text{прийняти } H_0 \mid H_1 \text{ істинно}) \leq \beta$ .

А. Вальд показав, що нижня межа  $A$  задана

$$A = \frac{\beta}{1-\alpha} \leq 1 \quad (2.5.7)$$

І верхній В дається

$$B = \frac{1-\beta}{\alpha} \geq 1. \quad (2.5.8)$$

Експерименти продовжуються, якщо немає достатніх підстав приймати одну з двох гіпотез та використовуються для оцінки так званого коефіцієнта правдоподібності.  $A$  - це співвідношення двох функцій правдоподібності, один з них відповідає гіпотезі  $H_0$ , другі альтернативні гіпотези  $H_1$ . Потім процедура SPRT є:

1. На кожному  $n$ -му етапі послідовного аналізу,
2. Якщо  $\lg L_n \leq \lg A$ , то гіпотеза  $H_0$  прийнята
3. Якщо  $\lg L_n \geq \lg B$ , то гіпотеза  $H_1$  прийнята.
4. Якщо  $\lg A < \lg L_n < \lg B$ , Приймає інше спостереження.

Для основної функції розподілу шляхом спеціальних перетворень були отримані лінійні рівняння для нижніх ( $S_0$ ) (і верхніх) ( $S_1$ ) рівнів:

$$S_0(n) = h_0 + kn \quad \text{and} \quad S_1(n) = h_1 + kn, \quad (2.5.9)$$

Де  $n$  - це, як наслідок, збільшується кількість експериментів і значення,  $k$ ,  $h_0$ ,  $h_1$ , наведені в таблиці 1 аналітичними виразами.

Крім того, параметри  $\theta_0$  і  $\theta_1$  як правило, вибираються за попередніми міркуваннями. Потім  $\alpha$  і  $\beta$  попередньо призначені,  $k$ ,  $h_0$ ,  $h_1$ , оцінюються для кожного  $i$ -го експерименту ( $i = 1, 2, \dots, n$  або  $i = Z_1, Z_2, \dots, Z_j, \dots, Z_n$ ), і

$$S_n = \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^s x_{ij} \right), \quad (2.5.10)$$

Який порівнюється з значеннями  $s_0$  і  $s_1$  оцінюється  $n=i$  як показано на рис.3. Одна з гіпотез  $H_0$  або  $H_1$  прийнята, як тільки точка з координатами  $(S_i, i)$  перетинає одну з граничних рядків.

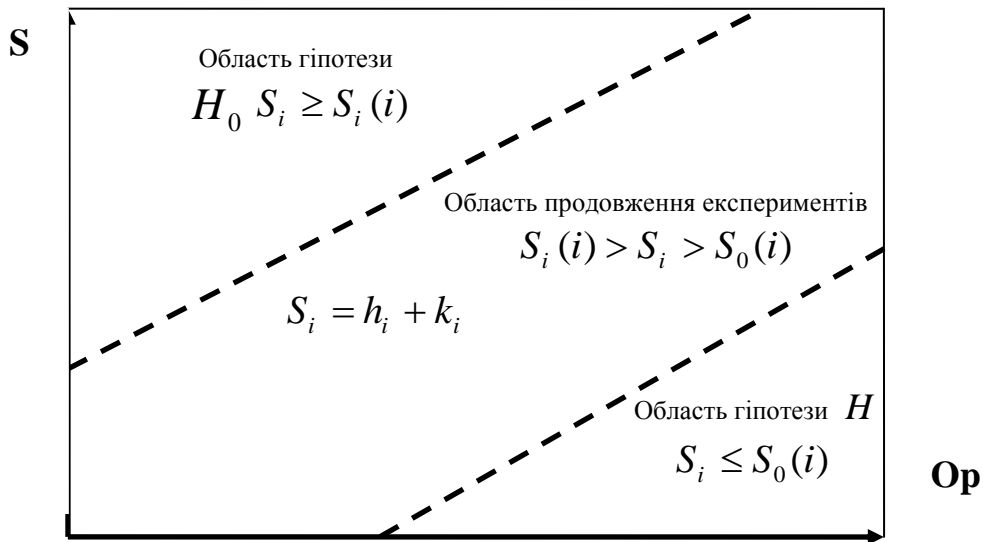


Рис 2.5.6. Пояснення послідовних тестів статистичної гіпотези

Ряд кроків  $V$  є випадковою величиною, яка залежить від "близькості" гіпотез (відмінність  $\theta_1 - \theta_0$ ), значень  $\alpha$  та  $\beta$  ймовірності істинності чи хибності гіпотез.

Практично за попередньо встановленими вибраними значеннями  $\alpha$  і  $\beta$  відповідністю між значеннями параметрів  $\theta_0$  та  $\theta_1$  очікуванням кількості кроків, необхідних для виконання послідовної процедури тестування  $M(v, H_0)$ , щоб прийняти гіпотезу,  $H_0$  якщо вона є істиною;  $M(v, H_1)$  - прийняти гіпотезу  $H_1$ , якщо це вірно і  $M(v)$  - у гіршому разі.  $\theta = 0,5(\theta_1 + \theta_2)$

Формули для попередньо визначеної оцінки цих значень наведені в таблиці 1. Ефективність послідовного аналізу оцінюється за формулою

$$E = 1 - M(v) : N \quad (2.5.11)$$

Очевидно, що якщо,  $E > 0$  послідовна процедура є переважною порівняно з поточною, якщо дозволяють обмеження.

Таблиця 2.5.2. Формули для визначення меж області поведінки, методів часових рядів

Тип розподілу	Коефіцієнт схилю k	Абсолютний термін у виразі $H_0 : h_0$	Абсолютний термін у виразі $H_1 : h_1$
Біноміальний розподіл $P_0$ и $P_1$	$\frac{\lg \frac{1-P_1}{1-P_0}}{\lg \frac{P_1}{P_0} - \lg \frac{1-P_1}{1-P_0}}$	$\frac{\lg \frac{\beta}{1-\alpha}}{\lg \frac{P_1}{P_0} - \lg \frac{1-P_1}{1-P_0}}$	$\frac{\lg \frac{\beta}{1-\alpha}}{\lg \frac{P_1}{P_0} - \lg \frac{1-P_1}{1-P_0}}$
Нормальний розподіл, (Розподіл гауса)	$\frac{M_1(X) + M_2(X)}{2}$	$\frac{D(X)}{M_1(X) - M_0(X)} \cdot \lg \frac{\beta}{1-\alpha}$	$\frac{D(X)}{M_1(X) - M_0(X)} \cdot \lg \frac{1-\beta}{\alpha}$
Експоненціальний розподіл $\lambda = \frac{M(X)}{D(X)}$	$\frac{\lg \frac{\lambda_1}{\lambda_0}}{\lambda_1 - \lambda_0}$	$-\frac{\lg \frac{\beta}{1-\alpha}}{\lambda_1 - \lambda_0}$	$-\frac{\lg \frac{1-\beta}{\alpha}}{\lambda_1 - \lambda_0}$

У всіх прикладах  $S = \sum_{i=1}^N x_i = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^s x_{ij} \right)$ , коли нормальний розподіл  $x_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{an event did not appear} \\ 1 & \text{an event appeared} \end{cases}$ , коли нормальний та експоненціальний розподіл  $x_{ij}$  - Вказується значення в  $ij$  - Встановити коли  $z$  tests  $z \geq 1$  І випадкові величини  $X$ .

Застосування послідовного тесту коефіцієнта ймовірності особливо важливе для визначення площі авіації під назвою "простір безпеки". Через різного характеру авіаційних небезпек (технічних, природних та економічних) та різноманітності каналів інформації про безпеку (звіти про аварії та інциденти, аудити, огляди, аналіз польотних даних (FDA), добровільні і небажані звіти та конфіденційні повідомлення), використання послідовних Тест коефіцієнта ймовірності підвищує точність оцінки "безпечного простору". Це полегшує пошук правильних відповідей на нові загрози та є передумовою для подальшого підвищення рівня БП АД.

Хоча в плані забезпечення БП способи і засоби завчасного попередження існують, в більшості випадків вони ігноруються або не беруться до уваги, а організації дізнаються про те, що вони не збалансували розподіл ресурсів тоді, коли трапляється пригода або серйозний інцидент. Таким чином, на відміну від фінансового управління, відповідно до концепції безпеки польотів як відсутність пригод або серйозних інцидентів, організація вважає ознакою успішного УБП наявність найгірших підсумків (або, швидше, їх відсутність). Такий підхід-це не УБП, а контроль збитку. Авіаційним організаціям необхідно перейти до підходу УБП для визначення кордону безпеки, з тим щоб замкнути контур з "фінансової кордоном" і таким чином визначити простір безпеки організації [1].

Таблиця 2.5.3. Формула для апіорної оцінки середньої кількості кроків для послідовної процедури Вальда

Тип розподілу	Для прийняття "нуля" - гіпотеза, якщо вона є вірною, $M(v, H_1)$	Для прийняття "альтернативи" гіпотеза, якщо вона є вірною $M(v, H_1)$	У самому несприятливому випадку $M(v)$
Біноміальний розподіл	$\frac{(1-\alpha) \lg \frac{\beta}{1-\alpha} + \alpha \cdot \lg \frac{1-\beta}{\alpha}}{P_0 \lg \frac{P_1}{P_0} + (1-P_0) \cdot \lg \frac{1-P_1}{1-P_0}}$	$\frac{\beta \lg \frac{\beta}{1-\alpha} + (1-\beta) \cdot \lg \frac{1-\beta}{\alpha}}{P_1 \lg \frac{P_1}{P_0} + (1-P_1) \cdot \lg \frac{1-P_1}{1-P_0}}$	
Нормальний розподіл	$\frac{(1-\alpha) \lg \frac{\beta}{1-\alpha} + \alpha \lg \frac{1-\beta}{\alpha}}{\left[ \frac{M_1(X) - M_0(X)}{\sigma(X)} \right]^2}$	$\frac{\beta \lg \frac{\beta}{1-\alpha} + (1-\beta) \lg \frac{1-\beta}{\alpha}}{\left[ \frac{M_1(X) - M_0(X)}{\sigma(X)} \right]^2}$	$\frac{-\lg \frac{\beta}{1-\alpha} \cdot \lg \frac{1-\beta}{\alpha}}{\left[ \frac{M_1(X) - M_0(X)}{\sigma(X)} \right]^2} = -\frac{h_0 h_1}{D(X)}$
Експоненціальний розподіл	$\frac{(1-\alpha) \lg \frac{\beta}{1-\alpha} + \alpha \lg \frac{1-\beta}{\alpha}}{\lg \frac{\lambda_1}{\lambda_0} - \frac{\lambda_1 - \lambda_0}{\lambda_1}}$	$\frac{\beta \lg \frac{\beta}{1-\alpha} + (1-\beta) \lg \frac{1-\beta}{\alpha}}{\lg \frac{\lambda_1}{\lambda_0} - \frac{\lambda_1 - \lambda_0}{\lambda_1}}$	$\frac{-\lg \frac{\beta}{1-\alpha} \cdot \lg \frac{1-\beta}{\alpha}}{\left( \lg \frac{\lambda_1}{\lambda_0} \right)^2} = -h_0 h_1 \cdot \frac{(\lambda_1 + \lambda_0)^2}{4}$

Кожне небажана подія може виникнути стосовно певної жертви - об'єкту ризику, та має характерні джерела виникнення. Класифікація і характеристики ризиків наведено в табл. 2.5.4.

Таблиця 2.5.4. Класифікація та характеристика типів ризику

Вид ризику	Об'єкт ризику	Джерело ризику	Небажана обставина
Індивідуальний	Людина	Умови життєдіяльності людини	Захворювання, травма, інвалідність, смерть
Технічний	Технічні системи і об'єкти	Технічна недосконалість, порушення правил експлуатації технічних систем та об'єктів	Аварія, вибух, катастрофа, пожежа, руйнація
Екологічний	Екологічні системи	Антропогенне втручання в природне середовище, техногенні надзвичайні ситуації	Антропогенні екологічні катастрофи, стихійні лиха
Соціальний	Соціальні групи	Надзвичайна ситуація, зниження якості життя	Групові травми, захворювання, загибель людей, зростання смертності
Економічний	Матеріальні ресурси	Підвищена небезпека виробництва або природного середовища	Збільшення витрат на безпеку, збиток від недостатньої захищеності

Індивідуальний ризик визначається ймовірністю реалізації потенційних небезпек при виникненні небезпечних ситуацій. Його можна оцінити числом подій, що принесли шкоду життю і здоров'ю людей в результаті прояву певного фактора ризику:

$$Ru = P(t) / L(f) \quad (2.5.12)$$

де  $Ru$  - індивідуальний ризик;

$P$  - число потерпілих (загиблих) в одиницю часу  $t$  від певного фактора ризику  $f$ ;

$L$  - число людей, схильних відповідного фактору ризику  $f$  в одиницю часу  $t$ .

Джерела і чинники індивідуального ризику наведено в табл. 2.5.2.

Таблиця 2.5.5. Джерела і чинники індивідуального ризику

Джерело індивідуального ризику	Найбільш поширений фактор ризику смерті
Внутрішнє середовище організму	Спадково-генетичні, психосоматичні захворювання, старіння



людини	
Віктимність	Сукупність особистісних якостей людини як жертви потенційних небезпек
Звичка	Куріння, вживання алкоголю, наркотиків, ірраціональне харчування
Соціальна екологія	Неякісні повітря, вода, продукти харчування; вірусні інфекції, побутові травми, пожежі
Професійна діяльність	Небезпечні та шкідливі виробничі фактори
Транспортні сполучення	Аварії та катастрофи транспортних засобів, їх зіткнення з людиною
Непрофесійна діяльність	Небезпеки, зумовлені аматорським спортом, туризмом, іншими захопленнями
Соціальне середовище	Збройний конфлікт, злочин, суїцид, вбивство
Навколишнє природне середовище	Землетрус, виверження вулкана, повінь, зсуви, ураган та інші стихійні лиха

Індивідуальний ризик може бути добровільним, якщо він обумовлений діяльністю людини на добровільній основі, і вимушеним, якщо людина піддається ризику у складі частини суспільства (наприклад, використання послуг потенційно небезпечного транспорту).

Технічний ризик- комплексний показник надійності елементів техносфери. Він висловлює ймовірність аварії або катастрофи при експлуатації машин, механізмів, реалізації технологічних процесів:

$$R_T = \frac{\partial T(t)}{T(f)} \quad (2.13)$$

де  $R_T$  - технічний ризик;

$\partial T$  - число пригод внаслідок відмов техніки в одиницю часу  $t$  на ідентичних технічних системах і об'єктах;

$T$  - число ідентичних технічних систем та об'єктів, схильних загальному фактору ризику  $f$ .

Джерела і фактори технічного ризику наведено в табл. 2.5.3.

Екологічний ризик виражає ймовірність екологічного лиха, катастрофи, порушення подальшого нормального функціонування та існування екологічних систем та об'єктів в результаті антропогенного втручання в природне середовище або стихійного лиха. Небажані події екологічного ризику можуть проявлятися як безпосередньо в зонах втручання, так і за їх межами :

Таблиця 2.5.6. Джерела і фактори технічного ризику

Джерело технічного ризику	Найбільш поширені фактори технічного ризику
Низький рівень науково-дослідних робіт	Помилковий вибір напрямків розвитку техніки і технології за критеріями безпеки
Дослідно-конструкторський робіт	Вибір потенційно небезпечних конструктивних схем і принципів дії технічних систем. Помилки та визначення експлуатаційних навантажень.

	Неправильний вибір конструкційних матеріалів.. Відсутність в пректі технічних засобів безпеки
Дослідне виробництво нової техніки	Неякісна доведення конструкцій, технології, документації по критеріям безпеки
Серійний вибір безпечної техніки	Відхилення від заданого хімічного складу конструкційних матеріалів. Порухення режимів термічної і хіміко-термічної обробки деталей. Порухення регламентів складання і монтажу конструкцій і машин
Порухення правил безпечної експлуатації технічних систем	Використання техніки і не за призначенням. Порухення паспортних (проектних) режимів експлуатації. Несвоечасні профілактичні огляди та ремонти. Порухення вимог транспортування і зберігання
Помилка персоналу	Слабкі навички дії у складній ситуації. Невміння оцінювати інформацію про стан процесу. Слабке знання сутності процесу, що відбувається

$$R_0 = \frac{\partial O(t)}{0} \quad (2.5.14)$$

де  $R_0$  - екологічний ризик;

$\partial O$  - число антропогенних екологічних катастроф і стихійних лих в одиницю часу  $t$ ;

$0$  - число потенційних джерел екологічних руйнувань на розглянутій території.

Соціальний ризик характеризує масштаби і тяжкість негативних наслідків різного роду явищ і перетворень, що знижують якість життя людей.

По суті - це ризик для групи чи спільноти людей.

Оцінити його можна, наприклад, за динамікою смертності, розрахованої на 1000 осіб відповідної групи:

$$R_c = \frac{1000 \cdot (C_2 - C_1)}{L} \cdot (t) \quad (2.5.15)$$

де  $R_c$  - соціальний ризик;

$C_1$  - число померлих в одиницю часу  $t$  (смертність) в досліджуваній групі на початку періоду спостереження, наприклад до розвитку негативних соціальних подій;

$C_2$  - смертність в тій же групі людей в кінці періоду спостереження;

$L$  - загальна чисельність досліджуваної групи.

Джерела і поширені фактори соціального ризику наведені в табл. 2.5.7.

Таблиця 2.5.7. Джерела і чинники соціального ризику

Джерело соціального ризику	Найбільш поширені фактори соціального ризику
Урбанізація екологічно нестійких територій	Поселення людей в зонах можливого затоплення, освіта зсувів, селів ландшафтних пожеж, і виверження вулканів, підвищеної сейсмічності регіону
Промислові технології та об'єкти	Авіаційно-Транспортні катастрофи.

підвищеної небезпеки	Техногенне забруднення навколишнього середовища.
Соціальні та військові конфлікти	Бойові дії. Застосування зброї масового ураження.
Епідемії	Поширення вірусних інфекцій
Зниження якості життя	Безробіття, голод, злидні. Погіршення медичного обслуговування. Низька якість продуктів харчування. Незадовільні житлово-побутові умови

Економічний ризик визначається співвідношенням користі і шкоди, одержуваних суспільством від розглянутого виду діяльності:

$$R_{\text{э}} = \frac{B}{\Pi} \cdot 100 \quad (2.5.16)$$

де  $R_{\text{э}}$  - економічний ризик, %;

$B$  - шкоду суспільству від розглянутого виду діяльності;

$\Pi$  - користь.

$U$  загальному вигляді

$$B = Z_{\text{б}} + U \quad (2.5.17)$$

де  $Z_{\text{б}}$  - витрати на досягнення поточного рівня безпеки;

$U$  - збиток, зумовлений недостатньою захищеністю людини і середовища її проживання від небезпек.

Чистий користь, тобто сума всіх вигод (у вартісному вираженні), одержуваних суспільством від розглянутого виду діяльності:

$$\Pi = D - Z_{\text{п}} - U > 0 \text{ або } \Pi = D - Z_{\text{п}} - Z_{\text{б}} - U > 0 \quad (2.5.18)$$

де  $D$  - загальний дохід, що отримується від розглянутого виду діяльності;

$Z_{\text{п}}$  - основні виробничі витрати.

Формула економічно обґрунтованої безпеки життєдіяльності має вигляд

$$U < D - (Z_{\text{п}} + Z_{\text{б}}) \quad (2.5.19)$$

В умовах АД необхідний пошук оптимального співвідношення витрат на безпеку і можливого збитку від недостатньої захищеності. Знайти його можна, якщо задатися деяким значенням реально досяжного рівня безпеки діяльності. Це завдання можна вирішити оптимізаційними методами[30].

## 2.6. Визначення принципів управління факторами ризику при здійсненні авіаційної діяльності

Аналіз ризику може бути визначений як процес вирішення складної завдання, що вимагає розгляду широкого кола питань, проведення комплексного дослідження та оцінки технічних, економічних, управлінських, соціальних, а в ряді випадків і політичних чинників.

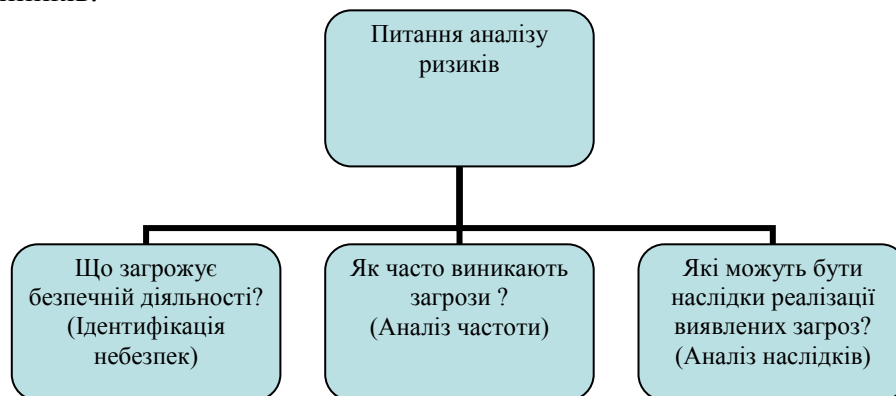


Рис 2.6.1. Питання аналізу ризиків

Основний елемент аналізу ризику - ідентифікація небезпеки (виявлення можливих загроз), які можуть призводити до негативних наслідків. Перше, з чого починається будь-який аналіз ризику, - це планування та організація робіт.

Наступний етап аналізу ризику - ідентифікація небезпек. Основне завдання - виявлення (на основі інформації про роботу об'єкту, результатів експертизи та досвіду роботи подібних систем) і чіткий опис всіх притаманних системі небезпек. Це відповідальний етап аналізу, оскільки не виявлення на цьому етапі небезпеки не піддаються подальшому розгляду і зникають з поля зору системи управління ризиками. Далі проводиться попередня оцінка небезпек з метою вибору одного з можливих напрямків робіт.



Рис 2.6.2. Основні етапи ризик- аналізу

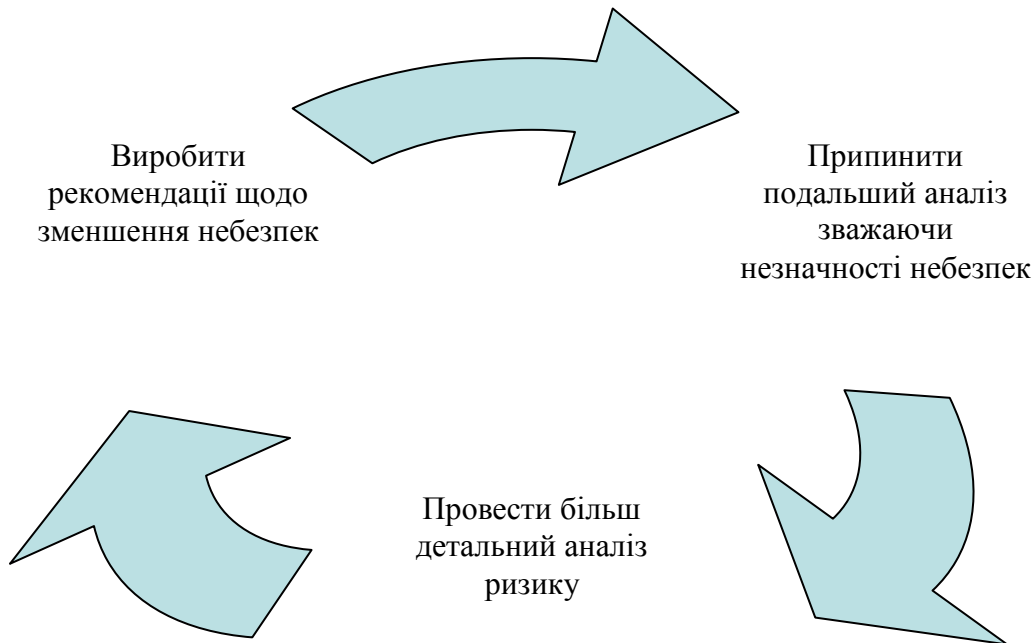


Рис 2.6.3. Етапи визначення небезпек

Останній етап аналізу ризику технологічної системи-розроблення рекомендацій щодо зменшення рівня ризику (управління ризиком) здійснюється у разі, якщо ступінь ризику вище прийнятною.

При проведенні аналізу рівня ризику необхідно керуватися наступними принципами (або їх поєднаннями), які наведено на рис.2.6.4.

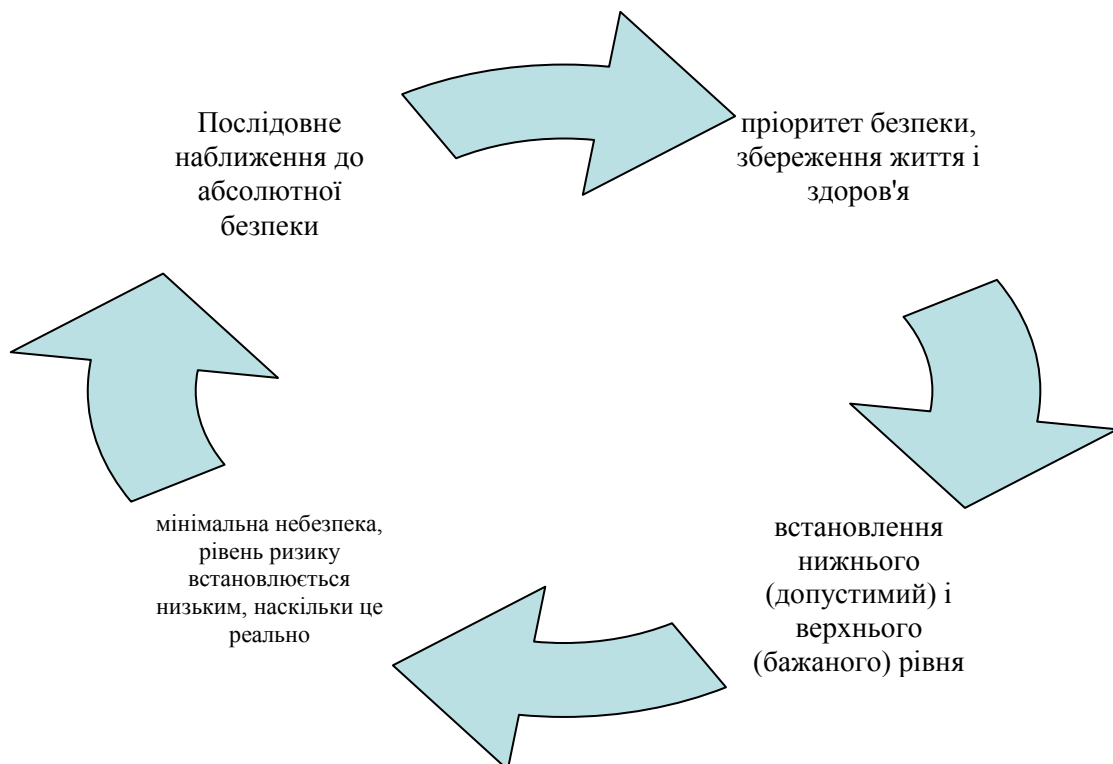


Рис 2.6.4. Принципи аналізу рівня ризику

У більшості країн світового співтовариства в даний час прийнята концепція «прийнятної ризику» (ALARA—as low as risk acceptable), що дозволяє використовувати принцип «передбачати і попередити». Ця загальновизнана концепція знайшла відображення в чотирьох основних постулатах:

Під терміном «управління ризиком» розуміється сукупність дій, спрямованих на зниження рівня технологічного ризику, зменшення потенційних втрат та інших

негативних наслідків небажаних подій[30]. По суті справи, мова йде про запобігання виникнення подій у ході виробничої діяльності та заходи по локалізації негативних наслідків у тих випадках, коли небажані події відбулися.

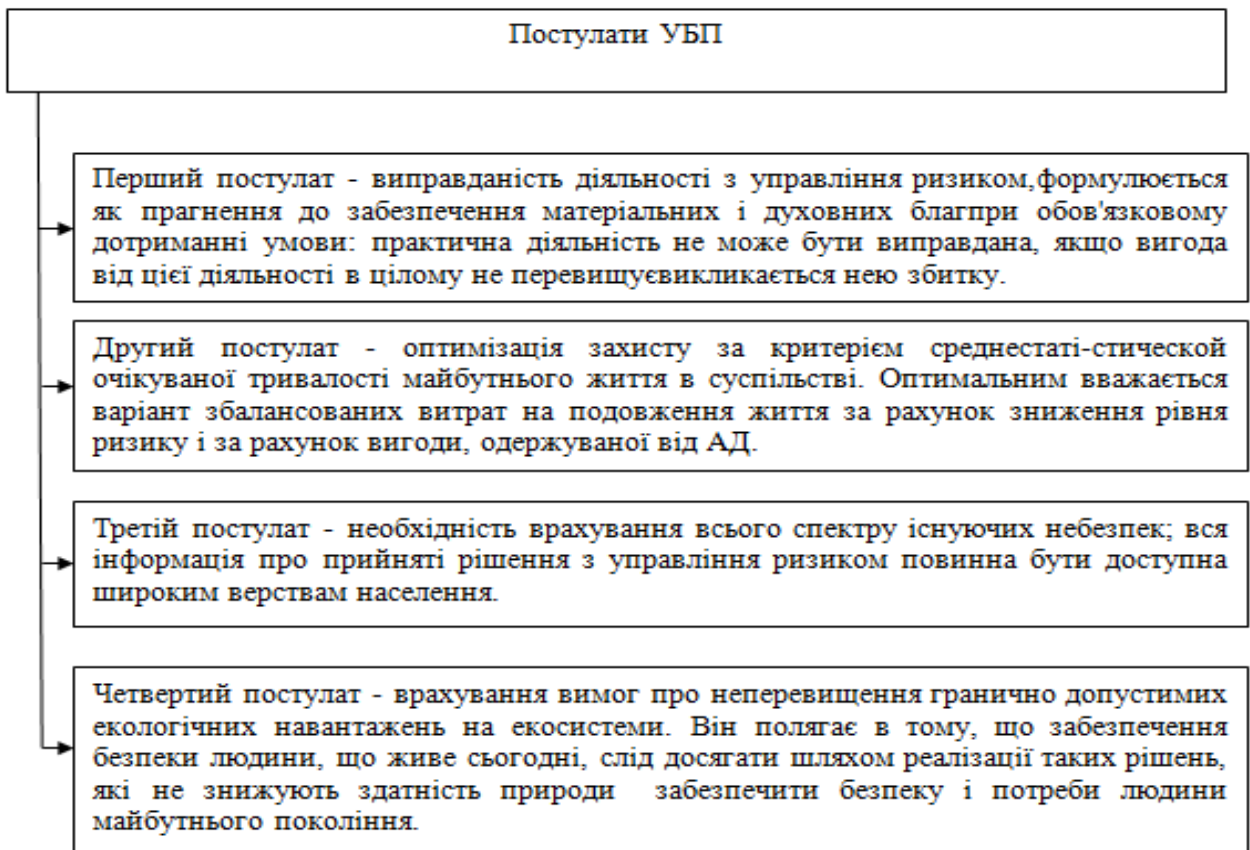


Рис 2.6.5 Постулати УБП

Особливістю такої стратегії забезпечення безпеки є комплексність вживаються дій, що включає в себе різні аспекти - технічні, організаційно-управлінські, соціально-економічні, медичні, біологічні та ін..

Небезпека, будучи основним ініціатором розгляду проблем управління ризиком, зазвичай визначається як об'єктивно існуюча можливість негативного впливу на суспільство, особистість, природне середовище, в результаті якого їм може бути заподіяна будь-які збитки, шкоду, погіршує стан, що надає їх розвитку небажані динаміку або параметри (темпи, форми і т.д.).

На рис. 2.6.6. зображена широко прийнята загальна візуальна схема процесу управління факторами ризику для безпеки польотів. Трикутник зображений вершиною вниз, припускаючи тим самим, що авіація (як будь-яка інша соціально-технічна виробнича система) з точки зору факторів ризику для безпеки польотів "перенасичена у верхній частині": більшість факторів ризику для безпеки польотів, пов'язаних з наслідками факторів небезпеки, оцінюватимуться як спочатку потрапляють в неприпустиму зону. Менша кількість факторів ризику для безпеки польотів, пов'язаних з наслідками факторів небезпеки, буде оцінюватися таким чином, що дана оцінка потрапляє прямо в допустиму зону, а ще менше число буде оцінюватися таким чином, що дана оцінка потрапляє прямо в прийнятну зону.

Фактори ризику для безпеки польотів, які оцінюються як спочатку потрапляють в неприпустиму зону, є неприйнятними за будь-яких обставин. Імовірність і/або серйозність наслідків факторів небезпеки настільки великі, а заподіює шкоду потенціал небезпеки представляє таку загрозу життєздатності організації, що потрібне прийняття негайних заходів щодо зменшення небезпеки. Взагалі кажучи, в організації є дві альтернативи для переміщення факторів ризику для безпеки польотів в допустиму або прийнятну зони:

1. виділити ресурси для зменшення схильності завдається шкода потенціалу наслідків факторів небезпеки та/або знизити його масштаби;
2. якщо заходи по зменшенню небезпеки прийняти неможливо, припинити даний вид діяльності.

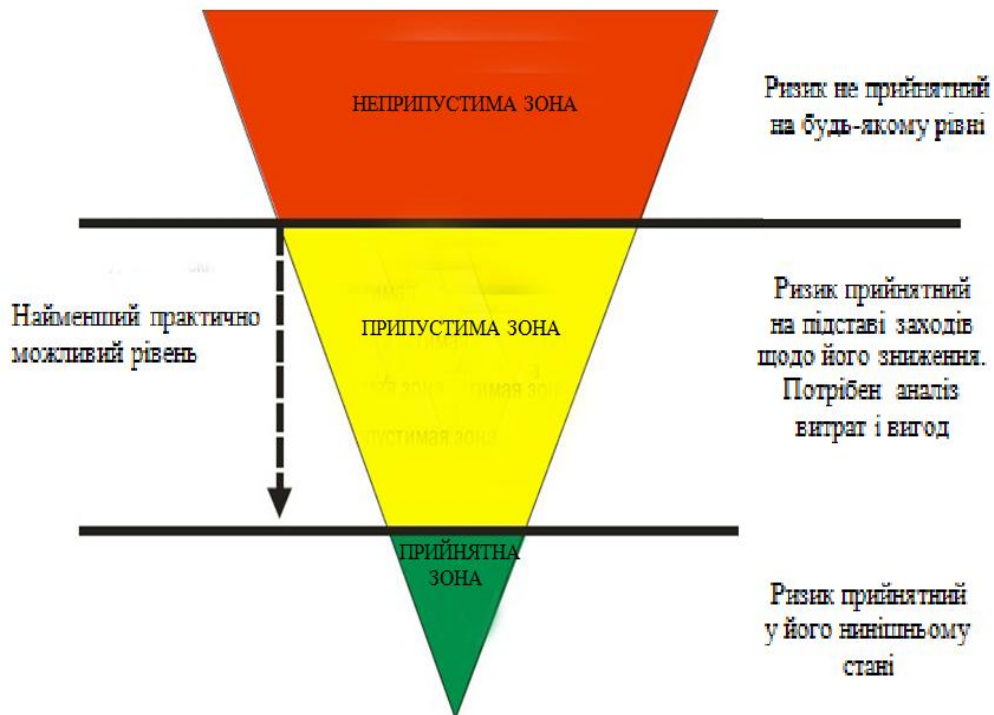


Рисунок 2.6.6. - Управління факторами ризику для безпеки польотів

Фактори ризику для безпеки польотів, які спочатку оцінюються як потрапляють в допустиму зону, є прийнятними за умови, що вже вжиті заходи щодо їх зниження гарантують, що в видимій ступеня ймовірність і/або серйозність наслідків факторів небезпеки знаходиться під організаційним контролем. Такий же критерій контролю стосується факторів ризику для безпеки польотів, які спочатку потрапляють в неприпустиму зону і за допомогою заходів щодо їх зниження переміщуються в допустиму зону. Фактор ризику для безпеки польотів, який спочатку оцінюється як неприпустимий, але який за допомогою заходів щодо його зниження переміщується в допустиму зону, повинен залишатися " захищеним " заходами щодо його зниження, які гарантують контроль над ним. В обох випадках потрібно аналіз витрат/вигод [30]:

1. Чи виправдані витрачені виділені ресурси на те, щоб поставити під організаційний контроль ймовірність і/або серйозність наслідків факторів небезпеки? або
2. Потрібно чи виділення таких величезних ресурсів, що це буде представляти більшу загрозу життєздатності організації, ніж забезпечення контролювання ймовірності та/або серйозності наслідків факторів небезпеки?

В основі управління факторами ризику для безпеки польотів лежить проведення аналізів витрат/вигод. При проведенні аналізів витрат/витрат необхідно враховувати два абсолютно різних види витрат: прямі витрати і непрямі витрати.

Прямі витрати - це очевидні витрати, які досить легко визначити. В основному вони відносяться до фізичного збитку і включають витрати на ремонт, заміну повітряних судів/обладнання або компенсацію за тілесні пошкодження та збитки майну. Великі витрати, пов'язані з втратою організаційного контролю над певними екстремальними наслідками факторів небезпеки, такими як авіаційні події, можна знизити за рахунок страхування. Проте слід мати на увазі, що страхування не має нічого спільного з тим, щоб поставити ймовірність і/або серйозність наслідків факторів небезпеки під організаційний контроль; воно тільки переносить ризик у грошовому

вираженні з організації на страхову компанію.

Ризик для безпеки польотів залишається невирішеним. Звичайний факт страхування для передачі грошового ризику навряд чи можна вважати стратегією управління безпекою польотів.

Непрямі витрати включають всі ті витрати, які безпосередньо не покриваються страхуванням. Непрямі витрати можуть перевищувати прямі витрати, що виникають в результаті втрати організаційного контролю над певними екстремальними наслідками факторів небезпеки. Такі витрати не завжди очевидні і часто матеріалізуються пізніше.

При проведенні аналізів витрат/вигод можна отримати результати, які будуть точними в цифровому вираженні і аналітично правильними. Проте при аналізі витрат/вигод мають значення й інші менш точні цифрові чинники, яких належать[30]:

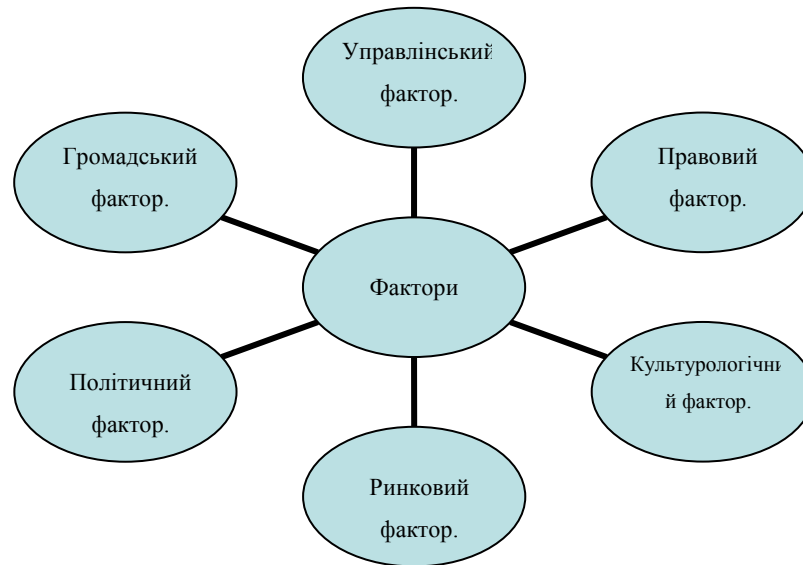


Рис. 2.6.7. Фактори УБП

Існує три загальних стратегії для контролю/зменшення факторів ризику для безпеки польотів[30]:

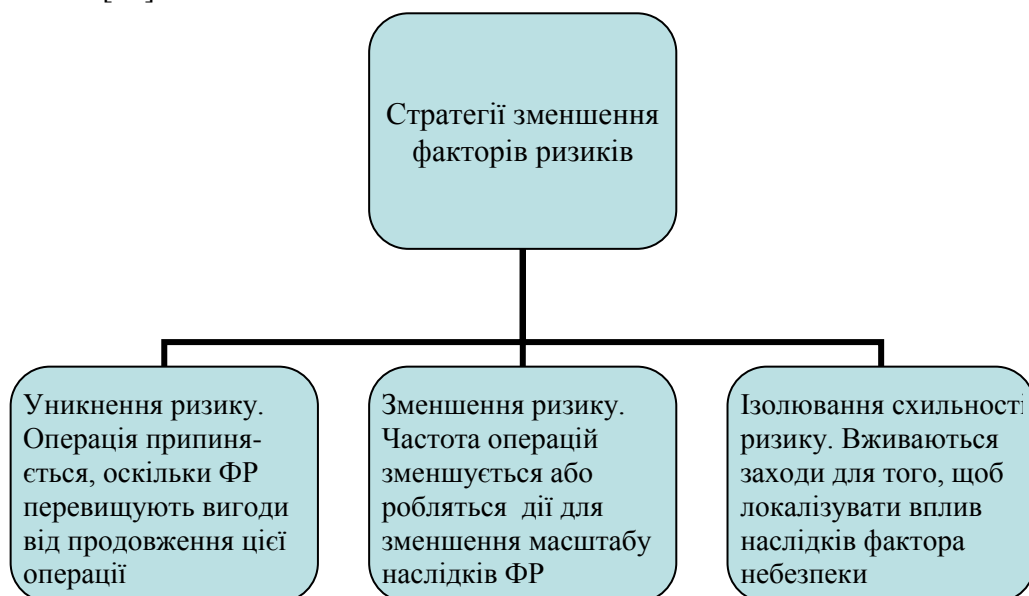


Рис. 2.6.8 Стратегії зменшення факторів ризиків

При оцінці конкретних варіантів зменшення ризику слід мати на увазі, що не всі вони володіють однаковим потенціалом зменшення факторів ризику для безпеки польотів. Перш ніж прийняти рішення, необхідно оцінити ефективність кожного конкретного варіанту. Для прийняття оптимального рішення необхідно розглянути весь



діапазон можливих заходів контролю і компромісні рішення для узгодження різних заходів[152-154,157].

Кожен передбачуваний варіант зменшення ризику слід проаналізувати з урахуванням таких аспектів, як:

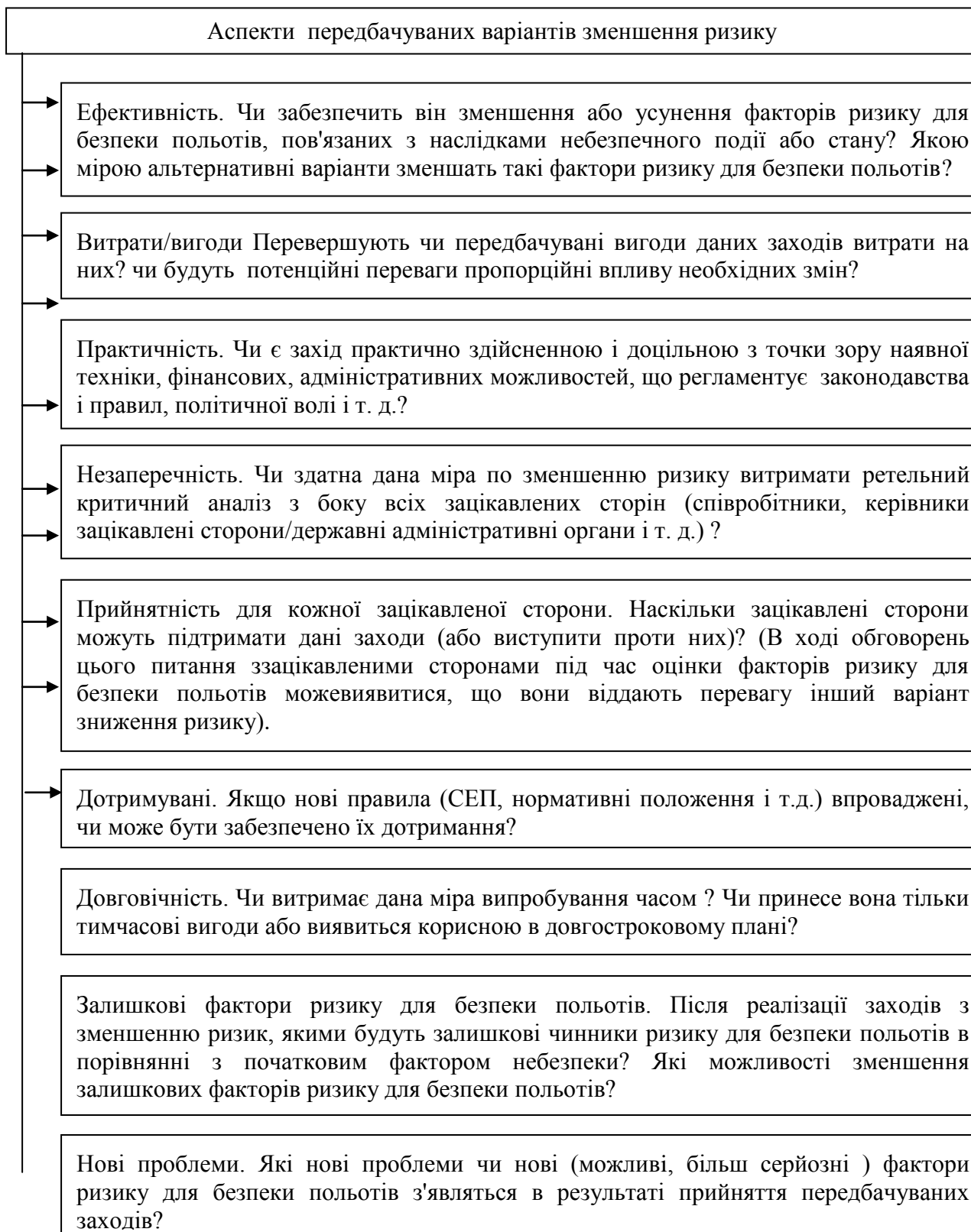


Рис. 2.6.9. Аспекти передбачуваних варіантів зменшення ризику

Після затвердження заходів щодо зменшення ризику розроблена і введена в дію стратегія повинна (в рамках процесу забезпечення безпеки польотів) в якості зворотнього зв'язку бути інкорпорована в засоби захисту організації, на яких і заснована стратегія по зменшенню ризику, з метою забезпечення цілісності, дієвості та ефективності засобів захисту в нових експлуатаційних умовах. Ризик включає невпевненість, чи відбудеться небажана подія або ж несприятливий стан.

Іншими словами під ризиком слід розуміти очікувану частоту або ймовірність виникнення небезпек певного класу, або ж розмір можливого збитку (втрат, шкоди) від небажаної події, або ж деяку комбінацію цих величин. Виникнення небезпечних ситуацій є результатом прояву певної сукупності факторів ризику, породжуваних тими чи іншими джерелами, обставинами, умовами[158-160].

Система вимірювання ефективності забезпечення БП, враховує роль авіаційної влади в його здатності впливати на процеси УБП постачальника продукту / послуг та їх вплив на результати в системі повітряного транспорту. Пропонований трирівневий підхід забезпечує основу для вимірювання РБП шляхом співвідношення результатів і процесів на різних рівнях: високі результати рівня безпеки, поведження постачальника послуг, і діяльності регуляторної організації. Ці заходи забезпечують засоби для оцінки можливості і для УР в системі повітряного транспорту.

Відносно Державної системи нагляду за БП (Додаток 19, Додаток 1), її найважливішого елемента 2 (СЕ-2) ІКАО каже, що правила повинні бути призначені для здійснення контролю над системою конструювання, практичними методами управління, організаційною поведінкою постачальників послуг. Єдиним виміром загальної ефективності державного законодавства є ступінь, в якій вони охоплюють основні галузі ризику.

Забезпечення того, що постачальник послуг впровадив відповідні кошти контролю над ризиком в конструкцію своїх систем і процесів стає основою для видачі сертифікатів, дозволів або погоджень з боку влади (СЕ-6). Цей процес забезпечення являє собою найважливіший інтерфейс між державною системою УР БП (SRM), SRM постачальника послуг, і державною системою забезпечення БП, вимірювання ефективності якого повинні показувати, наскільки надійно держава забезпечує те, що правила інтегровані в експлуатаційний процес постачальників продукції та послуг.

Держави повинні вести наглядову (СЕ-7) діяльність для того, щоб забезпечити безперервну оцінку стану БП як частина їх процесу забезпечення безпеки польотів. Необхідно мати в наявності засоби для оцінки підтримки рівня БП постачальниками послуг і ефективності роботи процесу забезпечення БП з боку самої держави.

До подій, які мають поширену причину, відносяться ті, до яких схильні вся або більша частина учасників процесу і для яких існують еквівалентні або дуже схожі (і, таким чином, поширені) причини. У фазі 1 подіями поширених причин керують розпорядчі правила або інструкції[164-167].

У фазі 2 враховані багато з ризиків, які можна ефективно контролювати за допомогою розпорядчих правил. Решта ризику виникають більш випадково, і вони пов'язані з проблемами, які є унікальними для окремих постачальників послуг. Процеси СУБП провайдерів послуг є важливими для виявлення і усунення цих ризиків. Тому вимірювання ефективності забезпечення БП повинні ставитися до структури та ефективності застосування процесів СУБП постачальників послуг і їх здатності реагувати на ризики унікального характеру.

У той же час потрібно зберегти систему управління цільовими ризиками шляхом підтримки дотримання діючих правил. Фаза 3 являє собою ситуацію, в якій пом'якшення розпорядчих правил буде означати, що успіхи, досягнуті в фазі 1, міняються місцями. Таким чином, здійснення і дотримання основних стандартів безпеки повинні бути частиною стратегії УБП та, отже, повинні бути частиною стратегії вимірювань.

На малюнку 2.14 показано взаємозв'язок між «явищами, які є небезпечними» (ризик - коло праворуч) і «явищами, які є незаконними» (такими, що суперечать розпорядчим правилами - окружності зліва). Управління ризиками всіх джерел ризику тягне за собою виявлення і управління всіма можливими «небезпечними» ситуаціями.

Вимірювання ефективності управління ризиками включає в себе оцінку того, наскільки повно це робиться. Хоча, як правило, перетин двох не є повним і не дорівнює нулю. Перетин двох кіл представляє безліч ситуацій, в яких небезпеки і загрози охоплюються правилами, зазвичай орієнтованими на технологію, навчання або процедури. Ними є небезпеки, які мають «звичайні причини», які були розглянуті вище. Відзначимо, що це являє собою підмножина відповідності і, якщо всі правила належним чином враховують визнані рівні небезпеки, то воно буде являти собою всеосяжність відповідності.

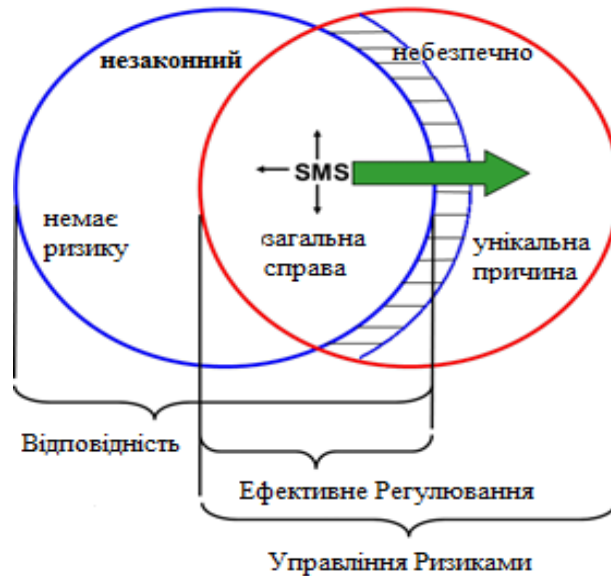


Рис. 2.6.10 Співвідношення між регуляторними вимогами та ризиками

Вимога до SMS поміщається в цю область перекриття між колами. Це виходить з того, що потреба в SMS є загальним для всіх постачальників послуг. Вона також визнає, що ефективне відповідність тягне за собою використання SRM-процесів експлуатанта з метою адаптації методу забезпечення відповідності до його ситуації. Проте, постачальники послуг повинні також контролювати небезпеки, які знаходяться поза сферою впливу з боку практичних правил, однак які існують в їх оперативному середовищі. Контроль над унікальними проблемами найкраще здійснюється за допомогою процесів, які включені в SMS. SMS також вимагає від продукту / постачальника послуг виявлення небезпек в їх системах і операційному середовищі, оцінювати ці небезпеки щодо їх ступеня ризику, вживати заходів щодо контролю тих, які представляють собою неприйнятну ступінь потенційної шкоди, незалежно від того, чи є ці ризики предметом воздествія правил чи ні [168,172,173,175,176].

Потім слід відзначити те, що зона перекриття позначена фігурною дужкою «ефективне регулювання». Це не означає, що всі правила і зусилля щодо забезпечення відповідності передбачаються априорі бути ефективними, а то, що оцінка ефективності регулювання має ґрунтуватися на тому, як добре це буде зроблено.

Зона «явища, які є небезпечними», але не є незаконним, представляє унікальні причинні ризики, які, загалом, не можуть управлятися регулюванням. Зона, обмежена заштрихованою зоною поза області перекриття, являє собою ситуацію, в якій ефективне управління ризиком знаходяться або за межами існуючої технології, або в якій витрати на впровадження управління перевищують вигоду для суспільства.

Зона «явища, які є незаконними», але не шкідливими (частина лівого кола за межами «небезпечного» кола) являє неефективні системи регулювання, при яких відповідність не корелює з безпекою. Це може мати місце через те, що правила були недостатньо розроблені для початку, застаріли або були застосовані занадто широко до груп постачальників послуг, які не наражаються на небезпеку, до якої належить регулювання.

Структура системи вимірювання, зображена на рисунку 3, заснована на трьох рівнях аналізу, які представляють собою діяльність і результати діяльності, як держави, так і постачальників послуг в системі цивільної авіації. Рівні системи включають в себе: заходи, включені в інтегровану систему цивільної авіації, заходи, що вживаються в рамках поведінкової системи постачальника послуги, а також заходи, засновані на діяльності регулюючих органів, а також чотири стовпи, які описують те, яким чином вимірюється і управляється БП.



Рис. 2.6.11 Матриця вимірювання ефективності забезпечення БП

Показники продуктивності (колонка Б) складаються як з процесу і результатів. Процес заходи є заходами функціонування ключових процесів управління безпекою польотів, таких як безпека управління ризиками та забезпечення безпеки з боку як держав, так і постачальників послуг.

Модель показників забезпечення БП на рисунку 4 високорівневою концепцією вимірювання забезпечення БП, яка представляє собою розширення другого шпальти Матриці вимірювання показників БП (Рис. 2.6.12) на напрямки розвитку дійсного показника.

Справжня система показників організована в ті ж три рівні, які використовуються в матриці вимірювання, зображеної на малюнку 3. Кожен рівень запропонованої системи розділений на два відповідних аспекти: підсумки і процесів (два середніх стовпчика). Четвертий стовпець представляє кореляції між рівнями моделі. Термін дії показників в рівнях 2 і 3 заснований на кореляції з наступним рівнем, розташованим над ними. Наприклад, термін дії показників наглядової діяльності заснований на відносинах між вимірюваною наглядовою діяльністю і їх впливом на поведінку постачальника послуг і результати[179].

	РЕЗУЛЬТАТИ	ПРОЦЕСИ	МІЖНАРОДНІ ПАРАМЕТРИ
<b>I</b>	ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА ГРОМАДЯНСЬКОЇ АВІАЦІЇ	Здатність керувати безпекою (ефективність): - виявлення загальних небезпек причин - ефективність контролю за нормативним ризиком SMS-продуктивність: - SPM / відповідність нормативним вимогам - здатність виявляти унікальні причинні загрози Ефективність дій з управління ризиками	N/A
<b>P</b>	ПОСТАЧАЛЬНИК ПОСЛУГ	на одного постачальника послуг: результати, пов'язані з значними сферами ризику	Вплив діяльності постачальника послуг на результати безпеки
<b>R</b>	РЕГУЛЮВАННЯ (ДІЯЛЬНОСТІ)	Діяльність та ініціативи щодо вирішення конкретних сфер ризику: - ефективність контролю за ризиком (кореляція з поведінкою постачальника послуг та сукупними результатами) - ефективність застосування контролю ризику (Результати роботи системи нагляду - забезпечення дизайну та забезпечення якості роботи)	Вплив діяльності регулятора на поведінку постачальника послуг  Вплив діяльності регулятора на результати безпеки

Рис. 2.6.12. Структура індикаторів безпеки

Оцінки Рівня 1 бувають двох видів: загальні показники події (наприклад, показники по АП, показники по пошкодженях ВС), і по частоті подій, пов'язаних із зонами значного ризику. Це ті типи подій, які пов'язані з небезпеками загальних причин - ті небезпеки, яким піддаються всі або значна частина спільноти постачальників товарів / послуг.

Оцінки Рівня 2 відносяться до функціонування систем постачальника послуг, робота яких пов'язана з досягненням результатів по підтриманню БП. На Рівні 2 повинен визначитися для відстеження комплекс результатів по підтримці БП. Вони повинні починатися з зон значного ризику, визначених для Рівня 1, будучи прив'язаними до небезпеками загальної причини. Цей комплекс результатів також повинен включати в себе оцінки, пов'язані з небезпеками, які є унікальними для постачальника продуктів / послуг.

Відповідність нормам і правилам (специфікації Держави для управління ризиками, загальними для спільноти постачальників послуг) є частиною процесу управління ризиками. Отже, вимір відповідності має також в себе включати оцінку того, наскільки добре постачальник послуг застосовує свій процес SRM з тим, щоб включити відповідні норми і правила розкладання в свої процедури.

Показники рівень 3 є оцінками процесу і результатів для випробування втручань і ініціатив щодо БП з боку Регулятора. Ефективна діяльність Регулятора повинна служити стимулом і сприяти відповідної поведінки постачальника послуг, що, в сукупності, стане результатом загального поліпшення результатів підвищення БП. Показники Рівня 3 у багатьох випадках будуть безпосередньо пов'язані з показниками 2-го Рівня, оскільки останні повинні визначити, наскільки ефективно діяльність і поведінку Регулятора відповідала основним виявленим проблемам безпеки польотів. Здатність впливати на ефективність в майбутньому є важливою характеристикою показників обох рівнів 2 і 3.

На Рівні 3, діяльність Регулятора повинна бути заснована на здатності впливати на поведінку провайдера продукту і послуг. Дія ДАСУ на Рівні 1 враховує складові всієї системи цивільної авіації або головні компоненти системи. Відповідальність за визначення і розробку засобів контролю ризиків для цих небезпек із загальними

причинами лежить, перш за все, на Регуляторі. Вимірювання ефективності виконання ДАСУ даної відповідальності, є, таким чином, предметом оцінки цих функцій.

Оцінки ефективності діяльності ДАСУ повинні в себе включати оцінки того, наскільки добре Регулятор в змозі виконувати функції (частина процесу забезпечення гарантій держави) свого призначення як гаранта (сертифікатора). Термін дії цих оцінок повинен відображати ступінь, в якій Регулятор в змозі впливати на призначення системи і процесу, що використовуються постачальниками послуг. Оцінки ж регуляторів щодо призначення включають в себе оцінку того, наскільки добре постачальник послуг виявив і контролює ризики, які є унікальними для його власних системи і оточення[185-188].

Як частину своєї функції гарантії забезпечення продуктивності, ДАСУ повинні також забезпечувати підтримку експлуатаційної безпеки з боку постачальників послуг. Щоб зробити це, вони повинні виміряти і оцінити роботу постачальника послуг. ДАСУ повинні також вживати заходів щодо тих областей експлуатаційної діяльності постачальника послуг, в яких він не в змозі контролювати ризики до прийняттого рівня.

## 2.7. Моделі етіології виникнення особливих ситуацій у польоті

Аналіз рекомендованих ІКАО до використання авіакомпаніями та державними повноважними органами відносних показників РБП показує, що вони прямо або побічно відображають відносну частоту авіаційних подій, що за визначенням є оцінкою ймовірності (тобто статистичною ймовірністю).

Методика оцінювання рекомендованих показників у документах ІКАО не наводиться, але заданий рівень БП вказується і введення прийняттого рівня БП експлуатантам повітряних суден наказується на державному рівні нагляду за показниками БП.

Якщо розглянути, наприклад, динаміку БП АД, одноманітно прогресуючої (як того вимагає ІКАО[1]), то такий параметр АД, як ймовірність АП Р(АП) дійсно знижується, за лінійним законом.

Однак, річні спостереження (річні оцінки ймовірності АП за фактом льотної експлуатації Р (АП) факт.) приймають випадкові значення в межах деякого інтервалу [Р (АП) низ., Р(АП) верх.].

Поки накопичується вибірка рідкісних подій, необхідна для достовірного оцінювання параметра Р(АП), його справжнє значення встигає змінитися в силу динамічності АД, тобто до випадкової похибки статистичного оцінювання додається ще систематична динамічна похибка.

Відповідно до положень теорії вимірів: при відсутності можливості безпосереднього оцінювання (вимірювання) параметра, що характеризує деяка властивість об'єкта дослідження, можливе його непряме оцінювання з сукупності доступних для прямого вимірювання (спостереження) параметрів при відомій функціональній залежності між цими параметрами і шуканим.

Виходячи з відповідних рекомендацій ІКАО, завдань і цілей державних ДСАУ, інтересів і можливостей експлуатантів ПК, для достовірного і доступного оцінювання істинного поточного рівня аварійності в авіакомпанії (частини, організації, відомств, галузі,...), сформульовані вимоги до показників РБП та методиці їх оцінювання[20]:

У Керівництві ІКАО з управління рівнем безпеки польотів звертається увага на те, що РБП може визначатися одним або декількома показниками. Як основний (але не єдиного) показника рівня безпеки, як заходи, використовуваної для вираження рівня БП, при узгодженні прийняттого рівня безпеки, ІКАО рекомендується показник кількості АП з людськими жертвами (тобто катастроф [21]) на 100000 вильотів (стат. 1.4.18 КУБП) або годин польотного часу (стат. 1.4.13,1.4.16 КУБП). Саме цей показник і методика його оцінювання викликають основний потік запитань як з боку державних органів, так і зі сторони експлуатантів.

У вітчизняній авіації відома система показників БП, введених стандартами[22,23] та внесених до підручників з БП. Тривалий час ці показники широко використовувалися як у військовій, так і в ЦА, але, головним чином, в масштабі держави (галузі, відомства). Деякі з цих показників збігаються з рекомендованими ІКАО, в тому числі кількість АП, віднесене до нальоту або фіксованої кількості (100000) польотів. Оскільки, традиційною методикою, оцінювання зазначених показників виконується за кількістю маючих місць АП, то для експлуатантів ПК показник відносної кількості катастроф на 100000 польотів неприйнятний: будь-яка авіакомпанія на початковому етапі має нульові показники (« абсолютна безпека ») до першої АП, після якої відразу перестає відповідати вимогам БП.

Аналіз відносних показників рівня БП показує, що вони відображають частоту відбуваючих авіаційних подій, що за визначенням є оцінкою ймовірності (тобто статистичною ймовірністю). Тому запропонований ймовірнісний підхід до сумарного (сукупному) оцінюванню рівня БП[24].

Вихідним положенням ймовірнісного підходу стала достовірно встановлена досить висока кореляція кількісних співвідношень в ієрархії авіаційних подій різного ступеня тяжкості[24,25]:

- АП з людськими жертвами, тобто катастрофи;
- АП без людських жертв, тобто аварії;
- Серйозні авіаційні інциденти;
- Авіаційні інциденти;
- Провісники авіаційних інцидентів (ПІ), тобто події, які не підлягають за класифікацією під визначення « інциденти », але впливають на БП при відповідному несприятливому розвитку ситуації.

За умови ординарності і несумісності перерахованих АП в одному польоті, з урахуванням того, що кожна подія, що знаходиться по ієрархії нижче події «К», має певну (оцінену) ймовірність розвитку в «К», ймовірність події «К» в польоті в загальному вигляді представляється як сума ймовірностей «К» при кожному з ідентифікованих АП:

$$P(K) = \sum_{i=1}^{m(j)} \sum_{j=1}^n P_{ij}, \quad (2.7.1)$$

де  $P_{ij}$  - ймовірність події «К» при  $i$ -ій події  $j$ -го типу;

$i$ - номер АП  $j$ -го типу,  $i=1,2,\dots, m(j)$  ;

$j$ - номер типу події,  $j= 1,2,\dots,n$ ;

$m(j)$  -розглянута кількість АП  $j$ -го типу;

$n$ - кількість обраних для оцінки типів подій ( при оцінюванні ймовірності події типу «К» в загальному випадку можна обмежитися  $n=4$ : А, СІ, І, ПІ.

Ймовірність події «К» при кожному  $i$ -ій події  $j$ -го типу виражається через умовну ймовірність :

$$P_{ij} = P(A_{ij}) \cdot P(AP / A_{ij}), \quad (2.7.2)$$

де  $P(A_{ij})$  - ймовірність  $i$ -ої АП  $j$ -го типу в польоті;

$P(K / A_{ij})$  - ймовірність події «К» за умови, що подія  $A_{ij}$  мало місце(відбулося).

При апостеріорному оцінюванні ймовірності події «К» за оцінюваний (аналізований)

період льотної експлуатації в якості  $P(A_{ij})$  може використовуватися статистична

ймовірність маючих місце АП  $P(A_j)$ , тобто кількість подій, віднесена до кількості виконаних польотів.

Оцінка умов ймовірності  $P(K / A_{ij})$ , коли авіаційна подія  $A_{ij}$  мала місце, може визначатися за статистично встановленим співвідношенням кількості АП кожного типу в загальній сукупності цих подій, тобто по « Піраміда ризику» (рис.2.7.2.), що пояснює правило «1:600» [1].



Необхідно визнати, що співвідношення «1-10-30-600» (рис.2.7.2.) відноситься до АП:

«Події з людськими жертвами» - «Серйозні авіаційні події» - «Авіаційні події» - «Інциденти». Крім того, кратність «10» і «100» свідчать, що тільки методична похибка оцінки за рахунок такої дискретизації співвідношення може досягати 10%. Зрозуміло, що запропонована «піраміда ризику» має загальний характер, відноситься до питань охорони праці за статистикою 1969 р. [26]. Тому для підвищення достовірності оцінки доцільно на підставі статистичних даних вирахувати «піраміду ризику» ЦА, а надалі - кожного класу і навіть типу експлуатованих ПК, залежно від показників їх ергономічності, живучості, зберігання, довговічності та ін..



Рис. 2.7.2. - «Піраміда ризику»

Обчислення оцінки ймовірності події типу «К» виробляється з використанням формул (2.7.3) та (2.7.4):

$$P(K) = \sum_{i=1}^{m(j)} \sum_{j=1}^n P(A_{ij}) \cdot P(АП / A_{ij}) \quad (2.7.3)$$

або, із зазначенням зворотніх типів АП:

$$P_K = \frac{1}{N} (n_K + n_A P_{K/A} + n_{CI} P_{K/CI} + n_I P_{K/I} + n_{III} P_{K/III}) \quad (2.7.4):$$

де  $N$  - кількість виконаних польотів

$$n_K, n_A, n_{CI}, n_I, n_{III}$$

- кількість АП за оцінюваний період відповідно: катастроф, аварій, серйозних інцидентів, інцидентів, провісників інцидентів;

$$P_{K/A}, P_{K/CI}, P_{K/I}, P_{K/III} - \text{оцінка умов ймовірності катастрофи відповідно при}$$

аварії, серйозному інциденті, інциденті, провіснику інциденту:  $P_{K/A} = 0.1$ ;

$P_{K/CI} = 0.0333$ ;  $P_{K/I} = 0.0017$ ;  $P_{K/III}$  - підлягає оцінюванню після визначення категорії подій типу « III »

*Примітка:* Категорія « III » не має офіційного статусу, тому може використовуватися після введення цього чи аналогічного поняття (наприклад, «фактор ризику») з веденням переліку подій, що відносяться до III, підлягають внесенню до

бази даних БП. Оскільки складова  $n_{III} P_{K/III}$  не має офіційного статусу, вона може бути тимчасово виключена з оцінки і поки не розглядатися.

Факторний аналіз АП показує, що частка кожної з груп факторів «Екіпаж» («Людський фактор») (ЛФ), «ПК» і «Середовище» (С) значно змінюються від одного типу авіаційної події до іншого.

У різних типах АП процентне співвідношення перерахованих груп факторів відрізняється до протилежного (зворотного). Так, АП з причин факторів розподіляються (за різними джерелами): «ПК» - 15-20%; «Екіпаж» - 70-80%; «Середовище» - 10-15%. Але інциденти: «ПК» - 75-80%; «Екіпаж» - 20%; «Середовище» - 5% [ 27,28,29].

Цифри свідчать про те, що значимість (ступінь впливу) одних і тих же груп факторів значно відрізняється при розвитку відрізняючих типів АП. Істотна різниця у співвідношенні груп факторів «ЛФ» і «ПК» при переході від інцидентів до АП свідчить про значну відміну умовної ймовірності переходу інциденту до АП за окремими групами факторів.

Тому дійсно доцільність врахування значущості причинних факторів у формулі (2.7.5).

Припустивши, що факторна диспропорція існує не тільки в парі типів авіаційних подій « інцидент - катастрофа», а й в інших парах ( « А-К», « СІ-К », «ПІ- К» ), вираз (2.7.5) можна записати:

$$P_K = \frac{1}{N} [n_K + (v_{A-ЛФ} n_{A-ЛФ} + v_{A-ПК} n_{A-ПК} + v_{A-С} n_{A-С}) P_{K_A} + (v_{CI-ЛФ} n_{CI-ЛФ} + v_{CI-ПК} n_{CI-ПК} + v_{CI-С} n_{CI-С}) P_{K_{CI}} + (v_{I-ЛФ} n_{I-ЛФ} + v_{I-ПК} n_{I-ПК} + v_{I-С} n_{I-С}) P_{K_I} + (v_{III-ЛФ} n_{III-ЛФ} + v_{III-ПК} n_{III-ПК} + v_{III-С} n_{III-С}) P_{K_{III}} ] \quad (2.7.5)$$

Де

$$v_{A-ЛФ}, v_{A-ПК}, v_{A-С}, v_{CI-ЛФ}, v_{CI-ПК}, v_{CI-С}, v_{I-ЛФ}, v_{I-ПК}, v_{I-С}, v_{III-ЛФ}, v_{III-ПК}, v_{III-С}$$

коефіцієнти значущості факторів «ЛФ», «ПК», «С» в АП, СІ, І, ІІІ.

Керуючись пунктом 1 вищевикладених вимог до показників РБП та враховуючи, що істотна диспропорція значущості причинних факторів виявлена тільки між інцидентами та АП, можна допустити рівнозначність груп причинних факторів для інших типів АП, а вираз (2.7.6) привести до більш прийняттого на корпоративному рівні і менш об'ємному виду:

$$P_K = \frac{1}{N} [n_K + n_A P_{K_A} + n_{CI} P_{K_{CI}} + (v_{I-ЛФ} n_{I-ЛФ} + v_{I-ПК} n_{I-ПК} + v_{I-С} n_{I-С}) P_{K_I} ], \quad (2.7.6)$$

де  $n_{I-ЛФ}, n_{I-ПК}, n_{I-С}$  - кількість інцидентів, що сталися за оцінюваний період

відповідно по факторам: «ЛФ», «ПК», «С» ;

$$n_{I-ЛФ}, n_{I-ПК}, n_{I-С}$$

- коефіцієнти значущості факторів: «ЛФ», «ПК», «С».

Аналізом опублікованих даних про процентні співвідношення причинних акторів в інцидентах і АП, їх усередненням і обчисленням пропорцій визначені числові значення коефіцієнтів значимості:

$$v_{I-ЛФ}=4, \quad v_{I-ПК}=0.2, \quad v_{I-С}=0.5$$

*Примітка:* Співвідношення причинних факторів варіабельно, в значній мірі залежить від рівня науково-технічного розвитку авіаційної галузі та рівня технічного обслуговування в авіації: у міру вдосконалення авіаційної техніки частка АП, пов'язаних з недоліками літакових систем та їх характеристик зменшувалася з 40% до 15%, а частка АП, обумовлених відхиленнями в діях персоналу (в основному екіпажу) зростала з 50% до 80% [27].

З урахуванням числових значень коефіцієнтів значимості і умовної ймовірності події типу «К» при відповідних подіях меншою тяжкості, кінцева формула оцінки ймовірності АП з людськими жертвами набуває вигляду:

$$P_K = \frac{1}{N} [n_K + 0.1n_A + 0.0333 \cdot n_{CI} + 0.0017(4n_{I-ЛФ} + 0.2n_{I-ПК} + 0.5n_{I-С})], \quad (2.7.7)$$

Шуканий показник (рекомендований ІКАО в якості обов'язкового при оцінюванні рівня БП експлуатанта ПС[1]) «Кількість пригод на 100000 польотів» виходить при запису оцінки ймовірності через множник  $10^{-5}$  або множенням на 100 000:

$$K_K = \frac{100000}{N} [n_K + 0.1n_A + 0.0333 \cdot n_{CI} + 0.0017(4n_{I-ЛФ} + 0.2n_{I-ПК} + 0.5n_{I-С})], \quad (2.7.8)$$

Перехід на нормування «1000000 годин польоту» здійснюється множенням показника на середню тривалість польоту оцінюваного класу ПК.

Показник  $P_K$  (або  $K_K$ ) і методика оцінювання може використовуватися як на корпоративному, так і на галузевому (державному) рівнях при вирішенні завдань управління БП:

- обґрунтування, прийняття та щорічне підвищення (згідно з вимогами ІКАО [1]) прийняттого рівня БП за показником «кількість АП з людськими жертвами»;
- контроль досягнутого (поточного) рівня БП в АК на предмет відповідності прийнятному рівню (у тому числі на початковому етапі діяльності експлуатанта ПС);
- прогнозування рівня БП в авіакомпаніях (авіаційних частинах) - як статистичне, так і експертне;
- управління рівнем БП в рамках корпоративної системи управління безпекою польотів (управління по ймовірності АП в польотах, в тому числі превентивне), апріорне і апостеріорне оцінювання ефективності управління рівнем БП в авіакомпанії.

Одним з найбільш зручних способів побудови узагальненого відгуку є узагальнена функція бажаності Харрінгтона. В основі побудови цієї узагальненої функції лежить ідея перетворення натуральних значень приватних відгуків у безрозмірну шкалу бажаності або перевагу. Шкала бажаності відноситься до психофізичних шкалами. Її призначення - встановлення відповідності між фізичними та психологічними параметрами. Тут під фізичними параметрами розуміються можливі відгуки, характеризують функціонування досліджуваного об'єкта.

Серед них можуть бути естетичні і навіть статистичні параметри, а під

психологічними параметрами розуміються чисто суб'єктивні оцінки експериментатора бажаності (перевагу) того чи іншого значення відгуку. Щоб отримати шкалу бажаності, зручно користуватися готовими розробленими таблицями відповідностей між відносинами переваги в емпіричній і числовій (психологічній) системах (табл. 2.7.1).

Таблиця 2.7.1 Зв'язок між кількісними значеннями безрозмірною шкали і психологічним сприйняттям людини

Бажаність	Відмітки на шкалі Бажаності
Дуже добре	1.00 – 0.80
Добре	0.80 – 0.63
Задовільно	0.63 – 0.37
Дуже погано	0.37 - 0.20
Погано	0.20 – 0.00

Значення приватного відгуку, перекладене в безрозмірну шкалу бажаності, позначається через  $d_i (i = 1, 2, \dots, n)$  і називається приватної бажаностю. Шкала бажаності має інтервал від нуля до одиниці. Значення  $d_i = 0$  відповідає абсолютно неприйнятному рівню даної властивості, а значення  $d_i = 1$  - самому кращому значенню властивості. Вибір відміток на шкалі бажаності 0,63 і 0,37 пояснюється зручністю обчислень:  $0,63 \approx 1 - (1/e), 0,37 \approx$

$1/e$ . Значення  $d_i = 0,37$  зазвичай відповідає кордоні допустимих значень.

У табл. 2.7.1. представлені числа, відповідні деяким точкам кривої, яка задається рівнянням

$$d = \exp[-\exp(-y)] \quad (2.7.9)$$

Запропонована Харрінгтоном в якості єдиного комплексного показника якості продукції узагальнена функція бажаності

$$D = m \sqrt{\prod_{i=1}^m d_i} \quad (2.7.10)$$

(де  $m$  - число одиничних відгуків - порівнюваних показників якості продукції) володіє тим недоліком, що в ній все відгуки визнаються рівноважними, хоча на практиці це далеко не так.

Експлуатація з відмовними станами. ПК повинно бути спроектовано і побудовано таким чином, щоб в очікуваних умовах експлуатації при діях екіпажу відповідно до Керівництва з льотної експлуатації (КЛЕ):

Кожний відмовний стан (функціональний відмова, вид відмови системи), що приводить до виникнення катастрофічної ситуації (катастрофічного ефекту); оцінювався як практично неймовірне (відповідно до АП - 25 в цьому випадку вірогідність  $q \leq 0^{-9}$ ), а сумарна ймовірність виникнення катастрофічної ситуації, викликаній відмовними станами функціональними відмовами, видами відмов системи) для ПК у цілому не перевищувала  $10^{-7}$  на годину польоту .

Сумарна ймовірність виникнення аварійної ситуації (аварійного ефекту), викликана відмовними станами (функціональними відмовами, видами відмов систем),

для ПК в цілому не перевищувала  $10^{-6}$  на годину польоту; при цьому рекомендується, щоб будь-який відмовний стан (функціональний відмова, вид відмови системи), що приводить до аварійної ситуації, оцінювався як подія не більш часте, ніж вкрай малоймовірне (у діапазоні  $10^{-7} \div 10^{-9}$ ).

Сумарна ймовірність виникнення складної ситуації (істотного ефекту), викликана відмовними станами (функціональними відмовами, видами відмов системи) для ПК у цілому не перевищувало  $10^{-4}$  на годину польоту; при цьому рекомендується, щоб будь-який відмовний стан, (функціональна відмова, вид відмови системи), що приводить до складної ситуації, оцінювався як подія не більш часте, ніж малоймовірне (у діапазоні  $10^{-5} \div 10^{-7}$ ).

Ускладнення умов польоту і відмовні стани (функціональна відмова, вид відмови системи), що призводять до їх виникнення, підлягають аналізу з метою відпрацювання відповідних рекомендацій щодо дій екіпажу в польоті; при цьому бажано, щоб будь-який відмовний стан (функціональна відмова, вид відмови системи), що приводить до ускладнення умов польоту, не могло бути віднесено до частих подій (більше  $10^{-3}$ ).

Загальні вимоги щодо забезпечення льотної придатності ПК на етапі проектування та виготовленні ПК повною мірою відносяться і до етапу експлуатації, коли льотна придатність зберігається і підтримується на нормованому рівні.

Прийнятні методи (кількісна оцінка льотної придатності та рівня безпеки польотів).

#### *1) Інформаційне забезпечення.*

Для кількісної оцінки льотної придатності та рівня БП в авіапідприємстві створюється база даних, яка враховує наступні параметри подій:

- дату і місце виникнення особливої ситуації інциденту, АП та інших подій;
- тип, маршрут і номер рейс;
- тип і номер ПС;
- прізвище, ім'я та по батькові командира ПС, складу екіпажу;
- етап польоту, під час якого почалося відхилення від нормальної експлуатації;
- дії екіпажу з нормування відхилення від нормальної експлуатації;
- вид і частоту (ймовірність) виникнення особливої ситуації польоту, інциденту, АП та інших подій;
- опис причини особливої ситуації, інциденту, АП та іншої події;
- опис наслідків особливих ситуацій, інцидентів, АП та інших подій.

#### *2) Визначення виду особливої ситуації.*

Вид особливої ситуації визначають відповідно до вимог АП - 25.

#### *3) Обчислення частоти (ймовірності) виникнення особливих ситуацій.*

Частота (ймовірність) виникнення особливих ситуацій визначається за статистичними даними ( $Q^*$ ) за кожний аналізований період і сумарно з початку експлуатації для кожного екземпляра і типу ПС, віднесеним на годину польоту, тобто

$Q^* = \frac{n_{oc}}{T}$ , де  $n_{oc}$  - кількість особливих ситуацій одного типу;  $T$  - наліт (примірника ПК, типу ПК за певний період або загальний для типу ПК по всьому парку).

Частота (ймовірності) появи особливих ситуацій (показники льотної придатності)  $Q^*$ , визначена для окремого примірника ПК і окремо по типу за аналізований період експлуатації порівнюється з попереднім періодом, а сумарний показник ймовірностей виникнення особливих ситуацій порівнюють з їх нормативними

значеннями (АП-23, АП -25, АП-27). При цьому нормативні значення ймовірностей появи особливих ситуацій, визначених відмовними станами окремих систем (агрегатів) складають для:

- катастрофічної ситуації - менше  $10^{-9}$  1/год.;
- аварійної ситуації - в діапазоні  $10^{-9} \div 10^{-7}$  1/год.;
- складній ситуації - в діапазоні  $10^{-7} \div 10^{-5}$  1/год.;
- ускладнення умов польоту - в діапазоні  $10^{-5} \div 10^{-3}$  1/год.

Нормативні значення ймовірностей появи особливих ситуацій, визначених відмовними станами сумарно для ПК в цілому складають для:

- катастрофічної ситуації - менше  $10^{-7}$  1/год.;
- аварійної ситуації - в діапазоні  $10^{-7} \div 10^{-6}$  1/год.;
- складній ситуації - в діапазоні  $10^{-6} \div 10^{-4}$  1/год.;
- ускладнення умов польоту - в діапазоні  $10^{-4} \div 10^{-2}$  1/год..

4) *Визначення ймовірностей - наслідків (ступеня небезпеки ймовірностей наслідків) відмовних станів.*

Ймовірність наслідків (ступеня небезпеки) "r" визначають відповідно до вимог норм льотної придатності ( АП-25 і ін.).

$$r = \frac{Q}{q}, \quad (2.7.11)$$

де  $q$  - ймовірність появи відмовного стану,

$r$  - ступінь небезпеки наслідків відмовного стану (вид відмови).

Ймовірність відмовного стану (відмови) визначається за відомою формулою (наприклад, за умови експоненціального розподілу подій).

$$q = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (2.7.12)$$

де  $\lambda$  - інтенсивність відмов, 1/год.;

$t$  - середня тривалість польоту, год..

При відомому значенні  $Q$  легко визначити ступінь небезпеки  $r$  і порівняти його з нормативним значенням, яке можна обчислити з умов, визначених нормами льотної придатності (АП-23, АП-25, АП-27 та ін.), згідно з якими можна стверджувати, що протягом життєвого циклу (призначеного ресурсу) кожна з чотирьох видів особливих ситуацій не повинна давати рівню ризику « $Q$ » більше, ніж вірогідність катастрофічної ситуації, тобто

$$Q_1 = q_1 \cdot r_1 \leq 10^{-9} \text{ - при відмовному стані систем ПК;}$$

$$Q_2 = q_2 \cdot r_2 \leq 10^{-7} \text{ - при відмовному стані ПК в цілому,}$$

де  $q_1, r_1$  - ймовірність відмови і ступеня небезпеки відмов окремої системи (агрегату) ПК;

$q_2, r_2$  - ймовірності відмови і ступеня небезпеки відмов ПК в цілому (не менше 2х функціональних систем).

Враховуючи вищевикладене, нормативні значення ймовірностей відмов « $q$ » і небезпеки « $r$ » становитимуть (Таблиця 2.7.2.).

Таблиця 2.7.2. Нормативні діапазони зміни ступенів небезпеки для випадків відмовного стану системи

Ймовірність	Особливі ситуації			
	КС	АС	СС	УУП
$q_1$	$10^{-4}$	$10^{-7}$	$10^{-5}$	$10^{-3}$
$r_1$	1	$10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$
$q_2$	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-4}$	$10^{-2}$
$r_2$	1	$10^{-1}$	$10^{-3}$	$10^{-5}$

При цьому нормативні діапазони зміни ступенів небезпеки для випадків відмовного стану системи (агрегату) при аварійній ситуації  $1 > r \geq 10^{-2}$ ; при складній ситуації  $10^{-2} > r \geq 10^{-4}$ ; при ускладненні умов польоту  $10^{-4} > r \geq 10^{-6}$ .

Для випадків відмовного стану ПК в цілому (двох і більше систем) при аварійній ситуації  $1 > r \geq 10^{-1}$ , при складній ситуації  $10^{-1} \geq r \geq 10^{-3}$ ; при ускладненні умов польоту  $10^{-3} \geq r \geq 10^{-5}$ . Фізичний сенс ступеня небезпеки « $r$ » являє собою ймовірність переходу будь-якої особливої ситуації в катастрофічну (або ймовірність невідхилення пілотом наслідків несприятливого фактора).

5) Визначення рівня безпеки польотів за даними експлуатації.

Рівнем безпеки польотів (РБП) називають ймовірність невиникнення катастрофічної ситуації через появу несприятливого фактора. Якщо позначити ймовірність протилежної події - виникнення катастрофічної ситуації через  $Q_{К.С.}$ , то має місце рівність

Ймовірність виникнення катастрофічної ситуації відповідно до Норм льотної придатності ПК

$$P_{\text{БП}_{\text{КС}}} = 1 - Q_{\text{КС}}$$

оцінюється як подія практично неймовірна, тому статистична оцінка її в умовах експлуатації утруднена (рис.3.5.). У зв'язку з цим рівень БП рекомендується оцінювати за всіма видами особливих ситуацій, що ні суперечить існуючим нормам льотної придатності (FAR, JAR, АП і ін.), тобто

$$\frac{P}{\text{БП}_{\text{КС}}} = 1 - Q_{\text{АС}}, \quad \frac{P}{\text{БП}_{\text{КС}}} = 1 - Q_{\text{СС}}, \quad \frac{P}{\text{БП}_{\text{КС}}} = 1 - Q_{\text{УУП}} \quad (2.7.13)$$

Для визначення впливу окремих факторів (відмов техніки, помилок авіаційного персоналу, зовнішніх впливів) необхідно використовувати зв'язок ймовірнісних та статистичних показників БП, яка зводиться до наступного.

Враховуючи, що АП (інцидент) - події рідкісні і незалежні, можна прийняти гіпотезу про експоненційний закон їх розподілу. У цьому випадку при відомому значенні нальоту на одне АП (інцидент)  $T_0$  ймовірність благополучного завершення польоту тривалістю  $t$  можна визначити за формулою

$$P_{\text{БП}}^* = e^{-\frac{t}{T_0}}, \quad (2.7.14)$$

За умови  $t \ll T_0$  формула прийме вигляд

$$P_{БП}^* = 1 - \frac{t}{T_0}, \quad (2.7.15)$$

Тоді

$$Q^* = 1 - P_{БП}^* = \frac{t}{T_0}. \quad (2.7.16)$$

Для визначення впливу окремих факторів на рівень БП можна записати:

$P_{ном}^* = e^{-\frac{t}{T_{ном}}}$ ,  $P_{від}^* = e^{-\frac{t}{T_{від}}}$ ,  $P_{зов}^* = e^{-\frac{t}{T_{зов}}}$ ,  $T_{ном}$ ,  $T_{від}$ ,  $T_{зов}$  - середні нальоти на одну АП (інцидент), викликане відповідно помилкою авіаційного персоналу, відмовою техніки і зовнішнім впливом. Тоді загальний рівень БП по

типу ПК визначиться:  $P_{БП}^* = e^{-\left(\frac{1}{T_{ном}} + \frac{1}{T_{від}} + \frac{1}{T_{зов}}\right)t}$



### 3. МЕТОДИ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ВПЛИВУ СИСТЕМИ РИЗИКІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ АВІАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

#### 3.1. Формування показників та критеріїв оцінки впливу ризиків на ефективність авіаційної діяльності

Особливістю сучасного ризик - менеджменту є відсутність єдиного підходу до оцінки ризиків, який проявляється в тому, що на практиці використовуються різні заходи ризиків, а ефективного підходу, що забезпечує комплексну оцінку ризиків на державному рівні, на сьогодні ще не запропоновано. Проведена автором систематизація, наведена на Рис. 3.1.1 Структура показників ризиків першої групи представлена на рис. 3.1.2., Структура показників другої групи представлена на рис. 3.1.3., а показників третьої - шостої груп - на рис. 3.1.4.

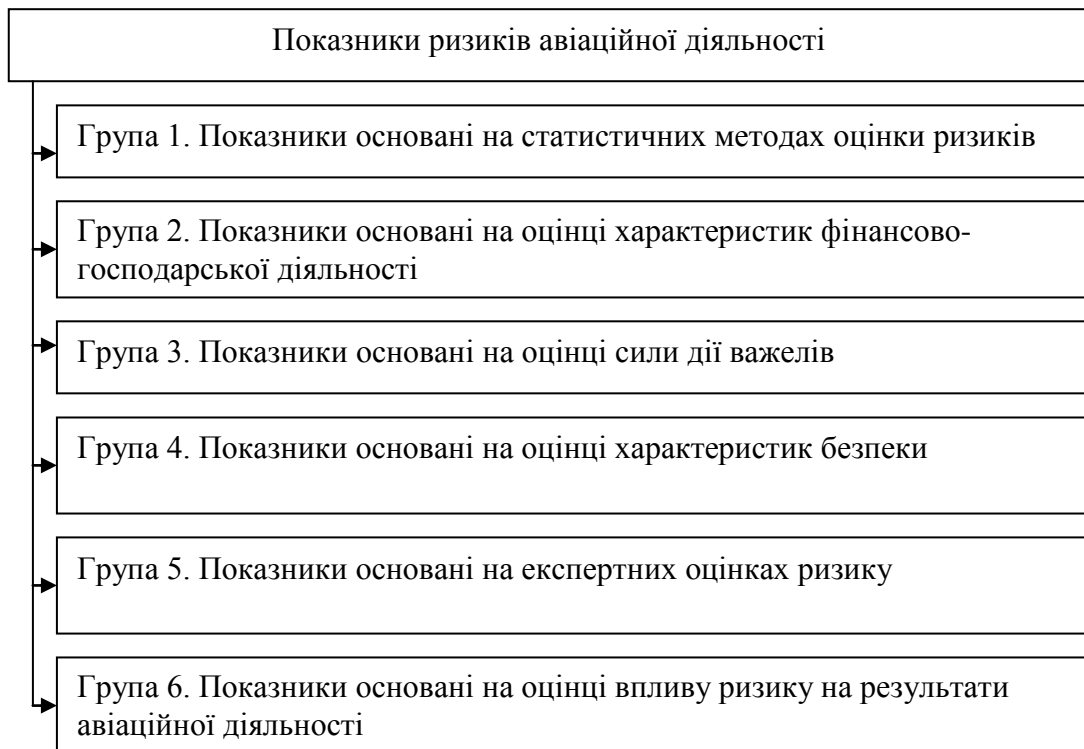


Рис. 3.1.1. Показники ризиків авіаційної діяльності



Рис. 3.1.2. Показники ризику першої групи

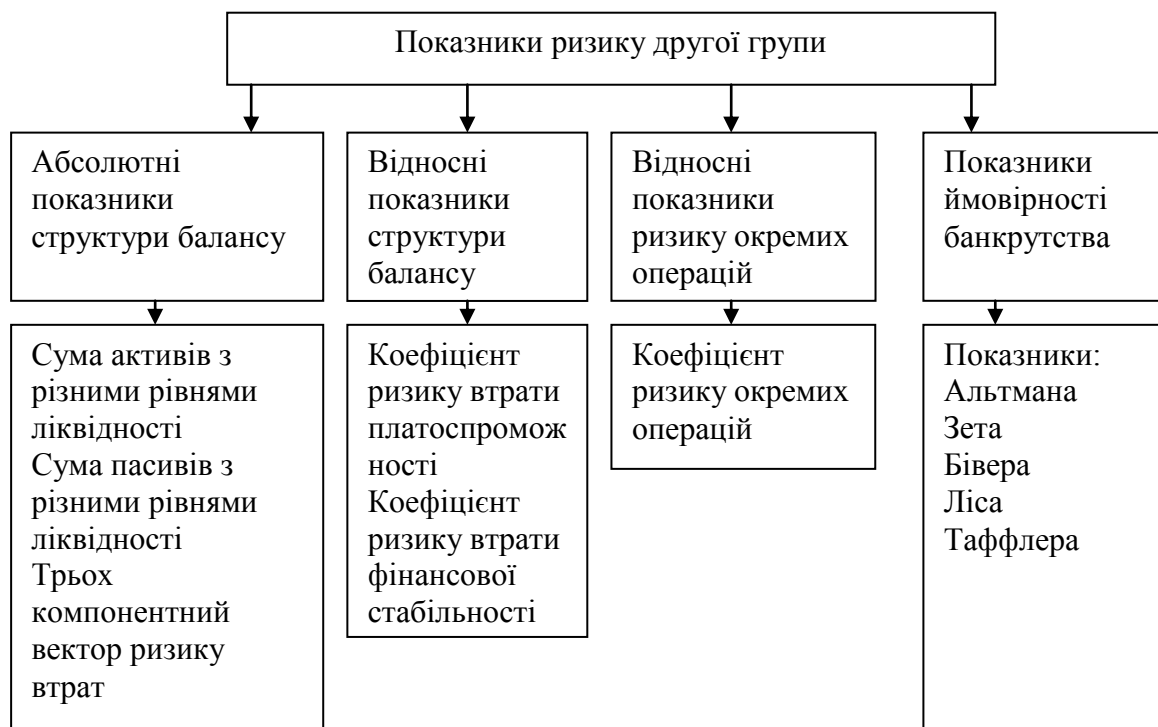


Рис. 3.1.3. Показники ризику другої групи

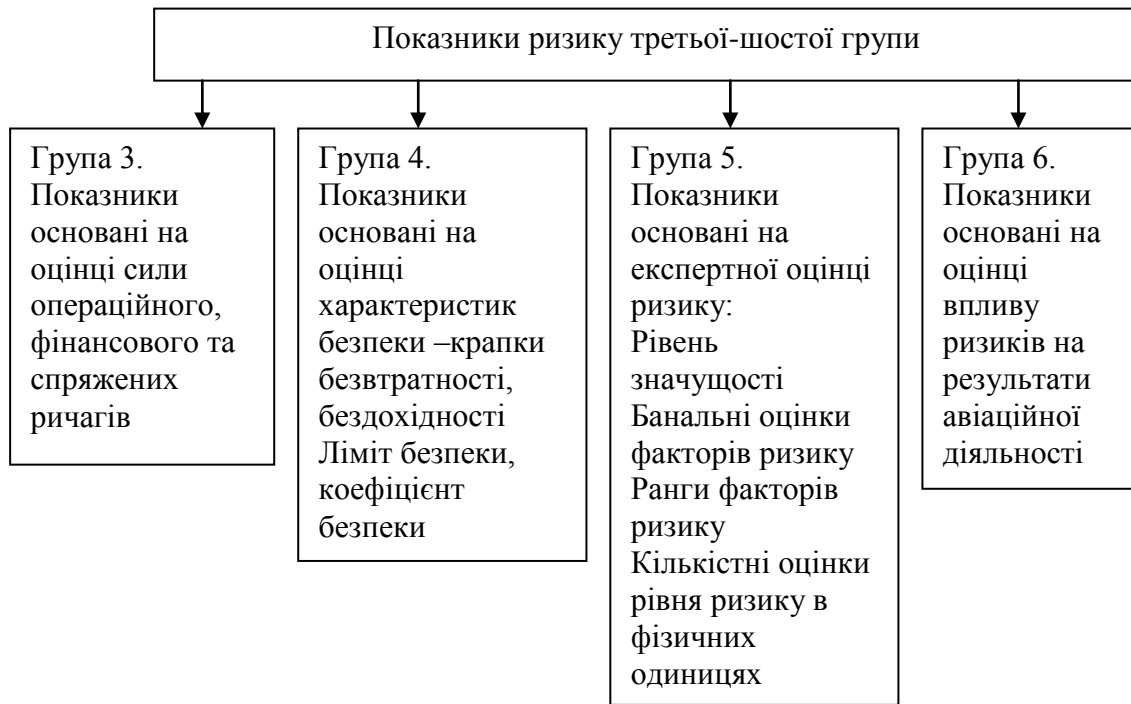


Рис. 3.1.4. Показники ризику третьої-шостої групи

Показники ризиків першої групи, що застосовуються в класичному ризик - менеджменті, орієнтовані, перш за все, на оцінку ризиків фінансового інвестування в той же час потреби практики вимагають формування і використання показників оцінки ризиків, характерних для АД експлуатантів в якій фінансове інвестування і кредитування складають лише обмежену частину набагато більш різнобічної діяльності.

Показники ризиків другої групи, з огляду на вплив ризиків на окремі аспекти АД, не дозволяють безпосередньо оцінити вплив ризиків на ключові показники ефективності, що також не дозволяє використовувати ці показники при управлінні ризиками за результатами їх впливу на ефективність діяльності.

Показники ризиків третьої групи, засновані на оцінці сили впливу важелів, які корисні для оцінки значущості факторів ризиків, але також не можуть використовуватися в якості показників ефективності, за результатами впливу на які має здійснюватися управління ризиками авіаційної діяльності:

Показники ризиків четвертої групи, засновані на "оцінці характеристик безпеки, характеризують або «запас безпеки» по відношенню до того чи іншого фактору ризику (межа безпеки і коефіцієнт безпеки), або граничне значення якого - небудь показника відділяє діяльність від точки безприбутковості і також не можуть використовуватися в якості показників ефективності.

Показники ризиків п'ятої групи, засновані на експертній оцінці ризиків, характеризуються суб'єктивізмом і неточністю їх визначення внаслідок практичної неможливості врахувати при експертній оцінці складне вплив ризиків друг на друга.

До показників ризиків шостої групи відносяться показники характеризується максимальною потенційною втратою, внаслідок несприятливого впливу факторів небезпеки.

Досить повне уявлення про вплив ризику на ефективність, АД може дати двомірний вектор; компонентами якого є величини мінімального. Для прийняття зазначених рішень необхідно вибрати критерій основі застосування якого вони будуть прийматися; Нижче, по аналогії з [247, будемо називати цей критерій - критерієм прийняття ризикового рішення.

як; впливає з проведеною систематизації відомих, критеріїв, основними; критеріями; прийняття ризикового рішення є критерії придатності, адаптивності, Вальда, максимакс, Гурвіца, Севіджа і Песимізму.

Критерій придатності застосовується експлуатантом в ситуаціях, коли необхідно визначити досить великий діапазон раціональних варіантів, що задовольняють нерівності.

Критерій оптимальності застосовується для вибору найкращого варіанту, але характеризується недостатньою гнучкістю системи дій, оскільки не враховує поточну інформацію про зміну підприємницького середовища при реалізації рішення.

Крім того, певним недоліком критерію оптимальності є той факт, що він застосовується лише при використанні; в якості показника до рівня ризику скалярної величини.

Критерій адаптивності забезпечує гнучку цілеспрямовану систему дій, проте характеризується високою складністю, обумовленою многоетапністю застосування-і необхідністю наявності повної інформації про очікувані величини збитків і прибутків.

Критерії Вальда, максимакс, Гурвіца, Севіджа і песимізму засновані на оцінці, чисельних оцінок, побудованих на використанні принципу Бернуллі. Певним недоліком цих критеріїв є зайва категоричність, обумовлена орієнтацією або на найгірший або найкращий результат (критерій Вальда і критерій максимакс), або на максимальні втрати або максимальну лінійну комбінацію найкращого і найгіршого значень показника, що характеризує виграш (критерії Севіджа і Гурвіца). Крім того, практичне застосування критерію Гурвіца утруднено визначенням достовірного значення вагового коефіцієнта  $\alpha$ . З урахуванням зазначених недоліків інших розглянутих вище критеріїв будемо користуватися критерієм придатності.

Тому результатом оцінки системи ризиків ланцюжка стрижневих процесів авіаційної діяльності повинна бути оцінка цих результуючих ризиків і їх впливу на показники ефективності. Аналіз побудованої системи ризиків дозволяє виділити дві базові структури ризиків, наведені на рис. 3.1.5.

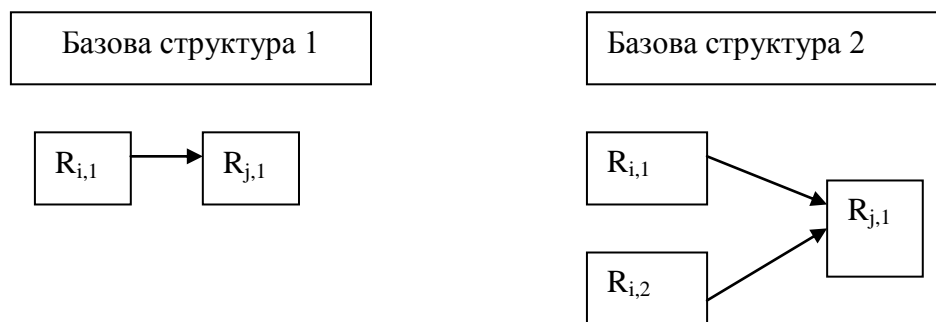


Рис. 3.1.5. Базові структури ризиків

Базова структура 1 являє собою систему двох ризиків: факторного ризику і результативного ризику  $R_{jj}$ , а базова структура 2 - систему трьох ризиків: двох факторних ризиків  $R_i$ , 1 і результативного ризику  $R_i$ , 2

На рис.3.1.5. І j відповідно номера градацій факторних і результативних ризиків. Базові структури 1 і 3 дозволяють: будувати на їх основі складні системи ризиків, що характеризуються впливом на кожен з результативних ризиків безлічі факторних ризиків. Якщо який-небудь результативний ризик знаходиться під впливом більше двох факторних ризиків, то таку структуру ризиків доцільно будувати як послідовну структуру базових модулів, відповідних базової структурі можливі два варіанти базових модулів структури 1 та модуль, для якого реалізація факторного ризику не обов'язково тягне за собою реалізацію результативного ризику. Модуль В, для якого

реалізація факторного ризику обов'язково тягне за собою реалізацію результативного ризику. Однак застосування модуля В позбавлене практичного сенсу; Якщо результативний- ризик обумовлений тільки впливом факторного ризику і не залежить від інших факторів, то його характеристики; повністю Відповідний характеристикам цього факторного-ризик і ризику і виявляються ідентичними таким чином оцінка характеристик результативного: ризику не потрібно. Якщо: же: на результативний ризик впливають і інші ризики крім факторного ризику то, структуру цих ризиків слід будувати на основі базової структури 2. Для модуля 1А характеристики; факторного і результативного ризику різні, має місце ситуація, коли на результативний ризик впливають інші ризики» крім факторного ризику. Тому ризики можуть, бути включені в базову структуру 2. Однак для компактного графічного представлення структури ризиків, в тих випадках, коли потрібно виділити факторний ризик і врахувати комплексний вплив інших факторних ризиків на ризик застосування базового модуля А доцільно. Граф станів базової структури двох ризиків для модуля 1А приведений на рис.3.1.6.

Зміст станів: Для базової структури 2 практичний інтерес представляють 3 стани системи ризиків, яким відповідають 3 варіанти базових модулів:

Модуль 2А, для якого реалізація хоча б одного з факторних ризиків 1 і 2 обов'язково тягне за собою реалізацію результативного ризику. Модуль 2В, для якого навіть спільна реалізація факторних ризиків і 2 цієї статті не обов'язково тягне за собою реалізацію результативного ризику К. 3. Модуль 2С, для якого спільна реалізація факторних ризиків 1 і 2 неможлива, а результативний ризик реалізується при реалізації хоча б одного з факторних ризиків і Графи станів базової структури трьох ризиків для модулів 2А, 2В і 2С наведені на рис.3.1.7.- 3.1.9.

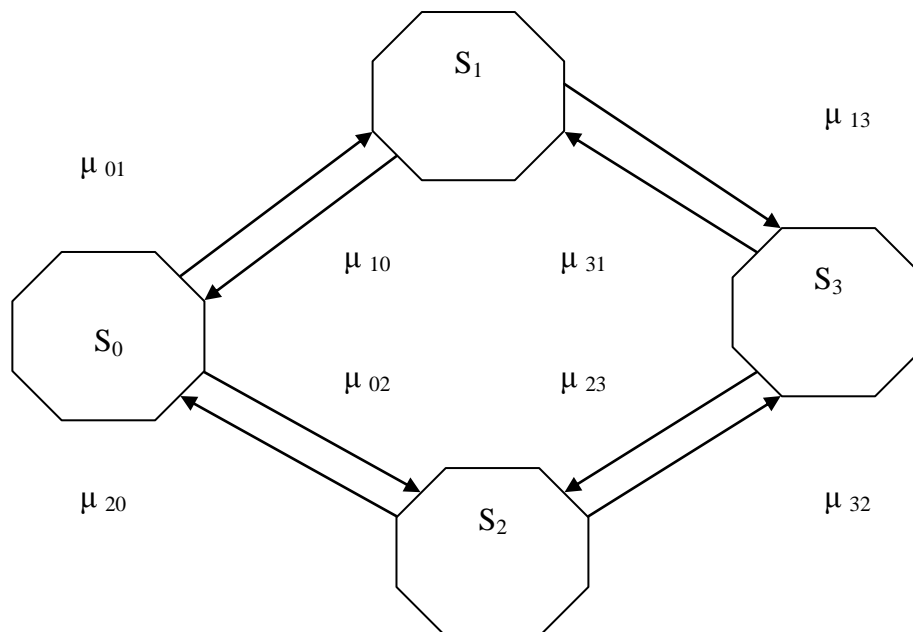


Рис. 3.1.6. Граф станів базової структури двох ризиків

На графах станів стрілки, спрямовані, наприклад, зі стану ° 0 в стан ° 1, означають перехід системи в момент реалізації ризику, а зі стану в стан - перехід в момент припинення реалізації цього ризику. Відсутність стрілок між станами означає практичну неможливість відповідного переходу. Так, наприклад, для модуля 2А на графі її відсутні стрілки зі стану ° 0 в стан 3 і зі стану ° 1.

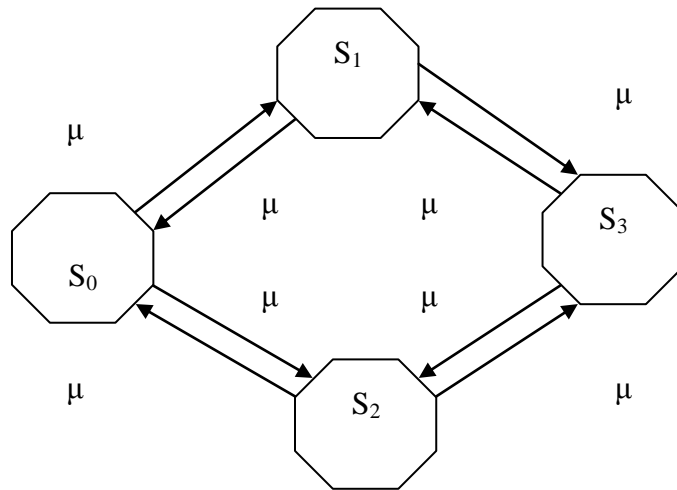


Рис 3.1.7. Граф стану базової структури трьох ризиків для модуля 2А

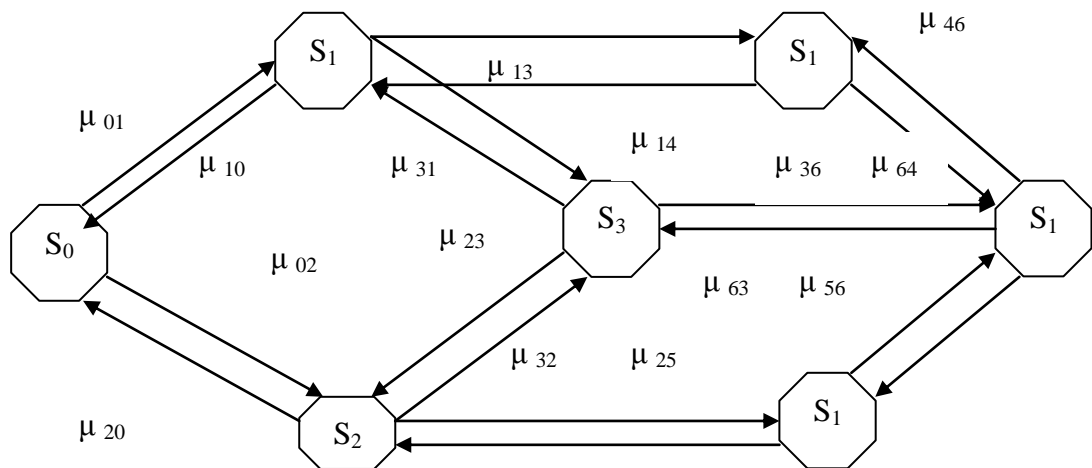


Рис 3.1.8. Граф стану базової структури трьох ризиків для модуля 2В

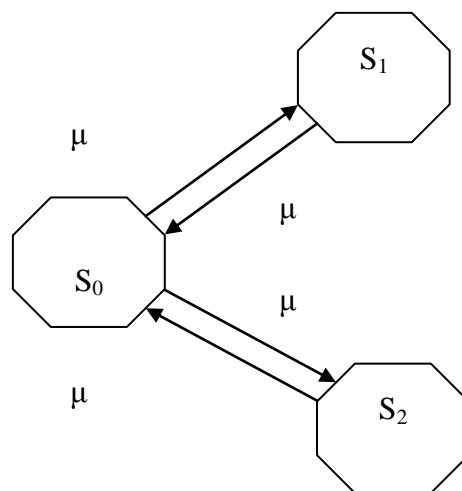


Рис 3.1.9. Граф стану базової структури трьох ризиків для модуля 2С

Це пояснюється тим, що розглядається ситуація, коли факторні ризики 1 і 2 реалізуються незалежно один від одного і ймовірність одночасного припинення реалізації ризиків 1 і 2 нехтує мала. Крім того, занадто мала ймовірність одночасної реалізації ризиків 1 і 2. На графах станів позначені інтенсивності потоків подій, що переводять систему зі стану  $i$  в стан  $t$ . Виділені базові структури ризиків є «елементарними блоками», з яких складається ядро системи ризиків. Найважливішою особливістю ризиків є лавиноподібний характер їх виникнення і поширення по системі ризиків. З позиції аналізу ієрархічної структури ризиків лавинна генерація ризиків проявляється в тому, що реалізація одних факторних ризиків породжує реалізацію результативних ризиків, які в свою чергу, будучи факторними для нових результативних ризиків, породжують їх реалізацію, запускаючи тим самим механізм лавинної генерації ризиків.

Складність управління ризиками пов'язана ще і з тим, що реалізація заходів, спрямованих на зниження одних ризиків може породити заміщення цих ризиків іншими ризиками, які в свою чергу можуть запустити механізм лавинної генерації нових ризиків. Негативний вплив лавинної генерації ризиків на результати діяльності може посилюватися ще й тим, що реалізація нових результативних ризиків, що виникають при лавинній генерації, може привести до великих фінансових втрат, ніж реалізація факторних ризиків, що породили ці результативні ризики. Тобто для лавинної генерації ризиків може бути характерний процес посилення негативних наслідків результативних ризиків в порівнянні з безпосередніми негативними наслідками попередніх їм факторних ризиків. Зазначені обставини викликають необхідність розробки ймовірнісної моделі лавинної генерації ризиків, застосування якої для промислових підприємств з метою оцінки, аналізу та управління ризиками повинно ґрунтуватися на універсальному підході, спирається на використання для різних підприємств єдиного ядра системи ризиків стрижневих бізнес - процесів, що складається з базових структур ризиків. Застосування моделі, заснованої на універсальному підході, має спростити процес її практичного застосування широким колом фахівців і забезпечити можливість виявлення як найбільш значущих ризиків, що призводять до найбільш тяжких наслідків, так і можливих негативних наслідків заходів з управління ризиками з урахуванням нових ризиків генеруються при реалізації цих заходів.

Процес лавинної генерації ризиків пропонується представити моделлю послідовного поширення ризиків за модульною системою їх базових структур. Поставимо задачу оцінити граничні ймовірності станів систем ризиків базових структур. Ці граничні ймовірності станів визначають відносно час перебування кожного з базових модулів в тому чи іншому стані і є вихідною інформацією для оцінки впливу ризиків на ефективність підприємства.

Оцінку граничних ймовірностей станів пропонується проводити за результатами рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь, що характеризують стаціонарний стан базових модулів системи ризиків. Цю систему алгебраїчних рівнянь пропонується отримати граничним перетворенням системи диференціальних рівнянь Колмогорова [123, с.258] для ймовірностей станів. Методика побудови та розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь, що характеризують стаціонарний стан базових модулів системи ризиків, викладена в додатку 6. Побудовані за цією методикою для базових модулів станів системи лінійних алгебраїчних рівнянь, що характеризують стаціонарний стан базових модулів системи ризиків. Для Базового модуля 1А Реалізація факторного ризику  $R_{i1}$  обов'язково тягне за собою реалізацію результативного ризику  $R_{j1}$

$$\begin{cases} \mu_{10}P_1 + \mu_{20}P_2 - P_0(\mu_{01} + \mu_{02}) = 0 \\ \mu_{01}P_0 + \mu_{31}P_3 - P_1(\mu_{10} + \mu_{13}) = 0 \\ \mu_{02}P_0 + \mu_{32}P_3 - P_2(\mu_{20} + \mu_{23}) = 0 \\ P_0 + P_1 + P_2 + P_3 = 1 \end{cases}$$

Для Базового модуля 2А Реалізація хоча б одного з факторних ризиків  $R_{i1}$  ,  $R_{j2}$  обов'язково тягне за собою реалізацію результативного ризику  $R_{j1}$

$$\begin{cases} \mu_{10}P_1 + \mu_{20}P_2 - P_0(\mu_{01} + \mu_{02}) = 0 \\ \mu_{01}P_0 + \mu_{31}P_3 - P_1(\mu_{10} + \mu_{13}) = 0 \\ \mu_{02}P_0 + \mu_{32}P_3 - P_2(\mu_{20} + \mu_{23}) = 0 \\ P_0 + P_1 + P_2 + P_3 = 1 \end{cases}$$

Для Базового модуля 2В сумісна реалізація факторних ризиків  $R_{i1}$  ,  $R_{j2}$  не обов'язково тягне реалізацію результативного ризику  $R_{i1}$

$$\begin{cases} \mu_{10}P_1 + \mu_{20}P_2 - P_0(\mu_{01} + \mu_{02}) = 0 \\ \mu_{01}P_0 + \mu_{31}P_3 - P_1(\mu_{10} + \mu_{13}) = 0 \\ \mu_{02}P_0 + \mu_{32}P_3 - P_2(\mu_{20} + \mu_{23}) = 0 \\ P_0 + P_1 + P_2 + P_3 = 1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mu_{10}P_1 + \mu_{20}P_2 - P_0(\mu_{01} + \mu_{02}) = 0 \\ \mu_{01}P_0 + \mu_{31}P_3 - P_1(\mu_{10} + \mu_{13}) = 0 \\ \mu_{02}P_0 + \mu_{32}P_3 - P_2(\mu_{20} + \mu_{23}) = 0 \\ P_0 + P_1 + P_2 + P_3 = 1 \end{cases}$$

Для практичних цілей оцінки впливу ризиків на ефективність «промислового підприємництва необхідно оцінити ймовірності: знаходження системи ризиків в стані реалізації конкретних ризиків „ які визначаються інтенсивностями потоків подій реалізації ризиків і часом перебування системи ризиків в змозі їх реалізації. Побудоване ядро системи управління авіаційними ризиками може служити основою для побудови системи ризиків на державному рівні.

Наочне подання інформації про ймовірність реалізації ризиків і очікуваних втратах, від їх реалізації здійснюється в ризик - менеджменті посредством- побудови карти ризиків, що дозволяє; виділити найбільш значущі ризики з метою забезпечення ефективного управління ними. Найбільш поширеною формою карти ризиків є, так звана «матриця втрат», що представляє собою таблицю заданого розміру  $\Pi \times \Pi$ , де кількість градацій визначають колічество2 « $\Pi$ » елементів таблиці найбільш часто приймається рівним 5. По вертикалі в матриці втрат вказуються ймовірності реалізації ризиків, а по .горизонталі - величина очікуваного збитку: в такій матриці втрат кожен ризик позиціонується в клітинку, відповідну, характерним для цього ризику значенням ймовірності реалізації та очікуваного збитку. Приклад традиційно використовуваної в ризик - менеджменті карти ризиків, наведеної в [128], представлений на рис., на якому затемнена зона неприпустимого ризику, що характеризується рангом в діапазоні від 12



до 25. Карти ризиків, подібні карті, наведеної на рис., характеризуються недоліком, обумовленим використанням для визначення ймовірності реалізації ризиків і очікуваного збитку бальної шкали експертних оцінок (зазвичай від 1 до 5 балів) і визначенням рангу ризику, що характеризує його значимість, як твори цих оцінок. Такий підхід характеризується значним суб'єктивізмом і, як наслідок, - низькою вірогідністю.

Отримані в даній роботі результати по оцінці ймовірностей знаходження системи ризиків в стані реалізації конкретних ризиків і оцінки очікуваного збитку від реалізації ризиків дозволяють будувати карту ризиків, базуючись не на експертних, а на аналітичних оцінках. Такий аналітичний метод дозволяє виключити суб'єктивізм і формулювати збиток не в абстрактних балах, а в значеннях очікуваного зниження основних показників ефективності авіаційної діяльності, якими є коефіцієнт стійкого зростання і рентабельність власного капіталу. Приклад карти ризиків, побудованої на основі запропонованого аналітичного методу.

Ризики, збиток від реалізації яких становить менше заданого граничного значення, слід віднести до прийнятних ризиків категорії «С». Якщо збиток від ризику укладений в діапазоні від граничного до критичного значення, то такий ризик слід визнати критичним ризиком категорії «В». Ризики, збиток від реалізації яких перевищує критичне значення, слід віднести до катастрофічних ризиків категорії «А». Поділ ризиків на категорії дозволяє вибирати і застосовувати адекватні ситуації методи та інструменти управління ризиками. Так для ризиків категорії «А» слід, перш за все, застосовувати методи ухилення і компенсації, для ризиків категорії «В» - методи компенсації і нейтралізації. Ризики категорії «С» вимагають моніторингу можливостей їх переходу в більш небезпечну категорію і прийняття превентивних заходів, спрямованих на недопущення реалізації цієї можливості.

Пропонований аналітичний метод побудови карти ризиків передбачає оцінку збитку від реалізації даного ризику в припущенні відсутності всіх ризиків, які не є факторними і результативними по відношенню до аналізованого ризику.

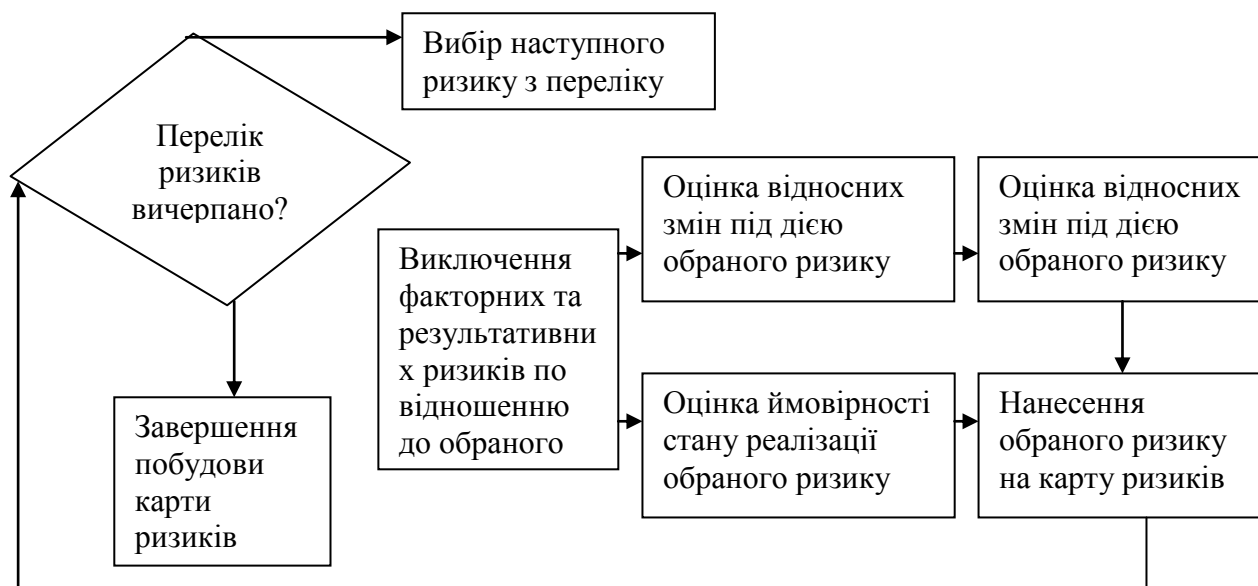


Рис. 3.1.10 Алгоритм розподілу ризиків на категорії

Розроблений алгоритм дозволяє на основі аналітичних оцінок розділити ризики на категорії і виробити рекомендації щодо адекватного тяжкості наслідків реалізації кожного з ризиків вибору методів та інструментів управління

Отримані розрахункові формули оцінки очікуваного і граничного знижень обсягу реалізації і підвищення загальних витрат і запропонований аналітичний метод

побудови карти ризиків є базою для оцінки ефективності заходів з управління ризиками та формування портфеля цих заходів.

З урахуванням введених понять і отриманих розрахункових формул можна запропонувати алгоритм формування портфеля заходів управління ризиками.

Реалізація запропонованого алгоритму спирається на побудову карти ризиків і розробку заходів з управління ризиками. Оскільки кожен з ризиків характеризується ланцюжком пов'язаних з ним ризиків, то збиток від впливу цього ризику, відбитий на карті ризиків, характеризує збитки від впливу всього ланцюжка. Разом з тим для розробки заходів з управління ризиками потрібно виділяти факторні ризики. Вирішення цього завдання в роботі пропонується проводити на основі принципу зниження вихідних факторних ризиків, заснованого на визначенні факторних ризиків нижчих градацій, зниження яких забезпечить прийнятність впливу всього ланцюжка ризиків. Застосування запропонованого принципу орієнтоване на придушення розвитку по ланцюжку взаємопов'язаних ризиків механізму лавинної генерації ризиків, і, як наслідок, на придушення підвищення ризиків вищих градацій і результуючих ризиків зниження обсягу реалізації і підвищення загальних витрат.



Рис.3.1.11 Алгоритм формування портфеля заходів управління ризиками

Методика реалізації запропонованого принципу зниження вихідних факторних ризиків містить наступні етапи:

Етап 1. Формування по карті ризиків переліку критичних і катастрофічних ризиків і ранжування їх за величиною збитку. В результаті виконання етапу 1 формується перелік критичних і катастрофічних ризиків.

Етап 2. Визначення ризику, що викликає найбільший збиток.

Етап 3. Виділення в ланцюжку ризиків, пов'язаних з даним ризиком, факторних ризиків нижчої градації і їх ранжування за величиною збитку.

Етап 4. Вибір факторного ризику нижчої градації, що викликає найбільший збиток (ризик Ф).

Етап 5. Розробка керуючих впливів, спрямованих на ухилення або (і) зниження тяжкості наслідків обраного ризику Ф.

Етап 6. Перехід до п.5. алгоритму.

Етап 7. Ухвалення рішення за алгоритмом про доцільність включення розроблених керуючих впливів в портфель заходів з управління ризиками і, якщо реалізація розроблених заходів недоцільна, то розробка і оцінка ефективності інших можливих впливів з подальшим переходом до виконання етапу 6.

Етап 8. Оцінка зміни шкоди від впливу ланцюжка ризиків, пов'язаних з ризиком, і нанесення ризику на карту ризиків з урахуванням заходів, включених в портфель.

Етап 9. Якщо ризик Іл перейшов до групи прийнятних ризиків, то перехід до етапу 2 за ризиком 2. В іншому випадку перехід до етапу 4 для наступного факторного ризику ланцюжка ризиків, пов'язаних з ризиком Іь

Етап 10. Якщо після формування портфеля заходів, з управління ризиком Ю по всьому впливає на нього факторним ризиків, він залишився в категорії катастрофічних або критичних ризиків - то відмова від дій, пов'язаних з цим ризиком

Реалізація запропонованої методики дозволяє впорядкувати процес формування портфеля заходів з управління ризиками і орієнтувати цей процес на придушення причин лавинної генерації ризиків.

Таким чином, за результатами досліджень, проведених у другому розділі можна сформулювати наступні висновки і рекомендації.

Система показників ефективності авіаційної діяльності повинна містити групи показників ефективності зростання бізнесу, ефективності використання капіталу, ефективності продажів і ефективності використання працівників. В якості ключового показника системи слід використовувати коефіцієнт стійкого зростання, що визначає темпи розвитку бізнесу.

В якості критерію, ефективності доцільно використовувати критерій придатності, різні експлуатанти характеризуються загальним ядром системи ризиків, побудованим в даній роботі на основі застосування модульного принципу із запропонованих базових структур ризиків. Систему ризиків структур слід будувати на основі зазначеного ядра з коригуванням, що враховує специфіку діяльності даної структури експлуатанта.

5. Карту ризиків слід будувати, ґрунтуючись на зазначених аналітичних оцінках, в координатах ймовірності реалізації ризику і збитку, що характеризується відносною зміною коефіцієнта стійкого зростання під впливом ризиків.

### 3.2. Метод забезпечення гарантованого результату підтримки рівня безпеки польотів

Динаміка ПР полягає в поступовому отриманні та використанні інформації про компонентах вектора, що характеризує свободу вибору оператора [69]. Для зручності запису будемо позначати через  $x = (x_1, x_2 \dots x_n)$  та  $y = (y_1, y_2 \dots y_n)$  фактори, які обираються відповідно першим і другим гравцями, які мають критерії ефективності

$$w_i = f_i(x, y), i = 1, 2 \quad (3.2.1)$$

Свободу вибору гравців у компонентах  $x_i, y_i$  обмежемо множинами  $X_i^0 \text{ и } Y_i^0, i, j = 1, \dots, n$ .

Функції  $f_i$  на  $X_i^0 \times \dots \times X_n^0 \times Y_1^0 \times \dots \times Y_n^0$

будемо вважати для простоти такими, щоб всі з'являються нижчі та верхні межі досягалися. Це, зокрема, буде, якщо все  $X_i^0 \text{ и } Y_i^0$  - кінцеві безлічі.

Обозначимо через  $x = (x_1, \dots, x_i), y = (y_1, \dots, y_i)$   $ij = 1, \dots, n$  «Урізані» вектори  $x$  і  $y$ . Якщо ввести інтервал затримання інформації, то стратегіями першого оператора будуть будь-які функції вигляду

$$x_i = (x_{i-1}, \dots, y_{i-1}), i = 1 \dots n, y_{i-1}, i \leq l = \text{const} \quad (3.2.2)$$

Займемося відшукування найбільшого гарантованого результату і оптимальної стратегії першого експерта слідуючи роботі [69]. Введемо наступні величини:

$$L_n(x, y) = f_2(x, y) \quad (3.2.3)$$

$$L_j(\bar{x}_j, \bar{y}_j) = \max_{y_{j+1} \in Y_{j+1}^0} \min_{x_{j+1} \in X_{j+1}^0} L_{j+1}(\bar{x}_{j+1}, \bar{y}_{j+1}) \quad (3.2.4)$$

$$0 \leq j \leq n-1$$

$$x_j^H(\bar{x}_{j-1}, \bar{y}_j) = \{x_j^* | \min_{x_{j+1} \in X_{j+1}^0} L_{j+1}(\bar{x}_j, \bar{y}) = L_j(\bar{x}_{j+1}, \bar{y}_j, x_j^*)\} \quad (3.2.5)$$

$$1 \leq j \leq n$$

$$E_j(\bar{x}_{j-1}, \bar{y}_{j-1}) = \{y_j | L_j(\bar{x}_{j+1}, \bar{y}_{j+1}, x_j^*, y_j) = L_{j-1}(\bar{x}_{j-1}, \bar{y}_{j-1})\} \quad (3.2.6)$$

$$1 \leq j \leq n$$

$$M_n(x, y) = f_1(x, y)$$

$$M_j(\bar{x}_j, \bar{y}) = \inf_{y_{j+1} \in E_{j+1}(\bar{x}_j, \bar{y})} \sup_{x_{j+1} \in X_{j+1}^0} M_{j+1}(\bar{x}_{j+1}, \bar{y}_{j+1}) \quad (3.2.7)$$

$$0 \leq j \leq n-1$$

Зробимо припущення про існуванні стратегії  $x_j^a(\bar{x}_{j-1}, \bar{y}_j)$ , реалізуючій  $\max_{x_j \in X_j^0} M_j(\bar{x}_j, \bar{y}_j) = M_j(\bar{x}_{j-1}, \bar{y}_j, x_j^a)$

$$1 \leq j \leq n$$

$$D_j = \left\{ (\bar{x}_j, \bar{y}_j) \left| \begin{array}{l} L_j(\bar{x}_j, \bar{y}_j) > L_0 \\ L_j(\bar{x}_j, \bar{y}_j) > L_1(\bar{x}_j, \bar{y}_j) \\ \dots\dots\dots \\ L_j(\bar{x}_j, \bar{y}_j) > L_{j-1}(\bar{x}_{j-1}, \bar{y}_{j-1}) \end{array} \right. \right\} \quad (3.2.8)$$

$$1 \leq j \leq n$$

Припустимо, що в області 3.59) існує точка

$$(x_{1j}^0, y_{1j}^0, x_{2j}^0, y_{2j}^0, \dots, x_{jj}^0, y_{jj}^0)$$

Реалізуюча

$$K_j = \begin{cases} \sup_{(\bar{x}_j, \bar{y}_j) \in D_j} M_j(\bar{x}_j, \bar{y}_j) = M_j(x_{1j}^0, y_{1j}^0, x_{2j}^0, y_{2j}^0, \dots, x_{jj}^0, y_{jj}^0) \\ -\infty \end{cases} \quad (3$$

.2.9)

$$D_j \neq \phi$$

$$D_j = \phi$$

$$1 \leq j \leq n$$

Нехай перший експерт запропонував деяку стратегію  $x(y) = \{x_j(\bar{y}_j); 1 \leq j \leq n\}$ .

При виборі другим оператором стратегії  $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$  в просторі  $(x, y)$  визначається точка

$$A_x(y) = \{x_1(\bar{y}_1), y_1, x_2(\bar{y}_2), y_2, \dots, x_n(\bar{y}_n), y_n\} \quad (3.2.10)$$

Позначимо  $L_n[x(y), y] = L_n[A_x(y)]$ . Далі, є непушта множина

$Y(x)$  стратегій  $y_x$  таке що

$$Y(x) = \{y_x \mid \sup_v L_n[A_x(y)] = L_x^* = L_n[A_x(y_x)]\} \quad (3.2.11)$$

Прагнення кожного з гравців до збільшення свого виграшу реалізується в такий спосіб: При заданій першим гравцем стратегії другий гравець вибирає будь-яку стратегію  $\{x_j(\bar{y}_j); 1 \leq j \leq n\}$ , звідки випливає, що участь другого гравця в процедурі взаємодії зводиться до вирішення задачі оптимізації. Перший гравець, вибираючи,  $\{x_j(\bar{y}_j); 1 \leq j \leq n\}$  прагне до реалізації свого найбільшого гарантованого результату, При обраної стратегії  $x(y)$  и  $y \in Y(x)$  і справедливо нерівність  $L_x^* \geq \max_{0 \leq j \leq n-1} L_j(\bar{x}_j, \bar{y}_j)$

Дійсно передбачення  $L_x^* < \max_{0 \leq j \leq n-1} L_j(\bar{x}_j, \bar{y}_j) = L_k(\bar{x}_k, \bar{y}_k)$  протиречить вибору другим оператором  $y \in Y(x)$ , так як виходить, що вибором лиш

$y_j \in E_j(\bar{x}_{j-1}, \bar{y}_{j-1})$   $k + 1 \leq j \leq n$ , другий оператор забезпечує виграш  $L_n(x, y) \geq L_k(\bar{x}_k, \bar{y}_k)$ .

Нехай стратегія  $\{x_j(\bar{y}_j); 1 \leq j \leq n\}$  така, що  $L_0^* = L_0$ , нічого не перешкоджає другому оператору в виборі будь якої стратегії  $y_j \in E_j(\bar{x}_{j-1}, \bar{y}_{j-1}), 1 \leq j \leq n$ , звідки в силу  $W \leq M_0$

Будемо, далі, припускати, что стратегія  $\{x_j(\bar{y}_j); 1 \leq j \leq n\}$  така, що

$$L_x^* > L_0 \quad (3.2.12)$$

При заданій стратегії  $\{x_j(\bar{y}_j); 1 \leq j \leq n\}$ , що задовольняє (3.2.11), визначимо множення  $Y_1(x)$  и  $Y_2(x)$ :

$$\begin{aligned} Y_1(x) &= \{y_x \in Y(x) \mid A_x(y_x) \in D_n\} \\ Y_2(x) &= \{y_x \in Y(x) \mid A_x(y_x) \notin D_n\} \end{aligned} \quad (3.2.13)$$

Очевидно  $Y(x) = Y_1(x) \cup Y_2(x)$  Если  $y_x \in Y_1(x)$ , то в силу (3.2.10)

$$W \leq K_n \quad (3.2.14)$$

Якщо  $y_x \in Y_2(x)$ , то в силу

$$L_x^* = \max_{1 \leq j \leq n-1} L_j(\bar{x}_j, \bar{y}_j) \quad (3.2.15)$$

В цьому випадку любі стратегії  $y_x \in Y_2(x)$  равноцінні для другого гравця і реалізують

$$L_n[A_x(y_x)] = L_x^* = L_s(\bar{x}_s, \bar{y}_s) = L_{s_1}(\bar{x}_{s_1}, \bar{y}_{s_1}) = L_{s_m}(\bar{x}_{s_m}, \bar{y}_{s_m}) (1 \leq s < s_1 < s_2 < \dots < s_m \leq n-1) \quad (3.2.16)$$

Можна стверджувати, що

$$Y_2(x) = \bigcup_{s=1}^{n-1} Y_2^s(x) \quad (3.2.17)$$

де  $Y_2^s(x)$  безліч стратегій  $y_x$  для котрих даний номер  $s$ - найменший в (3.2.18).

Деякі з класів  $Y_2^t(x) \neq \emptyset$  можливо пусті. Нехай  $t$  – найменший номер  $v$ , який реалізує  $Y_2^t(x) \neq \emptyset$ . Проведемо оцінку результату першого оператора в передбаченні, що другий оператор вибрав произвольну стратегію  $y_x \in Y_2^t(x)$ . Нехай ця стратегія є

$$\begin{aligned} y^t &= (y^t, y_2^t, \dots, y_t^t, y_{t+1}^t, \dots, y_n^t) \\ L_x^* &= L_n[A_x(y^t)] = L_t(x_t^t, y_t^{-t}) \end{aligned} \quad (3.2.18)$$

Причому в силу справедлива система

$$L_t(x_t^t, y_t^{-t}) > L_f(x_j^t, y_j^{-t}), \quad 1 \leq j \leq t-1$$

Що в свою чергу в силу є

$$(x_t^t, y_t^{-t}) \in D_t. \quad (3.2.19)$$

Розглянемо стратегію

$$y = \{y_j^t (1 \leq j \leq t); y_j \in E_j(\bar{x}_{j-1}, \bar{y}_{j-1}); t+1 \leq j \leq n\}.$$

Із визначення  $E_j(\bar{x}_{j-1}, \bar{y}_{j-1})$  у слід,

$$L_n[A_x(y)] \geq L_t(x_t^t, y_t^{-t}) = L_x^* ;$$

однак строге не рівняння протирічило б оптимальності  $y^t$ . З іншого боку  $L_n[A_x(y)] \geq L_x^* = L_t(x_t^t, y_t^{-t}) \in y \in Y_2(x)$ . Передбачення  $L_n[A_x(y)] = L_m(x_m, y_m)$  при  $m < t$  протирічить визначенню  $t$ . Таким чином доведено, що  $y \in Y_2^t(x)$ .

З (3.57) виходить, що застосування другим гравцем стратегії  $y$  не гарантує першому результату більшого ніж  $M_n(x, y) = M_t(x_t^t, y_t^{-t})$ , де в силу (3.70)  $(x_t^t, y_t^{-t}) \in D_t$  звідси

$$W \leq \sup_{(x_t, y_t) \in D_t} M_t(\bar{x}_t, \bar{y}_t) = K_t \quad (3.2.20)$$

Довільність стратегії  $\{x_j(\bar{y}_j); 1 \leq j \leq n\}$ , для якої проводились міркування, означає, що  $1 \leq t \leq n-1$ . Останнє не рівняння та співвідношення (3.62), (3.65), (3.71) роблять справедливою оцінку для  $W$  при довільній стратегії  $\{x_j(\bar{y}_j); 1 \leq j \leq n\}$  та оптимальної, в смислі своїх інтересів, поведінки другого гравця:

$$W \leq \max_{1 \leq j \leq n} \{ \max K_f, M_0 \}. \quad (3.2.21)$$

Перейдемо до питання про реалізуємість правої частини (3.72). Стратегія

$$x^* = \begin{cases} \begin{cases} x_j = x_j^a, & 1 \leq j \leq n \\ x_j = x_j^H, & 1 \leq j \leq p \end{cases} & y_j \in E_j, \\ \begin{cases} x_j = x_j^a, \\ x_j = x_j^H, \end{cases} & \begin{cases} y_1 \in \bar{E}_1, 1 \leq j \leq p & p+1 \leq j \leq n \\ y_{p+1} \in \bar{E}_{p+1} & y_1 \in \bar{E}_1 \end{cases} \end{cases}$$

гарантує використання другим гравцем тільки  $y_1 \in E_1, 1 \leq j \leq n$ . Дійсно з вигляду  $x^*$  та визначення (3.56) є, що при  $y_1 \in E_1 (1 \leq j \leq p)$   $y_{p+1} \in \bar{E}_{p+1} (0 \leq p \leq n-1)$  вигреш другого гравця є  $L_n(x, y) < L_p(x_p, \bar{y}_p)$ , тоді як  $y_j \in E_j, p+1 \leq j \leq n (0 \leq p \leq n-1)$ , що робить не вигідним для другого гравця на якому-лібо кроці вибір  $y_j \in \bar{E}_j$ . З іншого боку впевненість в тому, що  $y_j \in E_j$  і вид  $x^*$  гарантує першому по (3.57)  $M_n(x^*, y) \geq M_0$ , одночасно доведено і не рівняння

$$W \geq M_0 \quad (3.2.22)$$

Стратегія

$$x^{**} = \begin{cases} \begin{cases} x_j = x_{jn}^0 & 1 \leq j \leq n \\ x_j = x_j^H & 1 \leq j \leq p < n \\ & p+1 \leq j \leq n \end{cases} & \begin{cases} y_j = y_{jn}^0 & 1 \leq j \leq p < n \\ y_j = y_{jn}^0 & \\ y_{p+1} = y_{p+1,n}^0, & 1 \leq j \leq n \end{cases} \\ \begin{cases} x_j = x_{jn}^0 \\ x_j = x_j^H \end{cases} & \end{cases}$$

гарантує використання другим експертом тільки  $y_j = y_{jn}^0$   $1 \leq j \leq n$ . Дійсно  $y_1 \neq y_{jn}^0$  або  $y_j = y_{jn}^0$   $1 \leq j \leq p < n$   $y_{p+1} \neq y_{p+1,n}^0$  в силу вигляду  $x^{**}$  забезпечує другому гравцю результат відповідно  $L_n(x^{**}, y) \leq L_0$  або  $L_n(x^{**}, y) \leq L_p(x_p^0, y_p^0)$ , тоді, як  $y_j = y_{jn}^0$   $1 \leq j \leq n$  в силу (3.59), (3.60), і вигляду  $x^{**}$  дає  $L_n(x^{**}, y) > \max_{0 \leq p \leq n-1} L_p(x_p^0, y_p^0)$ .

Таким чином застосування  $x^{**}$  гарантує першому гравцю  $M_n(x_{1n}^0, y_{1n}^0, \dots, x_{nn}^0, y_{nn}^0) = K_n$  та  $W \geq K_n$ .

Для  $1 \leq j \leq n-1$  стратегія  $x^j$  гарантує використання другим експертом тільки  $y_a = y_{aj}^0$   $1 \leq a \leq j$   $y_a \in E_a$ ,  $j+1 \leq a \leq n$ . Дійсно  $y_1 \neq y_{1j}^0$  або  $y_a = y_{aj}^0$   $1 \leq a \leq m < j$  та  $y_{m+1} \neq y_{m+1,j}^0$  в силу виду  $x^j$  та забезпечує другому експерту  $L_n(x^j, y) \leq L_0$  або  $L_n(x^j, y) \leq L_m(x_{1n}^0, y_{1n}^0, \dots, x_{mj}^0, y_{mj}^0)$  відповідно тоді як  $y_a = y_{aj}^0$   $1 \leq a \leq j$   $y_a \in E_a$   $j+1 \leq a \leq n$  дає в силу  $L_n(x^j, y) \geq L_j(x_{1j}^0, y_{1j}^0, \dots, x_{jj}^0, y_{jj}^0) > \max\{\max_{1 \leq m \leq j-1} L_m(x_{1j}^0, y_{1j}^0, \dots, x_{mj}^0, y_{mj}^0); L_0\}$ .

З іншого боку,  $y_{j+1} \notin E_{j+1}$ , або  $y_a \in E_a$   $j+1 \leq a \leq m < n$   $y_{m+1} \notin E_{m+1}$  в силу виду  $x^j$  та (3.56) забезпечує другому експерту лише

$$L_n(x, y) < L_j(x_m, \bar{y}_m) \quad y_a \in E_a \quad j+1 \leq a \leq n \\ L_n(x^j, y) \geq L_j(x_j^0, \bar{y}_j)$$

відповідно тоді як  $y_a \in E_a$   $m+1 \leq a \leq n$  гарантує останньому

$$L_n(x^j, y) \geq L_j(x_j^0, \bar{y}_j) \quad y_a \in E_a \quad m+1 \leq a \leq n \quad L_n(x^j, y) < L_m(x_m, y_m).$$

Таким чином, другий експерт не допустить на будь-якому ході вибору

$$j+1 \leq a \leq n \quad y_a = y_{aj}^0 \quad 1 \leq a \leq j \quad y_a \in E_a \quad j+1 \leq a \leq n$$

Вида стратегії  $x^j$  та 3.60. виходить що використання  $x^j$  гарантує першому експерту  $M_n[x^j, y] \geq K_j$ , звідки виходить нерівняння  $W \geq \max_{j+1 \leq n-1} K_j$ .

Співвідношення дозволяють зробити висновок, що  $W \geq \max_{1 \leq j \leq n} \{K_j, M_0\}$ , а ще разом з (3.72) є  $W \geq \max_{1 \leq j \leq n} \{K_j, M_0\}$ .

Таким чином, якщо перший експерт знає критерій ефективності другого і розміщує множеством стратегій вида (3.53) і правом першим зробити вибір стратегії, то його максимальний гарантований результат дорівнює  $\max_{1 \leq j \leq n} \{K_j, M_0\}$  при (3.54)— (3.60).

Цей результат реалізується при використанні одної із стратегій (3.73), (3.74), (3.75).

Позначимо максимальний гарантований результат першого експерта в цій грі (по теоремі 3.13) через  $f_1^{n-1}(\bar{x}_{n-1}, \bar{y}_{n-1})$ , а рекомендуемую стратегію через  $x_n^0(\bar{x}_{n-1}, \bar{y}_{n-1}, y_n)$ . Тоді визначений і результат другого експерта  $f_2^{n-1}(\bar{x}_{n-1}, \bar{y}_{n-1})$  в очах першого. Переходя до рішення при виборі  $x_{n-1}$  ми знову опиняємося в тих же



умовах задачі при виборі  $x_{n-1}$  и  $y_{n-1}$  при критеріях  $f_i^{n-1}(\bar{x}_{n-2}, \bar{x}_{n-1}, \bar{y}_{n-2}, y_{n-1})$  и т. п. Таким чином і визначається рекомендуємі стратегії  $x_i^0(\bar{x}_{i-1}, \bar{y}_{i-1}, y_i)$  при всіх  $i$  от  $n$  до 1.

$$\left\{ \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} x_a = x_{aj}^0, 1 \leq a \leq j \\ x_a = x_{aj}^a, j+1 \leq a \leq n \end{array} \right. \\ x_a = x_a^H, 1 \leq a \leq n \\ \left\{ \begin{array}{l} x_a = x_{aj}^0, 1 \leq a \leq m < j \\ x_a = x_a^H, m+1 \leq a \leq n \end{array} \right. \\ \left\{ \begin{array}{l} x_a = x_{aj}^0, 1 \leq a \leq j \\ x_a = x_a^H, j+1 \leq a \leq n \end{array} \right. \\ x_a = x_{aj}^0, 1 \leq a \leq j \\ x_a = x_a^a, j+1 \leq a \leq m < n \\ x_a = x_a^H, m+1 \leq a \leq n \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} y_a = y_{aj}^0, 1 \leq a \leq j \\ y_a \in E_a, j+1 \leq a \leq n \end{array} \right. \\ y_a \neq y_{aj}^0, 1 \leq a \leq n \\ \left\{ \begin{array}{l} y_a = y_{aj}^0, 1 \leq a \leq m < j \\ y_{m+1} \neq y_{m+1}^0, \end{array} \right. \\ \left\{ \begin{array}{l} y_a = y_{aj}^0, 1 \leq a \leq j \\ y_a \in \bar{E}_{j+1}, \end{array} \right. \\ \left\{ \begin{array}{l} y_a = y_{aj}^0, 1 \leq a \leq j \\ y_a \in E_a, j+1 \leq a \leq m < n \\ y_{m+1} \in \bar{E}_{m+1} \end{array} \right. \\ 1 \leq j \leq n-1 \end{array} \right.$$

Що кається максимального гарантованого результату, то для його обчислення прийдеється провести процес в зворотньому напрямку, підставляючи отримані стратегії для визначення  $y_i$  або реалізующих відповідні  $K$ , або принадлежащих відповідним  $E_2$ .

Процес спрощується, якщо припускати (відому першому) обережність другого гравця і його незнання інтересів першого. Тоді в момент вибору  $x_{n-1}$   $y_{n-1}$  другий гравець не знає, як буде вибирати хп перший гравець, і в силу обережності буде розраховувати на гірше, т. Е. На реалізацію стратегії показання і, значіт, на свій вибір з  $E_2(\bar{x}_{n-1}, \bar{y}_{n-1})$  Таким чином, тут

$$f_2^{n-1}(\bar{x}_{n-1}, \bar{y}_{n-1}) = L_2(\bar{x}_{n-1}, \bar{y}_{n-1}).$$

Ясно, що і на будь-якому етапі  $1 \leq i \leq n-2$ , виграш  $f_2$  буде дорівнюєвати відповідному Максимуму.  $L_2(\bar{x}_i, \bar{y}_i)$ . Друге завдання також, звичайно, спирається на теорему 3.13 Приклад гри з  $n=2$  при фіксованих  $x_1$  і  $y_2$  і (які можна тому опустити) призводить до гри і.  $f_i(x_2, y_1)$  Завдання 1  $i=1,2$  цього параграфа вироджується в гру  $\tilde{A}_2$ , оскільки  $x_2(y_1)$  повідомляється другому гравцеві заздалегідь, до вибору  $y_1$ . Завдання 2 при цьому вироджується просто в випадок, коли  $x_2^a(y_1)$  «повідомляється» в момент, відповідний вибору  $x_2$ , т. Е. Вже після вибору уг. Таким чином, перший гравець не зможе тут вплинути на вибір другого гравця і раціональною стратегією першого буде звичайна абсолютно оптимальна  $x_2^a(y_1)$ . Але абсолютно оптимальна стратегія при обережному другому гравцеві (вибирати двох з Максимуму) дасть першому гарантований результат, рівний  $M$  (див. Теорему 3.13). Але і при будь-якому іншому поведінці другого гравця вона дасть не більше того, що обіцяє стратегія теорему 3.13, а зазвичай і менш. Таким чином, побудований приклад, коли завдання 1 дає більш вигідне для першого гравця рішення, ніж завдання 2.

Цікавим прикладом застосування тільки що доведеної теореми можуть бути повторювані гри. Нехай розглядається  $N$  повторень  $f_i(x, y)$  гри, причому в кожному повторенні перший оператор буде мати інформацію про виборі  $y$ . Таким чином в межах одного повторення вірна теорема 3.13, будемо полагати що  $K > M$ . Критерії за  $N$  повторень гри нехай будуть  $\sum_{j=1}^N d_i^j f_i(x_j, y_j)$  причому  $d_i^j > 0$ . В зазначених умовах ясно, що 3.54-3.60 для усіх  $1 \leq j \leq N$  має місце

$$L_j(\bar{x}_j, \bar{y}_j) = \sum_{k=1}^j d_2^k f_2(x_k, y_k) + L_2 \sum_{k=j+1}^N d_2^k$$

$$E_j(\bar{x}_{j-1}, \bar{y}_{j-1}) = E_2$$

$$M_j(\bar{x}_j, \bar{y}_j) = \sum_{k=1}^j d_1^k f_1(x_k, y_k) + M \sum_{k=j+1}^N d_1^k$$

$$D_j = \left\{ (\bar{x}_j, \bar{y}_j) \left[ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^j d_2^k f_2(x_k, y_k) > L_2 \sum_{k=1}^j d_2^k \\ \sum_{k=2}^j d_2^k f_2(x_k, y_k) > L_2 \sum_{k=2}^j d_2^k \\ \dots \\ d_2^j f_2(x_j, y_j) > L_2 d_2^j \end{array} \right] \right\}$$

$$K_j = \begin{cases} \sup_{(\bar{x}_j, \bar{y}_j) \in D_j} \sum_{k=1}^j d_1^k f_1(x_k, y_k) + M \sum_{k=j+1}^N d_1^k, & D_j \neq \phi \\ -\infty, & D_j = \phi \end{cases}$$

Умови області  $D_N$  задовольняє в частині при  $f_2(x_k, y_k) > L_2$   $1 \leq k \leq N$ . Таким чином  $D_N$  складає область  $\underbrace{D \times \dots \times D}_{N \text{ раз}}$ , тоді через  $D \neq \phi (K > M)$

$$K_N = \sup_{(\bar{x}_j, \bar{y}_j) \in D_N} \sum_{k=1}^N d_1^k f_1(x_k, y_k) \geq \sum_{k=1}^N d_1^k f_1(x_k, y_k) = K \sum_{k=1}^N d_1^k \geq M \sum_{k=1}^N d_1^k = M_0.$$

Аналогічно бачимо, що умови в області  $D_N$  задовільнені, якщо виконуються умови в області  $D_j$  та  $f_2(x_k, y_k) > L_2$   $j+1 \leq k \leq N$ . Тоді  $(K > M)$

$$K_N \geq \sup_{\substack{(\bar{x}_j, \bar{y}_j) \in D_j \\ (x_k, y_k) \in D \\ j+1 \leq k \leq N}} \sum_{j=1}^j d_1^k f_1(x_j, y_j) = K_j - M \sum_{k=j+1}^N d_1^k + K \sum_{k=j+1}^N d_1^k \geq K_j$$

Таким чином у даному випадку  $D_N \neq \phi$  та максимальний гарантований результат дорівнює  $K_N = \sup_{(\bar{x}_N, \bar{y}_N) \in D_N} \sum_{k=1}^N d_1^k f_1(x_k, y_k)$

$$D_N = \{(x, y) \mid \sum_{k=j}^N d_2^k f_2(x_k, y_k) \geq L_2 \sum_{k=j}^N d_2^k; 1 \leq j \leq N\}$$

З викладеного вище бачимо, що  $K_N \geq K \sum_{k=1}^N d_1^k$ . Це означає вигідність, планування на ряд повторень (довгострокове планування).

Якщо покласти всі  $d_2^k = 0$  при  $k > 1$  то всі  $D_j = \emptyset$   $2 \leq j \leq N$  окрім  $D_1$ . Тоді і всі  $K_j = -\infty$ , крім  $K_1$ .

Отримаємо висновок. Максимальний гарантований результат дорівнює  $K_1 = d_1^1 K + M \sum_{k=2}^N d_1^k$ , так як при  $d_2^k > 0$  завжди маємо  $K_N \geq K \sum_{k=1}^N d_1^k$ , то як бачимо ( $K > M$ ) упередженість граничного переходу при  $d_2^k \rightarrow 0$ .

На самому ділі вказаний результат невірний, оскільки при  $d_2^k = 0, k > 1$  всі  $E_k(\bar{x}_{k-1}, \bar{y}_{k-1}) = Y_1^0 \times \dots \times Y_N^0$   $2 \leq k \leq N$  окрім  $E_1(\bar{x}_0, \bar{y}_0) = E_2$ . Таким чином

$K_1 = d_1^1 K + L_1[X^{\hat{e}}] \sum_{k=2}^N d_1^{k*}$ . Цей вірний результат знаходить своє пояснення в тому, що

другому гравцю (оскільки його результат не залежить від  $x_k$  і  $y_k$  при  $k > 1$ ) байдуже, які вибрати  $y_k$ ; вибір  $x_1$  робиться ще до отримання інформації про  $y_2, \dots, y_N$  і не може вплинути на вибір цих  $y_k, k > 1$ . Отже, не можна будувати довгострокове планування з партнером, анітрохи не цікавиться майбутнім. Варто зауважити, що запровадження зони нечутливості  $b_2$  зробить, мабуть, граничний перехід коректним вийде висновок про те, що довгострокове планування не можна здійснювати з партнером, мало піклуючись про майбутнє.

Тут  $N$ -кратне повторення гри розглядалося як єдина операція з єдиними критеріями без аналізу устойчивості. Якщо в задачі даного параграфа ставити питання про стійкість рішення, то доведеться або дивитись  $N$  повторень як одне в новій грі, або ж більш детально розбиратися в інтересах порушника.

### 3.3. Методи гарантованого забезпечення та підтримки ризиків на допустимому рівні.

3.3.1. Метод оцінки рівня "забрудненості" баз даних. Метод оцінки якості бази даних заснований на припущенні, що заздалегідь не відомі істинні значення процентного складу всіх типів помилок в базі даних та вважається, що існує деяка емпірична вибірка значень  $C_{ij}, j = 1 \div k, i = N_j$  з стохастичного часового ряду спостережень обсягом  $N_j$  за найбільш типовими видами помилок. Зазначений ряд спостереження має імовірнісну природу внаслідок нестационарного впливу факторів введення даних і похибки вимірювань.

При плануванні експерименту з метою формування статистичних даних та дослідження помилок, що виникають під час запису інформації в базу даних, вибирається типологічний вигляд угруповання, в якому в якості угрупованої ознаки будемо використовувати перелік типових помилок, що виникають під час запису інформації в базу даних.

Нехай  $(C_1, C_2, \dots, C_k^T)$  - випадковий вектор концентрації помилок в базі даних. Концентрація кожного  $i$ -го компонента  $j = 1 \div k$  має нормальний закон розподілу з математичним очікуванням  $M\{C_1\}$  і дисперсією  $D\{C_1\}$ .

Спостережувані вихідні дані дозволяють отримати оцінки параметрів -  $(C_j \rightarrow (D\{C_j\})^{0,5})$  математичних очікуванні для розподілів відповідних випадкових величин

$$C_j : \overline{C_j} = \frac{\sum_{i=1}^{N_j} C_{ij}}{N_j}, S_j = \left[ \frac{\sum_{i=1}^{N_j} C_{ij} - \overline{C_j} / f_j}{f_j} \right]^{0,5} \quad (3.3.1.1)$$

Де  $f_j = N_j - 1$  число ступенів свободи  $S_j, (j = 1 \div k)$

При вирішенні задач комплексної оцінки якості БД будемо вважати що інформація БД ефективно використовується до тих пір, поки сума відносин виявлених концентрацій помилок до їх гранично-допустимої норми  $\delta_j$  не стає більше  $k_{don}$  (надалі для додання цієї величини фізичного сенсу індикатора, що дозволяє судити про концентрацію помилок будемо вважати, що  $K_{don} = 1$ ).

$$\mu = \{C_1/\delta_1 + C_2/\delta_2 + \dots + C_k/\delta_k\} \quad (3.3.1.2)$$

Використання формули (2.24) передбачає дві оцінки якості бази даних - "чиста" ( $\mu < 1$  і "брудна" (при  $\mu > 1$ ).

Оскільки концентрації помилок, як забруднюючих компонентів бази даних  $C_i$ , є випадковими величини, то і критерії якості на їх основі також носять імовірнісний характер.

У практичних додатках Біноміальна модель описує розподіл числа "успіхів" в  $n$  випробуваннях Бернуллі з незмінною ймовірністю "успіху"  $p$ . Статистична оцінка математичного очікування показника ц забруднення бази даних може бути обчислена за формулою:

$$m = C_1/\delta_1 + C_2/\delta_2 + \dots + C_k/\delta_k \quad (3.3.1.3)$$

При проведенні досліджень можна встановити такі критичні значення рівня значущості  $\alpha$  [4]:  $0,3 < \alpha < 1$ , коли відповідальність за висновки гранично мала,  $0,1 < \alpha < 0,3$  - мала;  $0,03 < \alpha < 0,1$  - звичайна;  $0,001 < \alpha < 0,03$  - велика;  $0 < \alpha < 0,001$  - гранично велика.

Оценкка рівня значущості  $\alpha$  ( $\alpha$  - ймовірність помилкового відхилення перевіряється гіпотези  $H_0$ , якщо вона вірна) обчислюється по формулі

$$\bar{\alpha} = 0,5 - 0,5 \left[ 1 - e^{-0,6118 Z_{\alpha}^2} \right]^{0,5}$$

$$Z_{\alpha} = L \left[ L^2 - 2 t_{f,a} \bullet (f + 3) \right]^{0,5}, L = f + 1,5 t_{f,a} + 3 \quad (3.3.1.4)$$

$t_{f,a}$  верхня  $a$ -межа розподілу Стюдента  $t_{f,a} > 1$  ступенями свободи.

Критичні області відхилення нульової гіпотези (основного перевіряється припущення) показані на рис.2.6. Їх взаємно однозначне відображення на область значень показника  $\mu$  забруднення бази даних відбувається по-різному, в залежності від сформульованих нульовий та альтернативної гіпотез, що відображають інтереси забезпечення БП.

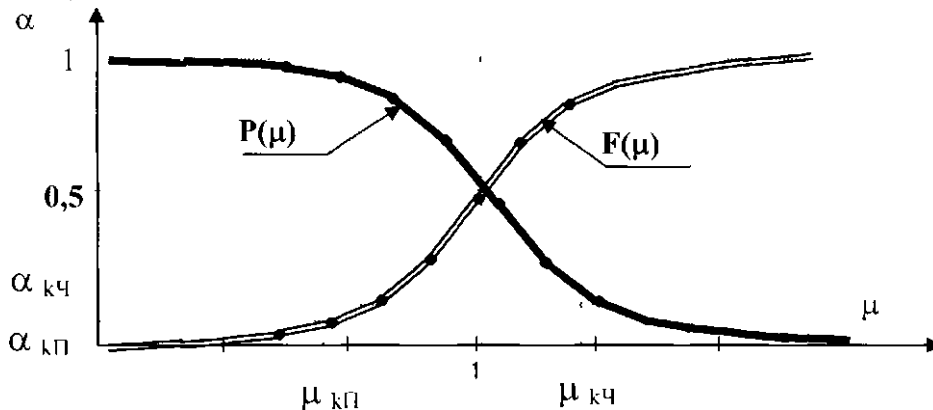


Рис. 3.3.1.1. Відображення критичних областей оцінки рівня значимості показника якості баз даних для ЛПР.

3.3.2. Метод оцінки впливу зовнішніх факторів на формування помилок в базах даних автоматизованих систем управління безпекою польотів. Під зовнішніми чинниками розуміються чинники, пов'язані з впливом інформаційного зброї на людину або відсутністю такого впливу.

Завдання оцінки факторів впливу на процес виникнення помилок в базі даних методом багатфакторного дисперсійного аналізу формується в такій постановці.

Нехай є вибірка з  $m$  значень  $X_1, X_2, \dots, X_m$  деякого показника якості запису інформації в базу даних АС УБП, виміряного в кількісній шкалою. Вивчається вплив, який чинять на кількість помилок при введенні інформації в базу даних, два якісних ознаки - фактор  $A$ , який має  $k$  рівнів (градаций)  $A_1 \dots, A_k$ , і фактор  $B$ , розбитий на  $n$  рівнів  $B_1 \dots, B_n$ .

необхідно:

- перевірити гіпотезу про приналежність всіх вибірок однієї генеральної сукупності;
- якщо нульова гіпотеза відкидається, то необхідно оцінити ступінь впливу кожного фактора.

Загальна методика аналізу, як і в разі одного фактора, полягає в розкладанні загальної варіації сукупності результатів спостереження на приватні варіації, обумовлені впливом окремих факторів і їх комбінацій, і на залишкову варіацію, зумовлену випадковими причинами. Оцінка достовірності впливу факторів проводиться за методом Фішера шляхом розрахунку відношення дисперсії, що характеризує статистичне коливання групових середніх за окремими факторами, до дисперсії, що характеризує випадкову варіацію.

Далі для конкретизації вирішуваної проблеми будемо припускати, що вимірювана величина  $X$  є результат дії двох факторів  $A$  і  $B$  і складовою  $\epsilon$ , яка є незалежною, нормально  $N(0, \sigma^2)$  розподіленої випадкової величиною:

$$x = A, B) + \epsilon$$

Для кожного спостереження з даної сукупності справедливо рівняння:

$$x_{ij1} = c + a_j + b_i + \varepsilon_{ij1}, \text{--- } i = 1, \dots, n; \text{--- } j = 1, \dots, k, I = 1, \dots, h$$

(3.3.2.1.)

При необхідності додаткового дослідження спільного впливу чинників  $A$  і  $B$  модель двухфакторного аналізу має вигляд

$$x_{ij1} = c + a_j + b_i + ab_{ij} + \varepsilon_{ij1}, \text{--- } i = 1, \dots, n; \text{--- } j = 1, \dots, k, I = 1, \dots, h \quad (3.3.2.2)$$

де  $c$  - загальна середня;

$a_j$  - величина, що вимірює головний вплив фактора  $A$  на  $j$ -му рівні (градації) на результат  $X$ ;

$b_i$  - величина, що вимірює головний вплив фактора  $B$  на  $i$ -му рівні (градації) на результат  $X$ ;

$ab_{ij}$  - величина, що вимірює взаємодія факторів  $A$  і  $B$  на  $ij$ -му рівні градації;

$\varepsilon_{ij}$  - випадкова величина, що відображає вплив випадкового (залишкового) фактора на  $ij$ -й другій градації при  $I$ -му спостереженні;

Оцінки  $c, b, a$  можуть бути отримані за допомогою методу найменших квадратів.

Повна сума квадратів відхилень є сумою квадратів вкладів за факторами і квадратів випадкових відхилень (або залишків). Іншими словами, повне розсіювання є сума варіації під впливом факторів і випадкової складової.

3.3.3. Метод оцінки рекомендацій по управлінню безпекою польотів Для оцінки ефективності рекомендацій забезпечення БП пропонується модель оцінки організаційних структур АС УБП.

У загальній постановці завдання визначення найбільш раціональних елементів структури АС УБП полягає в знаходженні: числа вузлів системи  $M = \{M_{ij}\}$  і зв'язків між ними  $G_m$ , розміщенні центрів обробки інформації за переліком завдань  $E = \{E_{ij}\}$  і виборі інформаційних технологій і комплексу технічних засобів АСУ  $A = \{A_{ij}\}$ . Планування організаційної системи передбачає завчасне рішення задачі побудови найбільш раціональної структури, включаючи забезпечення необхідної стійкості системи. При моделюванні вхідного потоку заявок формується масив тимчасового ряду  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$  кожному значенням якого ставиться у відповідність ознака типу і категорії терміновості виконання документа. Таким чином, для обробки вхідного потоку інформації будується багатоканальна багатозадачна система обробки даних:

-  $n=1 \dots i \dots N$  - число каналів обробки інформації;

-  $m=1 \dots i \dots N$  - число фаз при обробці інформації.

-  $k_1(i, j)$  - коефіцієнт ефективності (рівень кваліфікації)  $i$ -ого працівника  $v_j$ -му підрозділі;

-  $k_2(i, j)$  - коефіцієнт фондоозброєності (рівень технічного забезпечення)  $i$ -ого працівника в  $j$  ом підрозділі;

-  $k_3(i, j)$  - коефіцієнт технологічності (розвитку програмного забезпечення інформаційно-психологічної безпеки)  $i$ -ого працівника  $v_j$ -му підрозділі;

-  $t(i, j)$  - середній час обробки інформації  $i$ -ого типу на  $j$ -ої фазі

- організація обробки інформації: 1) у міру надходження документів; 2) пріоритетне обслуговування заданих категорій складності документів;

3) пріоритетне обслуговування найбільш термінових документів

Оцінка ефективності розроблених рекомендацій проводилася за наступними критеріями:

1) результативність: кількість оброблених документів, кількість затриманих документів, кількість помилок в документах;

2) ресурсомісткість: кількість витрат на фондоозброєність, технології, навчання.

3) оперативність: час обробки документів.

Моделювання потоків документів здійснюється алгоритмом, заснованому на використанні методу Монте-Карло. Алгоритм використовується для отримання випадкових величин, розподілених по пуассонівського закону. При послідовному збільшенні потужності основного вхідного потоку виявляються структурні елементи комп'ютерної мережі, що є вразливими і слабкими елементами досліджуваної організаційної системи з точки зору забезпечення інформаційно-психологічної безпеки. Одночасно відбувається виявлення незавантажених елементів, на яких інтенсивність обробки інформації значно нижче.

У тому випадку, коли АС УБП продовжує функціонувати в встановлених рамках, що відповідають заданим властивостям її поведінки, а узагальнена структура і потік реєстрованих помилок залишається незмінною в часі і просторі можна говорити про виконання системою захисту своїх функцій.

Рішення задач забезпечення БП передбачає, що з початком експлуатації вихідні стану програмного забезпечення та бази даних система повинна бути захищена за наступними параметрами:

- по входу в процесі добування та передачі даних, від модифікації (перекручувань) і відповідати заданим рівнем її якості, тобто повинна бути забезпечена її інформаційна стійкість

- від несанкціонованого доступу в процесі введення, обробки і зберігання інформації в базі даних тобто повинна бути забезпечена конфіденційність інформації

- від "програмних закладок" і негативного впливу людського фактора, що призводять до модифікації (перекручувань) програмного забезпечення та інформації, тобто повинна бути забезпечена доступність якісної інформації.

Серед найбільш важливих факторів, що діють з початком експлуатації і визначають стан бази даних і ефективність АД в цілому, виділимо інформаційні процеси, пов'язані з оцінкою обстановки в реальному часі, коли протиборче сторона чинить деструктивний вплив на систему спостереження, зв'язку і введення даних обстановки. Результатом такого впливу на АД буде спотворення, або втрата інформації, яка призводить до підвищення невизначеності обстановки. Очевидно, що дії по модифікації інформації повинні повторюватися з тим, щоб спотворення даних залишалися актуальними до моменту прийняття УР.

Пропонований нижче метод оцінки інформаційної безпеки, як метод пізнання ситуації в цій сфері, заснований на побудові системи моделей інформаційного протиборства. Після визначення типових структур таких моделей проводиться моделювання процесу, в якому взаємодія найбільш істотних факторів оцінюється в заданому діапазоні зміни вихідних даних.

Таким чином, досягнення поставленої мети забезпечується послідовним виконанням наступних дій:

- Відбір існуючих методик, що дозволяють проводити оцінку ефективності критичної системи за цільовим показником.

- Виявлення інформаційних параметрів в розроблених методиках, а також діапазону їх зміни при деструктивних діях.

- Розробка алгоритму обчислень при зміні вихідних даних у встановленому діапазоні інформаційного впливу.

Розробка на базі існуючих методик в яких змінними параметрами є показники інформаційної безпеки критичних систем за цільовим показником, проведення зазначених досліджень з метою отримання вихідних даних для моделей комплексної оцінки інформаційної безпеки в реальному масштабі часу.

Розробка моделей оцінки ризику за цільовим показником АД, в яких змінними параметрами є весь перелік показників інформаційної безпеки (конфіденційність, доступність, цілісність, інформаційна стійкість, інформаційно-психологічна безпека).

У загальному підсумку сутність пропонованої універсальної системи оцінок захисту АД полягає в створенні широкого набору моделей різного призначення і

найбільш раціональному обліку в кожній моделі факторів, які детально наведені у наступному розділі та включає в себе наступні елементи, вибір яких визначається розвитком методів УБП:

Перший в порядку розгляду клас математичної моделі містить опис складних систем інформаційної взаємодії, в яких максимально враховується наявна інформація про об'єкти АД і об'єктах протиборчої сторони у вигляді причинно слідчого графа. Оцінка результатів здійснюється методом нечіткої логіки, що дозволяє найбільш повно врахувати вплив різномірних чинників. Другий рівень представлення моделі забезпечення БП заснований на менш детальному описі факторів, пов'язаних із застосуванням інформаційної зброї, і передбачає проведення досліджень систем з малою нелінійністю. Результат протиборства таких систем формалізується у вигляді моделі незатухаючих коливань Лоткі- Вольтерра, в якій обсяг втрат інформаційного ресурсу і зростання числа інформаційної взаємодії вважається пропорційними їх твору. Після вивчення сутності процесів на найпростіших нелінійних моделях Лотки-Вольтерра за аналогією стає зрозумілими явища, що відбуваються в більш складних системах. Третій клас моделей дозволяє враховувати динаміку процесу в реальному масштабі часу, коли інформаційні ресурси забезпечення БП піддаються сильним деструктивним інформаційним впливам, що може привести до зриву процесу управління. Опис моделі містить емпірично встановлені закономірності, що дозволяють розробляти рекомендації щодо забезпечення БП в темпі зміни обстановки. При оцінці якості інформації в процесі прийняття УР, пов'язаних з втратою ним неперервний контроль використовується потенційна функція катастрофи збірки [4,24]. Оцінка стійкості полягає у визначенні областей допустимих значень керуючого параметра системи і зіставленні його реальних значень з створеної областю.

3.3.4. Метод забезпечення інформаційної стійкості при управлінні безпекою польотів. Чутливість АД до малих відхилень призводить до того, що випадковість виступає в якості найважливішого механізму породження ситуації, коли малі "флуктуації" інформаційного забезпечення БП можуть приводити до катастрофічних рішень. Результати таких флуктуацій можуть бути аналогічні впливу сильних деструктивних впливів.

У свою чергу постановка завдання підвищення порога інформаційної стійкості вимагає розробки механізмів, забезпечують формування аттрактора, зміщеного вправо по осі, такі механізми пропонується створити у вигляді комплексу моделей, які формують систему знань для адекватного відображення інформаційної складової процесів в умовах інформаційної взаємодії.

Інформаційна стійкість (за визначенням цього поняття) забезпечується підвищенням порогу безпеки на основі формування системи знань про найбільш ймовірну зміну елементів обстановки. Варіант якісної зміни положення області стійкої рівноваги при зміні значень керуючих параметрів  $d$  і  $\eta$ ; показаний на рис.

При збільшенні інформаційного потенціалу відбувається зміщення положення аттрактора в сторону більш високих значень достовірності та повноти інформації. Система існує в упорядкованому стані і зберігає стійкість завдяки процесам обробки та накопичення інформації. Тоді в разі припинення потоку інформації в орган управління система повертається в нове вихідне стійке рівноважний стан, що відрізняється від колишнього стану якістю вихідної інформації в заданому наборі елементів обстановки. Таким чином, мова йде про формування аттрактора за межами вихідної стійкості в результаті цілеспрямованих дій з аналізу та синтезу обстановки. Створюваній системі забезпечення інформаційної стійкості  $S$  може бути поставлена у відповідність її модель

$\dot{I}_S$ . Безліч елементів моделі  $E_S$ , які формують систему знань про керований процес, описується безліччю завдань (алгоритмів розв'язання задачі)  $\{Z_m\}, m = (1 \dots M)$  і параметрів моделювання обстановки



$E_n, n = (1 \dots N)$ . Відповідно до запропонованої методологією забезпечення інформаційної стійкості обчислювальний процес організовується за трьома напрямками:

- попередня обробка вхідних повідомлень про обстановку;
- виділення невеликої кількості змінних, що визначають динаміку всієї системи, прогнозування їх параметрів на основі створеної системи знань;
- корекція системи знань за даними спостереження і виявленими тенденціями їх зміни в динаміці розвитку процесу.

Основним елементом системи моделей  $E_S$  є модель прогнозу розвитку обстановки в реальному масштабі часу. Прогнозування параметрів обстановки відбувається як шляхом створення формалізованих аксіоматичних систем, так і алгоритмізацією процесів, пов'язаних із забезпеченням інформаційної стійкості автоматизованих систем. Сукупність відомостей в імітаційній моделі в загальному випадку включає в себе:

- факти, із зазначенням часу звернення подій;
- закономірності, виявлені за результатами спостереження процесу;
- гіпотези про можливі зв'язки між спостережуваними явищами і фактами;
- процедури для вирішення приватних типових задач, що визначають поведінку об'єкта.

Використання відомостей нечислової природи з бази знань визначається бажанням обробляти більш об'єктивну, звільнену від похибок інформацію. Для досліджень застосовує спеціальні методи і засоби лінгвістичного, семантичного і статистичного аналізу. В даний час такі системи аналізу інформації, як правило, побудовані на використанні математичного апарату алгебри логіки (числення висловів), так як при конструюванні обстановки (інформаційного образу) за даними спостереження істотні не тільки кількісні співвідношення між частотою появи повідомлень про об'єкти, але і зв'язують їх логічні залежності. При перевірці справжніх і несправжніх ознак враховується, що неправдивими даними замінюється незначна, але найцінніша частина інформації, яка відноситься до захищених відомостями.

Як показано в [96] більшість процесів в природі може бути описано поліномом високого ступеня, що є окремим випадком узагальненого полінома Колмогорова - Габора.

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n a_i a_j a_k x_i x_j x_k \dots \quad (3.3.4.1)$$

Число членів повного полінома визначається нелінійною залежністю  $C_{q+m}^q$ , де  $m$ - число змінних,  $q$  - ступінь полінома.

Однією з основних завдань побудови моделі сукупної обробки вихідних даних полягає в тому, щоб виключити в даному поліномі підмножина неінформативних коефіцієнтів і зберегти необхідне і достатнє поєднання пояснюють членів. [90,95,96].

Розвиток процесів, пов'язаних із забезпеченням інформаційної стійкості АСУ КС вимагає вдосконалення контуру позитивного зворотного зв'язку, яка підсилює ступінь пристосування системи до умов, що змінюються. Накопичення і обробка статистичних даних про варіанти обстановки дозволяє створити також контур негативного зворотного зв'язку, призначений для стабілізації протікають в системі процесів. Розбіжність між виявленими закономірностями і фактами, виявлення внутрішніх протиріч призводить до необхідності уточнення ідеалізованого стану об'єкта, до перегляду, уточнення, зміни його окремих параметрів.

3.3.5. Метод обліку апріорних знань для підвищення інформаційної стійкості забезпечення безпеки польотів. Пропонується використовувати два методи обліку апріорної інформації. Перший з них спрямований на визначення ступеня важливості апріорної інформації,  $\lambda$ . Після завершення серії випробувань, які завершуються накопиченням певної системи знань, коли нові випробування не несуть ніякої додаткової інформації, підвищити оцінку достовірності реєстрованих подій може завжди апріорна інформація.

Введемо наступні позначення:  $P_{\lambda}$ , - оцінка ймовірності реєструється події з урахуванням апріорної інформації;  $P_a$  - апріорна ймовірність істинності реєструється події;  $\lambda$ , - коефіцієнт значущості апріорної інформації;  $P_{ct}$  - статистична оцінка ймовірності появи подій.

Як впливає [162] з формули

$$P_{\lambda} = \lambda P_a + (\lambda - 1) P_{ct} = P_{ct} + \lambda (P_a - P_{ct}) \quad (3.3.5.1.)$$

достовірність реєструється події підвищується з урахуванням перевищення ймовірності апріорної інформації порога статистичної ймовірності реєструється події, а також з урахуванням підвищення рівня значущості апріорної інформації. Накопичені знання, на відміну від інших видів ресурсів, не зменшуються з часом, а навпаки, їх обсяг постійно збільшується, створюючи умови для накопичення досвіду, сприяючи виробленню обґрунтованих управлінських рішень. У зв'язку з цим "Управління знаннями" стає однією з найважливіших проблем. Другий метод обліку апріорної інформації заснований на застосуванні формули Байеса. Оцінювані вихідні параметри обстановки є випадковими величинами. Використовуючи апріорну інформацію можна визначити розподіл цього параметра. апріорне розподіл ймовірностей може бути засноване як на суб'єктивній думці експертів, так і на таких об'єктивних даних, отриманих в попередньому дослідженні. В кінцевому підсумку кожне апостеріорне розподіл

є апріорним розподілом після надходження нових даних про виявленні ПС, тоді апостеріорная ймовірність того, що об'єкт знаходиться в 1-му районі після отримання інформаційного повідомлення, може бути обчислена за формулою

$$P(d_1 / k_1 k_2) = \frac{P(d_1)P(k_1 / d_1)P(k_2 d_1)}{P(d_1)P(k_1 d_1)P(k_2 d_1) + \dots + P(d_n)P(k_1 d_n)P(k_2 d_n)}$$

Де відомлення про ідентифікацію ПС в стані  $d_i$  з достовірністю  $P(k_i/d_i)$

Сформована система знань забезпечує найбільшу стійкість до інформаційного впливу протидорчої сторони. В якості одного з аргументів [70], що підтверджують це положення, наведемо рівняння відомої моделі Бартона-Кеблера, в якій частка корисної інформації в загальному потоці через час  $T$  оцінюється двома складовими:

$m(t) = 1 - ae^{-T} - be^{-2T}$ , де перше від'ємник відповідає стабільним ресурсів, друге - динамічним, постійно змінюваних в реальному масштабі часу.

Другим аргументом на користь більш стійкого стану інформаційних ресурсів у формі знань є той факт, що для зміни тезауруса протидорчої сторони необхідно знати інформаційну структуру системи знань. Підвищення інформаційної стійкості забезпечується появою нового механізму формування нових властивості у існуючих елементів, або появи нових елементів, нових взаємозв'язків між елементами.

3.3.6. Метод багатокрокової оптимізації процесу забезпечення безпеки польотів. Однією з найбільш актуальних проблем в сфері БП є пошук оптимальних рішень на використання організаційних, програмних і технічних ресурсів [21,26,48,52,73,94,96]. Це дозволяє знизити ризики виникнення ОС і одночасно

підвищити ефективність керованого процесу. Відомі підходи до оптимізації процесів забезпечення БП [47,68,94]. Однак розроблені в даний час методи оптимізації орієнтовані на однокроковий режим пошуку раціональних рішень використання організаційних, програмних і технічних заходів. У той же час життєвий цикл АД в загальному випадку визначається як сукупність взаємопов'язаних процесів (етапів), що включають послідовна зміна її станів: від формування вимог технічного завдання до закінчення експлуатації та утилізації комплексу засобів автоматизації. Витік, втрата або модифікація інформації може відбуватися в будь-якому з можливих станів АД, причому з кожним етапом перелік інформації, що захищається і об'єктів її зберігання послідовно розширюється, змінюється модель загрози, змінюється перелік завдань забезпечення інформаційної безпеки. Важливою складовою інформаційної безпеки, яка визначає істотні, але не в повному обсязі враховуються умови функціонування, є наявність передісторії, що містить перелік ФР і порушень вимог обслуговуючим персоналом протягом всього періоду здійснення АД. В кінцевому підсумку факт зниження рівня інформаційної безпеки може явно не проявлятися протягом тривалого часу і тільки в критичний момент з'ясується, що показники ефективності АД не відповідають вимогам, закладеним в технічному завданні [42,43,44,50].

Нижче розглядається метод багатокрокового управління системою інформаційної безпеки, що дозволяє найбільш раціонально розподіляти кошти захисту АД по різних тимчасовим етапах життєвого циклу з урахуванням змін, що відбуваються.

1) Завдання формулюється в наступній постановці: на всьому інтервалі життєвого циклу  $T$  задані  $L$  часових відрізків  $t^1, t^2, \dots, t^k, \dots, t^l$ . Передбачається, що існує кінцеве безліч допустимих рішень  $x \in \Omega_f$ , на якому задана цільова функція  $f(x)$ . Кожному часовим відрізком на  $k$ -му кроці управління, як показано в таблиці, відповідає певний план призначення  $i$ -х ресурсів захисту на  $j$ -і засоби інформаційного впливу  $x_{ij}^k$ .

Поточної оцінкою стану системи інформаційної безпеки будемо вважати ймовірність  $P(t \langle T)$  того, що АС УБП відповідає висунутим вимогам до інформаційного і програмного забезпечення протягом часу  $T$  від моменту початку життєвого циклу. Результат інформаційного протиборства на кожному етапі проявляється в витоку, втрати або модифікації інформаційного і програмного забезпечення, що призводить до послідовного зниження  $P(t \langle T)$ . При зниженні до певного порогового значення  $P(t \langle T) \langle P_0$  вважається, що АС УБП не відповідає вимогам.

2) Сутність формульованій завдання управління полягає в розробці такої сукупності планів  $\|x_{ij}^1\|_{opt}, \dots, \|x_{ij}^k\|_{opt}, \dots, \|x_{ij}^l\|_{opt}$  реалізація яких забезпечує максимальний рівень інформаційної безпеки протягом всього життєвого циклу АС УБП. Завдання вимагає пошуку цілочисельних рішень  $x_{ij} = 0 \vee 1$ , тому розглядається задача дискретної оптимізації в такій формі: знайти  $\max f(x) = (c, x)$  при обмеженнях

$$Ax = b, \alpha \leq x \leq \beta, c, x, a, \beta \in R^n, b \in R^m \text{ для } x \in \Omega_f.$$

3) Розглянемо більш докладно дворівневу модель багатокрокового управління системою інформаційної безпеки.

Нехай задана модель забезпечення БП при здійсненні АД на основі використання математичного апарату знакових графів. В рамках створюваної моделі забезпечення БП формується оргграф  $G=(V,E)$ , в якому виділяються:

Подграф життєвого циклу АС КПП  $G=(V,E)$ , де  $A = \{a\}$ ,  $i = 1 \div n$  - безліч вершин, що визначають стан БП на кожному етапі;  $E_1 = \{e_1 = (a_i; a_{i+1})\}$  - безліч ребер, за якими поширюються базисні процеси. Виділяються стану БП на наступних етапах:  $a_1$  розробки вимог технічного завдання,  $a_2$  проектування,  $a_3$  створення системи і проведення випробувань,  $a_4$  дослідна експлуатація,  $a_5$ - промислова експлуатація,  $a_6$ - модернізація технічних засобів і програмного забезпечення,  $a_7$ - утилізація .

Подграф  $G_2=(C,E_2)$  де  $\tilde{N} = \{\tilde{n}_i\}$   $i = 1 \div n$  - безліч вершин, що визначають зовнішній інформаційну взаємодію через безліч ребер  $E_2 = \{e_2 = (a_i; a_{i+2})\}$ . Інтенсивність зовнішнього впливу  $\lambda_{\tilde{n}}$  визначається умовами та переліком завдань, що вирішуються в АС КПП на 1-му етапі, а також результатами інформаційного протистояння на попередньому  $i$ -му етапі.

Подграф нижнього рівня управління інформаційною безпекою  $G_3=(C,E_3)$ , де  $\{b_i\}$  -  $i = 1 \div n$  безліч вершин, відповідних внутрішньому протидії з боку системи інформаційної безпеки через безліч ребер  $E_3 = \{e_3 = (a_i; a_{i+3})\}$ . Інтенсивність використання ресурсів інформаційної безпеки ць визначається прогнозованим рівнем зовнішнього впливу  $\lambda_c$ .

Подграф верхнього рівня УБП  $G_4=(k_{opt}, E_4)$ , де  $k_{opt}$  - вершина прийому інформації стану та розробки управляючих впливів, що надходять по ребрах  $E_4 = \{k_{opt} = (a_i; a_{i+3})\}$ .

При дворівневої структурі на верхньому рівні управління вирішується найбільш складне завдання прогнозування і розподілу ресурсів між етапами, а на нижньому рівні - певна кількість приватних завдань, пов'язаних з найбільш раціональним розподілом виділених ресурсів. Для отримання оптимального рішення в багаторівневій ієрархічній системі необхідно, щоб рішення вищого рівня управління деталізувалися в подальших рішеннях нижчестоящих рівнів і були оптимальними щодо цих рішень.

Для реалізації цього принципу оптимальності пропонується використовувати один з найбільш ефективних способів координації, прийнятих на окремих рівнях ієрархії, - побудова безлічі ефективних рішень. Поділ рішення загальної оптимізаційної задачі між двома взаємопов'язаними рівнями будемо виробляти на основі наступної системи гіпотез[53,54.56].

1) На верхньому рівні ієрархії завдання найбільш раціонального розподілу ресурсів між етапами життєвого циклу ставиться як статична оптимізаційна задача, в рамках якої динамікою протікання процесів можна знехтувати, так як кожен з етапів представляє досить великі інтервали часу (місяці і роки).

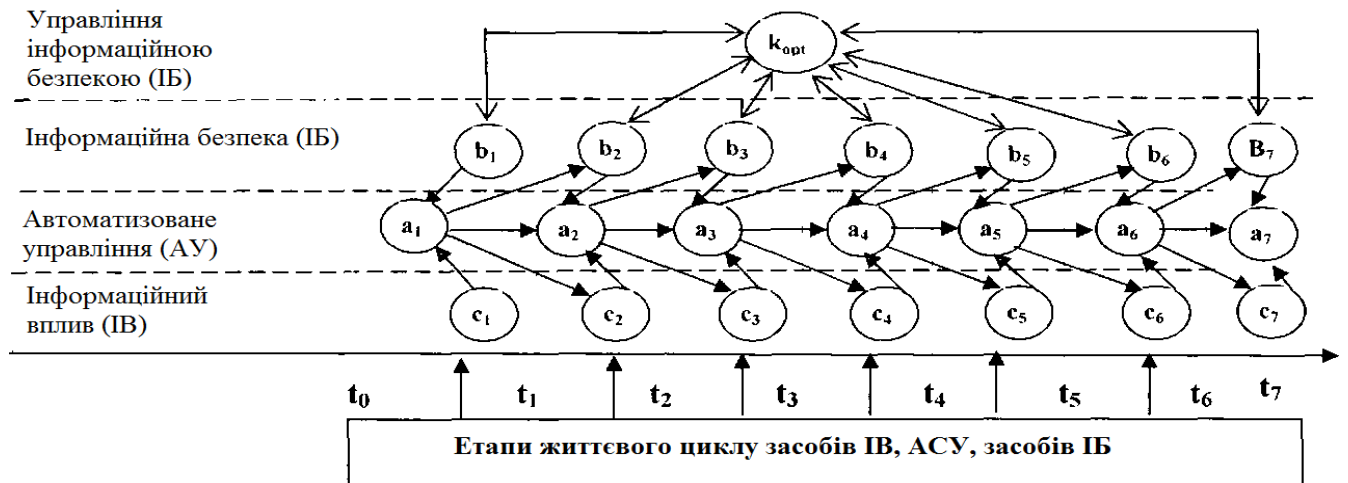


Рис. 3.3.6.1. Граф стану життєвого циклу АС УБП, як система математичних преобразовань в моделі управління інформаційною безпекою.

2) Рішення оперативних завдань динамічного управління системою інформаційної безпеки на другому рівні ієрархії здійснюється з урахуванням найбільш істотних специфічних умов забезпечення конфіденційності, цілісності та інформаційної стійкості даних, які виникають на кожному етапі життєвого циклу АД.

Розглянемо в зв'язку з цим найбільш істотні фактори і що впливають з них правила, які безпосередньо впливають на рішення задачі верхнього рівня.

1) На кожному етапі життєвого циклу існує свій перелік механізмів БП, цей перелік розширюється в міру зміни етапів життєвого циклу, а зміст заходів уточнюється в залежності від передісторії інформаційного протистояння.

2) Мінімальний обсяг виділених коштів повинен бути достатнім для виконання вимог інформаційної безпеки на поточному етапі життєвого циклу відповідно до правила: будь-який витік або модифікація інформації вимагає виділення додаткових витрат на ліквідацію наслідків атаки.

3) Вдосконалення системи інформаційного протистояння на тому чи іншому часовому відрізку життєвого циклу АД вимагають реакції на нижньому рівні управління (перерозподілу ресурсів), а також виділення додаткових ресурсів системою більш високого рівня.

4) Розвиток перспективних систем, засобів і способів забезпечення БП вимагають своєчасної розробки нових технологій з передбаченням розвитку технологій деструктивних впливів. До них відносяться технології забезпечення інформаційної безпеки, побудовані на аналізі смислової складової вступників повідомлень. Такі технології дозволяють підвищити інформаційну стійкість БП при впливі на синтаксичну складову повідомлень.

5) Удосконалення нормативно-правової бази забезпечення БП вимагає розробки і обліку в моделі формалізованих правил виконання завдання. Загальним її підсумком є створення електронної моделі, в якій фіксуються весь послужний список інформаційних атак протягом життєвого циклу АД.

У загальному випадку тривалість життєвого циклу АД визначається часом його ефективного застосування, яке безпосередньо пов'язане з часом настання кардинальних, яких істотних технологічних змін. Впровадження нових технічних засобів і технологічних прийомів відбувається за 7-15 років і визначається: 1) тривалістю великих циклів винаходів; 2) тривалістю середніх циклів технологій. Зниження цього проміжку часу до його мінімального значення стимулюється витоком і втратою інформації [68,69,70,72].

З урахуванням дії всього переліку критеріїв математично задача синтезу системи забезпечення інформаційної безпеки може бути сформульована таким чином: на безлічі

можливих варіантів знайти таку альтернативу  $x_i$  - для якої при виборі адитивного глобального критерію якості  $Px_i$ , вимірюваного в частках предотвращенного збитку, відповідає максимальному значенню.

$$P(x_i) = \sum_{i=1}^L K_i C_i^1 \rightarrow \max_{x_i \in P \subset D} \text{при } C_{i \min}^1 \leq C_i^1 \leq C_{i \max}^1$$

де  $C_i^1$  - витрати на першому етапі оптимізації, виділені на верхньому рівні управління на створення і функціонування системи УБП на  $i$ -му етапі АД,  $K_i$  - коефіцієнти важливості локальних критеріїв оцінки етапів життєвого циклу АСУ;  $P$  - безліч Парето - оптимальних рішень;  $D$  - безліч допустимих рішень, в межах якого виконуються задані обмеження.

Розглянемо більш докладно рішення задачі оптимізації для кожного етапу життєвого циклу АД після отримання плану розподілу ресурсів на верхньому рівні управління. Як уже зазначалося, загальною мірою виконання плану забезпечення інформаційної безпеки є критерій верхнього рівня - критерій оцінки ефективності керованої системи, який є інваріантним по відношенню до етапів життєвого циклу АД. Таким критерієм будемо вважати міру виміру "ефективність - вартість", безпосередньо пов'язану з оцінкою рівня вкладення коштів на забезпечення БП.

При цьому витрати на БП на кожному етапі життєвого циклу будемо вимірювати в умовних відносних одиницях  $\delta \tilde{N}_i$ . При конструюванні узагальненого критерію "ефективність - вартість" по осі ординат будемо вимірювати ефективність системи в частках запобігання шкоди, а по осі абсцисс - вартість в частках витрат на виконання всього обсягу робіт зі створення системи забезпечення БП. Будемо виходити також з припущення, що характер зміни інтегрованого показника ефективності забезпечення БП визначається логістичної формою залежності від витрат на її створення.

При проведенні розрахунків використовується формула [166]  $\Delta w = 1 / (1 + e^{-2\pi(C-C_0)/S})$ , де  $C_0$ ,  $S$  - середина і ширина інтервалу, в межах якого функція апроксимується лінійною залежністю. Вважається, що точки переходів з лінійного на нелінійний ділянку кривої при використанні систем технічного зору рівні відповідно  $\delta \tilde{N}_{\min} = 0,041$  і  $\delta \tilde{N}_{\max} = 0,959$ .

Рішення завдання зниження величини збитку від інформаційного впливу може бути досягнуто здійсненням різних заходів. Будемо вважати, що витрати на інформаційну безпеку поділяються на такі категорії:

$S_1$  апаратно-програмні витрати;  
 $S_2$  організаційні витрати оцінка досягнутогРБП;  
 $S_3$ , витрати на коректуру політики БП через те, що необхідний її рівень не був досягнутий;

$S_4$  витрати на ліквідацію наслідків виникнення ОС;

$S_5$ , витрати на попереджувальні заходи щодо забезпечення БП.

Для зазначених основних напрямків  $S_1 - S_5$  з урахуванням заданої системи обмежень може бути сформульована задача лінійного програмування, що забезпечує пошук найбільш раціонального розподілу ресурсів при досягненні максимуму цільової функції. Узагальнена модель завдання може бути записана в наступному вигляді:

$$P = \sum_{i=1}^n c_i x_i \rightarrow \max$$

$$P = \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq b_i$$

$$d_i \leq x_i \leq D_i x_i > 0$$

де набір чисел  $x_i$  ( $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ ) відповідає напрямкам розвитку систем захисту  $i$ -го типу,  $n$  - загальна кількість систем захисту;  $m$  - кількість типів систем захисту;  $D_i, d_i$  - обмеження за кількістю засобів захисту  $i$ -го типу;  $c_i$  - вартість витрат на засоби захисту  $i$ -го типу;  $Z_i$  - обмеження витрат на розвиток  $i$ -го типу систем захисту;  $a_{ij}$  - незалежні лінійні обмеження виділених ресурсів  $i$ -го типу на  $j$ -му етапі [63, 67, 71].

Вибір коефіцієнтів цільової функції визначається різницею між досягнутим і запланованим рівнем інформаційної безпеки по кожному напрямку. У наочному вигляді такий приріст ефективності показаний в таблиці 5.3 в термінах задачі лінійного програмування (в нормованих умовних одиницях). При проведенні практичних розрахунків було задано, що по кожному напрямку автоматизації створюється не більше 5 програм.

Як вже зазначалося, після розробки сукупності оптимальних планів  $\|x_{ij}^1\|, \dots, \|x_{ij}^k\|, \dots, \|x_{ij}^l\|$  і початку реалізації плану першого етапу  $\|x_{ij}^1\|$  якщо відбулися зміни в умовах функціонування системи УБП, включається алгоритм багатокрокового управління, що забезпечує пошук оптимального рішення при АД. Нові плани розробляються для моментів часу  $t^1, t^2, \dots, t^k, \dots, t^l$ . У загальному випадку сформульоване завдання багатокрокового управління відноситься до класу задач цілочисельного нелінійного програмування. Допустиме безліч рішень

$x \in \Omega_f$  володіє тим властивістю, що всі належні йому рішення не можуть бути поліпшені одночасно по всіх локальних критеріям.

У загальному випадку в інтересах пошуку рішень, в тому числі і при однорівневій управлінні системою інформаційної безпеки, пропонується використовувати наступний узагальнений алгоритм:

1. Планується управління інформаційною безпекою на  $L$  кроків вперед, які накривають всю ділянку АД,  $s = 0$ .

2. Обґрунтовується оптимальний розклад  $\| \| \| \|x_{ij}^1\|, \dots, \|x_{ij}^k\|, \dots, \|x_{ij}^l\| \| \| \|$ , заходів БП, що складається з  $L = L - s$  планів.

1, якщо цей комплекс заходів інформаційної безпеки призначається на усунення  $i$ -ої загрози на  $k$ -му кроці оптимізаційного процесу 0, в іншому випадку

3.  $S = S + 1$

4. Якщо  $S > L$ , то процес  $E > G$  завершується.

5. Реалізується  $S$ -й план з отриманого розкладу.

6. Оцінюється ситуація щодо загроз і стану захищається системи.

7. Якщо ситуація не змінилася, то здійснюється перехід до пункту 3 алгоритму.

В іншому випадку - перехід до пункту 2.

Ядром такого алгоритму управління виступає процедура пошуку доцільного розкладу заходів інформаційної безпеки на всіх залишився ділянці життєвого циклу системи.

Оцінка витрат на реалізацію всіх запланованих заходів з БП здійснюється шляхом їх підсумовування по всіх кроків управління.

#### 4. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЙНИМИ РИЗИКАМИ

У процесі введення інформації в бази даних надходить значна кількість помилкової інформації, викликане дією різних випадкових факторів, а також певна частина введеної неправдивої інформації. Випадково введена помилкова інформація, також, як і навмисна помилкова інформація призводить до помилкових управлінських рішень та її зростання відбувається досить швидкими темпами. Суть пропонованого наукового вирішення завдання полягає у виявленні і нейтралізації всіх можливих навмисних деструктивних або помилкових дій авіаційних операторів, які призводять до втрати, витоку і неліквідної модифікації інформації. Забезпечення БП при виконанні АД слід здійснювати за напрямками, які повністю закривають канали негативного прояву "ЛЧ".

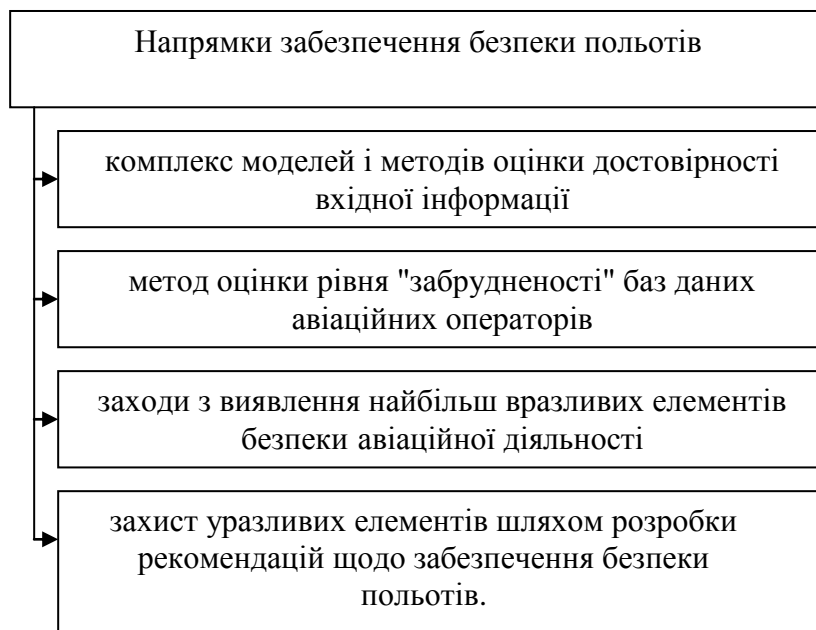


Рис 4.1.1.1. Напрямки забезпечення безпеки польотів

Навмисно чи ненавмисно спотворюючи передану інформацію, можна свідомо знизити не тільки її достовірність, а й навмисно дезінформувати споживачів інформації. Проникнення в мотивацію дій авіаційних операторів є першим етапом інформаційної протидії. Однак більш важливим є впровадження такої інформації, на підставі якої хід «думок» об'єкта впливу призводить його до катастрофи. При розгляді процесу взаємодії систем, «наділених інтелектом», будемо виходити з таких основних положень [74-78] наведених на рис.4.1.1.2.

Будемо вважати, що в рамках інформаційної взаємодії виникає боротьба за інформаційне управління процесом в тій чи іншій предметній області. У зв'язку з тим, що інформаційна взаємодія у авіаційній сфері відрізняється рішучістю в досягненні цілей, сформулюємо завдання нанесення максимального збитку. Будемо вважати, що стан об'єкта сторони А є відомою функцією від управління:  $y = O_i$  і його планованим результатом є заподіяння максимального збитку стороні В  $F(u) = K(u, G(u)) \max$  при умови  $U$  мінімуму своїх втрат. У свою чергу, метою інформаційного впливу сторін є така дезорганізація процесу управління боку А, яка призводить до різкого зниження ефективності управління та нанесення стороні А максимального збитку. В обох випадках це може досягатися шляхом такого спотворення параметрів обстановки, які вимагатимуть внесення небезпечних коректив в управління процесом. При певному значенні параметра спотворення А, виробляється найменш раціональний керуючий вплив, яке призводить до результату, що є прямо протилежного очікуваному результату[80-83].



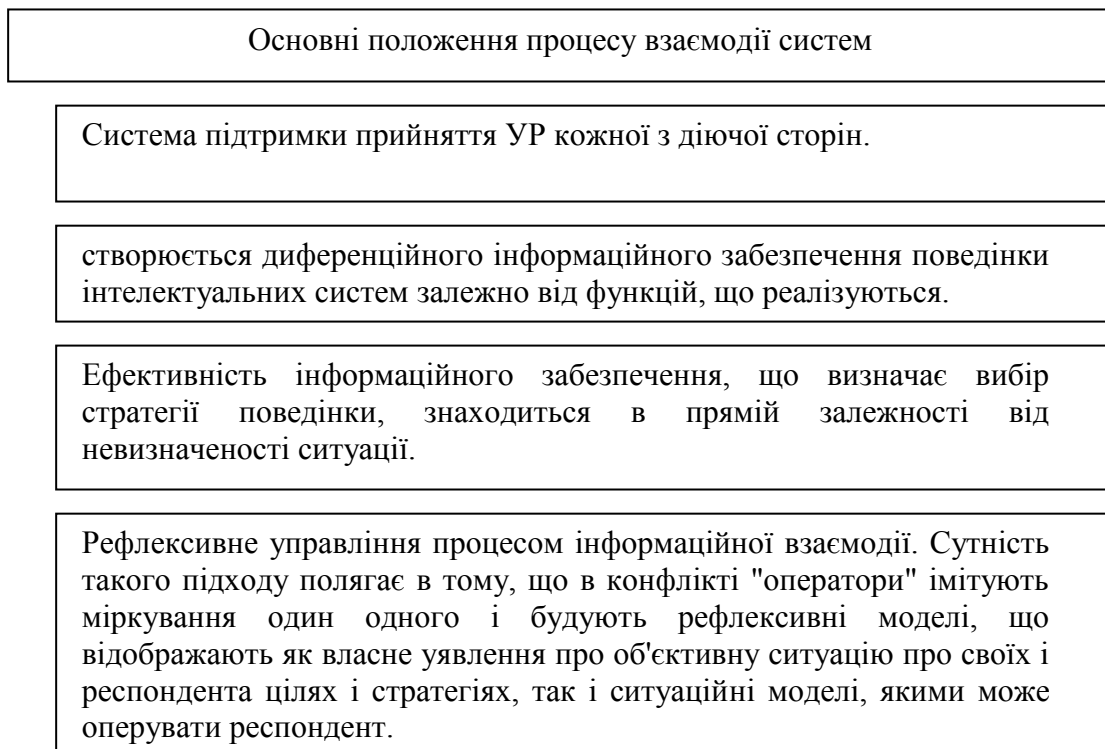


Рис 4.1.1.2. Основні положення процесу взаємодії систем

Одночасно протидіючи сторона може імітувати різке ускладнення ситуації, що характеризує виникнення кризи, коли часу на аналіз ситуації і прийняття рішень недостатньо. В результаті вжитих в таких умовах, що управляють, ефективність управління боку А стає мінімальною, а завдані збитки може бути найбільшій  $F(u) = K(i + A, G(u + A)) \min U$ . На рис. 4.1.1.1. показаний варіант формування такої ситуації при математичному описі процесу унімодальної функцією.

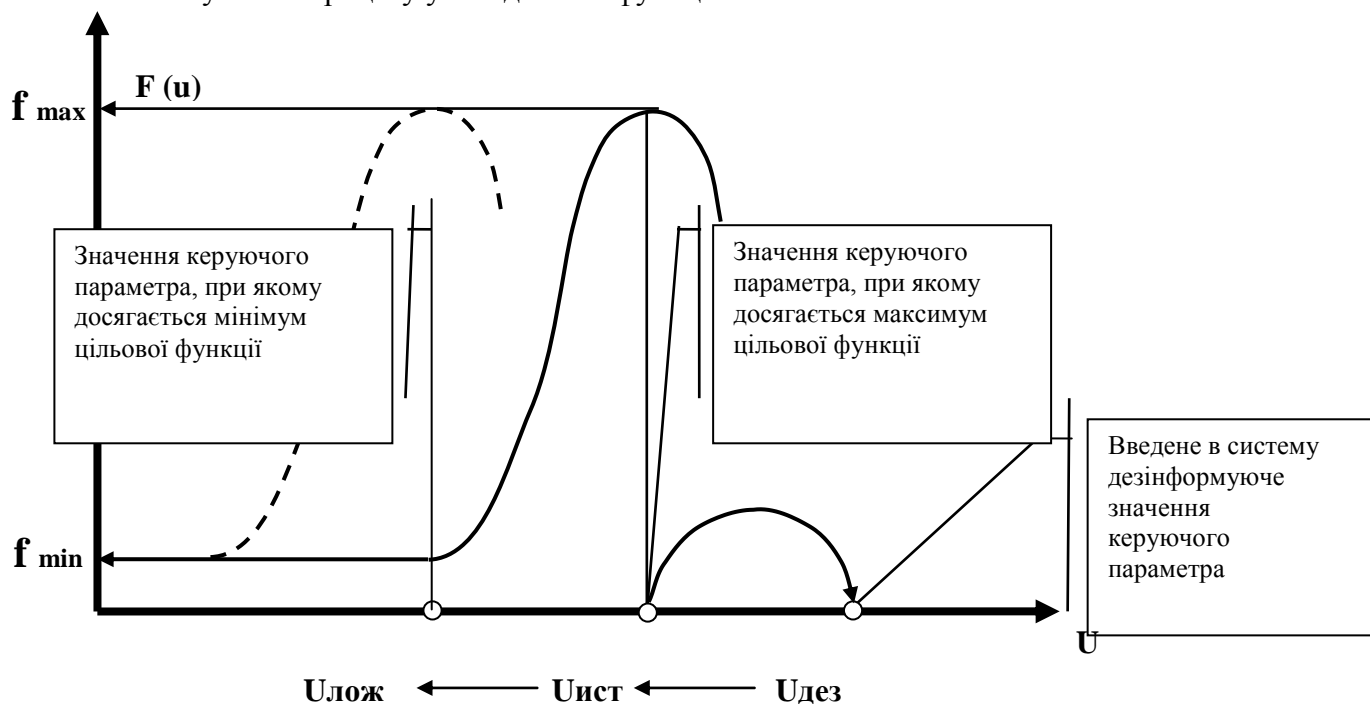


Рис 4.1.1.3. Варіант найбільш раціональних дій сторони А з метою створення умов, які забезпечують де оптимізацію УР сторони В.

У зазначеному прикладі вихідним є найбільш раціональний режим протікання процесу, якому відповідав би значення керуючого параметра  $i$  і сх. З початком інформаційної взаємодії послідовно здійснюються наступні операції:

1. оперує сторона на величину  $D$  спотворюються дані про обстановку
2. дезінформація по одному з параметрів порядку системи передається разом з істинними значеннями і при перевірці не виявляється,
3. особами, відповідальними за управління технологічними операціями, приймається рішення про відновлення такого його значення, при якому забезпечується оптимальний режим його функціонування
4. здійснюється усунення псевдо помилки у виді переведення об'єкта в режим псевдо оптимального управління.

В якості ілюстрації можна розглянути одну з імовірних операцій, спрямовану на організацію зіткнень літаків в повітрі (аналогічного зіткнення літаків Ту-154 і Боїнг-757 над Болденським озером). Сутність інформаційного впливу може полягати в умисному завищенні даних про висоту польоту літака для того, щоб авіадиспетчер дав команду на таке його зниження, при якій неминучим є зіткнення літаків.

Крім спотворення основної інформації, яка визначає процес ПР, що оперує сторона впроваджує додаткову інформацію, основним призначенням якої є збільшення невизначеності обстановки. Звідси випливає необхідність розробки «індикаторів» розвитку ситуації, що передує інформаційній атаці, або характеризує її проведення протиборчої стороною. У загальному випадку передбачається, що перед виконанням дезінформує дій протистоїть стороні В повинні бути відомі такі дані про структуру рішень, прийнятих стороною А при управлінні критичними системами:

1. Відома реакція суб'єкта на ту чи іншу значення інформації про стан об'єкта, як функція управління:  $y = G(u)$ , де  $G()$  - модель керованого суб'єкта, яка описує його реакцію на інформацію, що надійшла.

2. Відомий алгоритм ПР органом управління, як вибір із заданої множини, якому відповідав би безліч значень його цільової функції:  $P(f(\cdot), A) = \text{Arg max } f(y)$ .

3. Відомий тип невизначеності даних про обстановку (імовірнісний, інтервальний, нечіткий), а також критерії вибору керуючих впливів (мінімакний, Парето - оптимальний і т.д.).

При проведенні досліджень будемо припускати, що будь-яка інформаційна система має базовим набором знань і зв'язків між елементами, які багато в чому визначають поведінку системи. Чим більше потужність безлічі базових елементів і їх зв'язків, тим стійкіше система до цілеспрямованого інформаційного впливу.

У тому випадку, коли основний зміст досліджуваного процесу визначає поведінку людини, будемо вважати, що на поведінку реальної системи впливають нелінійні ефекти[84-86,89].

Для успішного здійснення такої атаки оперує стороні необхідно виконати дві умови: По-перше підготувати всі ресурси, які потрібні для подолання рубежів захисту на встановленому рівні, і Подруге здійснити їх цільове використання в можливо короткий період часу. Виконання першої умови відповідає ситуації, коли оперує сторона послідовними разовими діями вивчає систему захисту інформації. При цьому слабкі одиничні зовнішні впливи блокуються, але або не запам'ятовуються, або не аналізуються захисними механізмами системи в силу того, що атака була успішно відбита. Проблема блокування і виявлення атаки значно ускладнюється, коли вона відбувається в умовах періодичного спрацьовування системи захисту в результаті таких ненавмисних дій зареєстрованих користувачів, які при цьому класифікуються як несанкціоновані дії. Таким чином, послідовне здійснення "слабких" несанкціонованих дій на етапі підготовки атаки ускладнює системам захисту розпізнавати результуюче зовнішній вплив. Ситуація наполегливого послідовного зовнішнього впливу докорінно відрізняється від ситуації "сильної" атаки. По суті позитивний ефект подолання системи захисту досягається внаслідок протікання добре відомих і очікуваних процесів, яким не надають належного значення, вважаючи їх вплив слабким і нешкідливим.

Якісні, стрибкоподібні зміни в базі даних виникають на заключному етапі дій при плавній зміні зовнішніх умов в результаті використання всієї накопиченої інформації тими користувачами, які навмисно або навмисно діють в інтересах протидіючої сторони.

В результаті проведеного дослідження на відміну від відомих [9,13,31,101] методів забезпечення безпеки АД пропонується створити комплекс моделей забезпечення безпеки. Це дозволяє в динаміці протікання процесу управління послідовно вирішувати наступний комплекс завдань:

1. Контроль показників достовірності даних, що надходять від різних джерел інформації (незмінюваність користувачів, виконання ними встановлених вимог режимів роботи з інформацією, відповідність відомостей реального процесу, правдоподібність відомостей заданій системі обмежень і т.д.).

2. Виявлення в базі даних помилково і навмисно спотвореної інформації (визначення рівня "забрудненості", виявлення випадкових і навмисних помилок користувачів, виправлення помилок в інформації, що надійшла і т.д.).

3. Дослідження впливу внутрішніх та зовнішніх чинників на процес формування помилок в базі даних і розробка рекомендацій по їх локалізації (вивчення структури помилок і формування переліку найбільш часто зустрічаються помилок, дослідження впливу деструктивного впливу на інтенсивність появи помилок і т.д.)

4.1.1. Модель оцінки достовірності вхідної інформації. Узагальнена структура комплексу моделей і супроводжуваних їх методів оцінки і забезпечення достовірності, коректності та правдоподібності вводяться формується шляхом їх формалізованого опису, а також алгоритмізацією процесів, пов'язаних із забезпеченням інформаційної безпеки. Сукупність формалізованих відомостей в загальному випадку включає в себе:

- спостерігаються факти, із зазначенням часу звернення подій;
- закономірності, виявлені за результатами спостереження процесу;
- гіпотези про можливі зв'язки між спостережуваними явищами і фактами;
- процедури для вирішення приватних типових задач, що визначають поведінку користувачів або об'єкта, що спостерігається.

При використанні статистичного матеріалу для кожного інформативного параметра може бути отримано освіту груп одиниць, однорідних в істотному відношенні, що володіють однаковими або близькими значеннями групувального ознаки і розрахована загальна гістограма  $\Gamma_0 = \{r_1, r_2, \dots, r_s\}$  де  $s$  - число різних

значень параметрів,  $r_j$  - відносна частота  $i$ -ого значення,  $\sum_{j=1}^s r_j = 1$ . В процесі

обробки інформації безліч векторів статистичного матеріалу ділиться на безліч «нормальних» і «аномальних» векторів. Вектор вважається «аномальним», якщо хоча б одна з його координат приймає малоімовірне значення в своїй загальній гістограмі. У таблиці 4.1 представлено засноване на використанні систем знання формалізоване опис комплексу завдань оцінки і забезпечення коректності та правдоподібності вводимих даних.

4.1.2. Модель оцінки незмінності операторів. Сформулюємо задачу в такій постановці.

Нехай на етапі підготовки (тестування) сформовано вибірку різних операцій авіаційним оператором  $X_1, X_2, \dots, X_m$

У процесі повсякденної роботи для проведення контрольної перевірки створюється вибірка з  $m-n$  значень  $X_{m+1}, X_{m+2}, \dots, X_n$  цього показника, який будемо називати відгуком. Кожному новому значенням відгуку поставлений у відповідність деякий якісної ознаки (фактор), на підставі якого загальну вибірку  $X_1, X_2, \dots, X_m$  можна угрупувати в приватні незалежні випадкові вибірки: якщо

фактор  $k$  має до рівнів  $A_1, A_2, \dots, A_k$ , то при кожному рівні  $A_j$  фактора,  $j = 1, \dots, k$ , є  $n_j$  вимірювань.

Як відомо, основна гіпотеза дисперсійного аналізу полягає в твердженні, що рівні чинника  $A$  не впливають на зміну результативної ознаки. Тому будемо перевіряти нульову гіпотезу про приналежність всіх вибірок однієї генеральної сукупності, коли розбіжність спостережуваних значень для різних значень фактора пояснюється випадковими обставинами. При відхиленні нульової гіпотези вважається, що розбіжність спостережуваних значень пояснюється впливом неврахованих факторів [89,91,94].

Нехай яка вимірюється величина  $x$  є результат дії фактора  $A$  і деякою випадковою складовою  $\varepsilon$ , від фактора не залежить і відбиває внутрішню мінливість спостережень:

$$x = f(A) + \varepsilon$$

Прийmemo наступні припущення:

1) значення от кліку  $x_{ij}$  можна представити у вигляді суми вкладів впливу рівнів фактора, тобто прийнятна адитивна модель:

$$x_{ij} = a_j + \varepsilon_{ij}, i = 1, \dots, n$$

де  $a_j = f(A_j)$  не випадкові невідомі величини, що визначають вплив кожної категорії фактора  $j, j = 1, 2, \dots, k$ . Якщо вплив фактора відсутній, то все  $a_j$  рівні між собою;

2) випадкова складова  $\varepsilon$  розподілена нормально  $N(0, \sigma^2)$  с дисперсією  $\sigma^2$ .

За результатами проведених спостережень проведемо перевірку нульової гіпотези, що полягає в тому, що рівні чинника  $A$  не впливають на зміну результативної ознаки в наступних двох групах спостережуваних значень ознаки, що визначає роботу на АРМ інформаційної системи (перша вибірка - тестова, друга - перевірна).

Основне співвідношення дисперсійного аналізу можна записати як розкладання загальної або "повної" суми квадратів відхилень  $Q$  окремих спостережень від загальної середньої на дві складові:

$$Q = Q_A + Q_e$$

де  $Q_A$  - варіабельність за рахунок впливу досліджуваного фактора або сума квадратів відхилень "між групами";  $Q_e$  - залишкове розсіювання, обумовлене випадковими чинниками (або сума квадратів відхилень "всередині груп"). Проведемо перевірку нульової гіпотези.

Будемо вважати, що є  $k$  до вибірок обсягами  $n_1, \dots, n_k$ ,  $\sum_{j=1}^k n_j = N$

В окремому випадку при проведенні перевірки ми будемо мати дві вибірки (тестову і фактичну)  $k = 2$ .

По кожній з вибірок методом найбільшої правдоподібності оцінимо групові середні  $a_j$  і групові дисперсії  $\sigma_j^2$ .

$$a_j = \bar{x}_j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}, \quad \sigma_j^2 = \frac{1}{n_j} \sum (x_{ij} - \bar{x})^2$$

а потім оцінимо  $\sigma^2$  за всіма вибірками:

до

$$\sigma^{2*} = \frac{Q_1}{N - k} = \frac{1}{N - k} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x})^2$$

Гіпотеза  $H$  про відсутність впливу фактора  $A$  справедлива, якщо групові середні рівні між собою:  $a_1 = a_2 = \dots = a_k$ .

Сума квадратів відхилень результативної ознаки, пов'язана з зміною фактора  $A$ , (міжгрупова варіація) оцінюється за формулою

$$Q_A = \sum_{i=1}^m (\bar{x}_j - \bar{x})^2 n_j$$

Відповідно сума квадратів відхилень результативної ознаки, що визначається дією всіх інших факторів, (внутригруповая варіація) оцінюється за такою формулою

$$Q_A = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_j} (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_j)^2$$

Статистика, розрахована за формулою (2.13) незміщеної оцінює загальну дисперсію  $\delta^2$ , незалежно від того, чи вірна чи ні гіпотеза  $H$ . Іншу оцінку для  $\delta^2$  побудуємо, використовуючи тільки значення групових середніх  $a_1 = a_2 = \dots = a_k$

$$\delta^{2**} = \frac{1}{k-1} = \sum_{j=1}^k n_j (\bar{a}_j - \bar{a})^2$$

Якщо нульова гіпотеза  $H$  верна, то  $M \bar{a}_j = a, D a_j \delta^2 / n$ , для всіх  $j = 1 \dots k$ .

Статистики  $(N-k)\delta^{2**}$  та  $(k-1)\delta^{2**}$  незалежні і розподілені як  $\delta^2 \chi_{N-k}^2$  та  $\delta^2 \chi_{k-1}^2$

Ставлення статистик 
$$F_H = \frac{\delta^2 \chi_{k-1}^2 / (k-1)}{\delta^2 \chi_{N-k}^2 / (N-k)}$$

має  $F$ -розподіл Фішера, залежне тільки від двох ступенів свободи  $(k-1)$  та  $(N-k)$ .

Нехай  $F_{крит} = F(1 - \alpha, k - 1, N - k)$  - квантиль рівня  $(1 - \alpha) F$  - розподілу з  $k-1, N-k$  ступенями свободи, де  $\alpha$  - обраний рівень значимості. Якщо гіпотеза  $H$  неправильна (передбачається робота порушника), то  $\delta^{2**}$  має тенденцію до збільшення за рахунок розкиду середніх  $a_j$  що приводить до того, що  $F_H$  приймає занадто велике значення, що перевищує критичне  $F_H < F_{крит}$ . В цьому випадку слід вважати, що серед підмножини внутрішньо групових середніх  $a_1 = a_2 = \dots = a_k \in$  хоча б зо два не рівних між собою. Даний результат свідчить про те, що вплив фактора  $A$  вважається можливим і необхідно провести додаткові перевірки.

Якщо ж (2.16) не виконується, то це означає, що спостереження не суперечать гіпотезі про відсутність впливу фактора і ця умова може бути записано інакше:  $P\{F \leq F_H < \alpha\}$ , де  $F$  - випадкова величина, розподілена за законом Фішера.

Таким чином, вплив фактора (наявність порушника) визнається достовірним якщо середня сума квадратів відхилень між групами  $S_A^2 = Q_A / (k-1)$  значимо перевищує середні квадрати всередині груп  $S_E^2 = Q_E / (N-k)$ . Якщо гіпотеза  $H$  про рівність середніх значень відхиляється, то може бути вирішена задача, що дозволяє визначити, за якими саме рівнями фактора групові середні значимо різняться. У найпростішому варіанті завдання зводиться до парному порівнянню середніх значень двох вибірок.

4.1.3. Модель оцінки виконання операторами встановлених норм та правил із забезпечення безпеки польотів. Для пояснення і прогнозування поведінки людини, як правило, використовуються причинно-наслідкові моделі, які орієнтовані на опис динаміки досліджуваних процесів. При створенні моделі формується система гіпотез,

під якими будемо розуміти [2] переконання про існування таких тенденцій, які діють протягом прогнозованого періоду з встановленою ефективністю. В кінцевому підсумку на підставі створеної системи понять гіпотези формують прогноз стану системи - безліч істотних рис, якими ця система має в певний момент часу.

Згідно І. Бентама [141,154], будемо вважати, що максимізація корисності є керівним психологічним принципом поведінки людей. В цьому випадку імітація правил поведінки користувачів може базуватися на математично певному понятті переваги і функції корисності. Формалізоване опис поведінки людини в процесі професійної діяльності може бути представлено у вигляді системи цілеспрямованих (телеологічного) дій [2]. Будемо вважати, що дії користувача при виконанні виробничих завдань включають в себе наступний набір елементарних дій [208-211].

1. Робота з програмами та опціями різного призначення.

2. Робота з файлами. Обсяг інформації визначається завданням користувачеві на виконання роботи.

3. Робота операторів з інформаційними ресурсами, які створюються для виконання робіт певного функціонального призначення і зберігаються в базі даних колективного користування.

4. Робота користувача в Інтернеті.

5. Робота з пристроями локальної мережі та персонального комп'ютера.

6. Передача інформації..

В процесі виконання виробничого завдання користувач формує довільну комбінацію із зазначених вище елементарних дій. Однак у всьому різноманітті дій можна встановити певну логічну послідовність виконуваних операцій будь-якого користувача в часі: виклик пакетів програм, необхідних для виконання певної роботи; коректура раніше створених і формування нових тестових файлів протягом певного часу; друк результатів роботи, місцезнаходження користувача, час початку і тривалість сеансу; тривалість використання центрального процесора; обсяг інформації в операціях введення-виведення і т.л.

Відповідність між ставленням переваги  $\prec$  і функцією корисності  $u$ :  $X \rightarrow R$  визначається умовою

$$\forall x \in X, y \in Y \exists u(x) \succ u(y) \Leftrightarrow x \succ y$$

Функція корисності  $X \rightarrow R$  задає відношення переваги на  $X \cup Y$ , якщо  $X \succ Y$  тоді і тільки тоді, коли і  $u(x) \prec u(y)$ . Для того, щоб замість відносини переваги можна було розглядати функцію корисності, необхідно визначити ряд додаткових умов. Зазначені умови в вигляді аксіом для функцій корисності Неймана-Моргенштерна розглядаються в роботах [19,30,84]. Надалі для вирішення завдання забезпечення інформаційної безпеки будемо використовувати отримані раніше результати теорії корисності. Зокрема, для вирішення завдання виявлення порушників можуть бути використані розроблені в економіці відносини переваг і їх формалізоване представлення у вигляді функції корисності. Це дозволяє використовувати для опису поведінки, як порушників, так і користувачів АСУ результати розрахунків функції корисності ( $u : C \rightarrow R$ ), які в економіці називаються кривими байдужості. Отримане безліч виду  $\{x \in C : u(x) = c\}$  може бути використано як портрет користувача.

4.1.4. Модель оцінки правдоподібності інформації що передається при оперативній взаємодії. У сучасній літературі існує два поняття: "помилка" і "перекручування" [9]. У задачі пропонується використовувати ці поняття з точки зору цільового використання інформації в авіаційній діяльності. Термін "помилка" будемо розглядати як результат прояву випадковості в діяльності користувачів, їх фізичної нездатності не робити помилок. Поняття "спотворення" свідчить про неприйнятність подальшого використання інформації, що надійшла. Як правило, це пов'язано з

навмисними діями, які призводять до зміни логіки або результатів рішення функціональних задач в авіаційній діяльності. Механізми контролю інформації:

1) Виняток подвійного введення або інших помилок (значень, що виходять за допустимий діапазон);

2) періодичний аналіз (перегляд) вмісту ключових полів або файлів даних для підтвердження їх достовірності і цілісності;

3) звіряння друківаних копій документів, що вводяться з вводяться даними на предмет виявлення неавторизованих змін цих даних;

4) реагування на помилки, пов'язані з непідтвердженням даних.

В основу пропонованої підсумкової оцінки достовірності даних з урахуванням використання різних механізмів контролю інформаційної системи покладемо поняття "ситуація", яка визначається з урахуванням впливу цілого набору різномірних базисних факторів:

1) ситуація  $S_0$ , в якій дія факторів є стандартним, повністю відповідним еталонному його опису;

2) ситуація  $S_1$  в якій вплив факторів визначається ненавмисними нестандартними діями користувачів в процесі роботи і свідчить про появу випадкових помилок;

3) ситуація  $S_2$ , виникнення якої пов'язують з діями зловмисника, і свідчить про появу спотворень.

Розглянемо більш докладно ситуації  $S_1$  і  $S_2$ , які вимагають втручання керівника польотів або інспектора з безпеки польотів. Базовий перелік ознак, за якими може бути визначена ситуація  $S_1$  може бути виявлено за результатами дослідження статистичних даних. Один з можливих варіантів практичної реалізації показаний в таблиці 3.1. Для вирішення цієї проблеми можна використовувати алгоритм прийняття рішень в нечітких умовах[213,214]. Відповідно до прийнятого варіантом завдання політики безпеки, що наведені у таблиці 4.1.4.1, сформулюємо завдання комплексного аналізу ситуації в наступному вигляді: визначити процедуру  $\phi$  (функцію або алгоритм), яка б пов'язала набір показників якості інформації  $Z$  з комплексним показником  $V$ .

Таблиця 4.1.4.1. Варіант прийнятої концепції формування політики безпеки

Тип ситуації	Умовні позначення	Характеристика діапазонів зміни значень узагальненого критерію	Умовні позначення	Оцінка ризику	Умовні позначення
Найбільш ймовірними є дії	$S_2$	Предельно небезпечна ситуація не маюча аналогів у минулому	$V_1$	Найвища	$R_1$
		Небезпечна ситуація, порівняна з зустрічаючимися ситуаціями	$V_2$	Висока	$R_2$
Наявність невизначеності	$S_1$	Середній (проміжний) рівень оцінки правдивості даних	$V_3$	Середня	$R_3$
Найбільш ймовірними є дії	$S_0$	Відносно благополучна ситуація оцінки правдоподібності даних	$V_4$	Низька	$R_4$
		Не небезпечна ситуація	$V_5$	Незначна	$R_5$

Таблиця 4.1.4.2. Схема якісної оцінки контролюємих показників вводу даних  
( $Z_j(\Delta t_1)$ )

Число вимірюваних значень в одиницю часу	Значення функції належності лінгвістичної змінної ( $\lambda_j(\Delta t_1)$ )				
	00,00,015,0,25	15,025,035,045	015,025,035,045	55,065,075,08	075,085,10,10
	Значення лінгвістичної змінної Z для отримання чисел T				
	Дуже низький	низький	середній	Високий	дуже високий
$Z_1$ – кількість значень виходячих за допустимий діапазон	0; 0; 50;55 (0-55)	50;55;60;65 (50-65)	60;65;75 (60-75)	70;75;80;85 (70-85)	80;85; $\infty \infty$ (80- $\infty$ )
$Z_2$ кількість протиречних даних	0;0;20;25 (0-25)	20;25;30;35 (20-35)	30;35;40;45 (30-45)	40;45;50;55 (40-55)	50;55
$Z_3$ кількість даних введених з порушенням логіки	0;0;5;10 (0-10)	5;10;15;20 (5-20)	15;20;25;30(15-30)	25;30;35;40(25-40)	35;40
$Z_4$ кількість неавторизованих даних	0;0;20;25 (0-25)	20;25;30;35 (20-35)	30;35;40;45 (30-45)	40;45;50;55 (40-55)	50;55
$Z_5$ кількість даних не співпадаючих зі значенням прогнозу	0;0;50;55(0-55)	50;55;60;65 (50-65)	60;65;75 (60-75)	70;75;80;85 (70-85)	80;85

Для заданого варіанту  $j = 5$  при виборі трапецеидальної функції приналежності значення комплексного показника визначається формулою

$$V = 0,075 \times Y_1 + 0,3 \times Y_2 + 0,5 \times Y_3 + 0,7 \times Y_4 + 0,925 \times Y_5$$

$$\text{Де } Y_i = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_i \rho_i \lambda_i}{\sum_{i=1}^N \delta_i \rho_i} \text{ - проміжний коефіцієнт оцінки значення показника } z_i$$

по функції належності.  $\delta_i = 1$  так як збільшення кожного з приватних показників  $z_1, z_2$  призводить до росту комплексного показника V

Коефіцієнт важливості показників визначається виразом

$$Y_i = \frac{2(N - i + 1)}{N(N + 1)}, \text{ де } N = 5$$

За значенням показника V аналогічно розглянутою вище методикою визначається ситуація « $S_0$ - $S_1$ - $S_2$ ».

Варіант побудови причинно-наслідкової схеми моделювання потоку подій для прийняття рішення по класифікації ситуації ( $S_1 \vee S_2$ ). на основі виявлених ознак, показаний на рис. 4.1.4.



Запропонована модель за значенням показників  $V_I$ ,  $V_{II}$  дозволяє особі, яка відповідає за інформаційну безпеку, якісно оцінити покращилася або погіршилася ситуація за минулий період часу по відношенню до початкового періоду

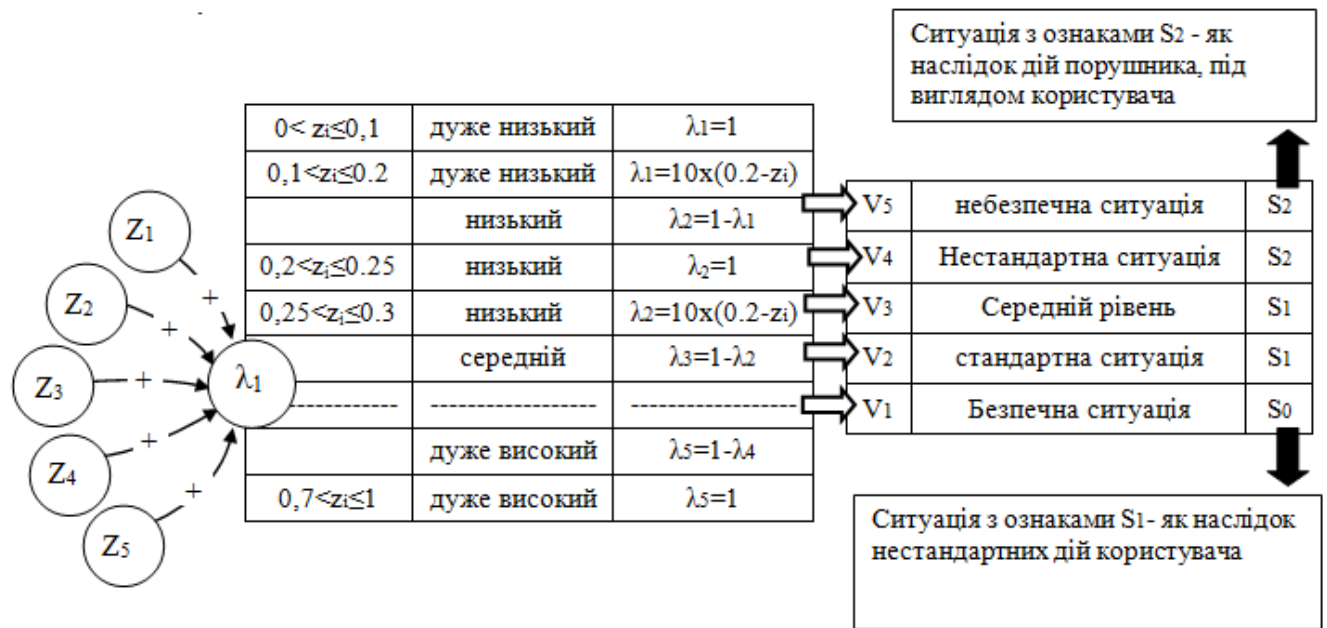


Рис. 4.1.4. Узагальнена функціональна схема оцінки достовірності переданих даних

#### 4.2. Модель виявлення випадкових і навмисних помилок авіаційних операторів

Рішення завдання виявлення і усунення типових помилок в записах об'єктів авіаційної інфраструктури засноване на використанні методів теорії розпізнавання образів. Завдання орієнтована на використання в автоматизованих систем управління безпекою польотів, відмінною специфікою яких є наявність значних масивів даних.

Будемо вважати, що опис  $j$ -го об'єкта характеризується вектором станів  $y_j(t_0) = \{y_{j1}(t_0), y_{j2}(t_0), \dots, y_{jn}(t_0)\}$

де  $y_j(t_0)$  - квантифікувати опис реквізитів об'єкта, запис яких проводиться в окремі поля БД.

Відповідно до цих припущенням в початковий момент часу  $t_0$  проводиться правильна (еталонна) запис реквізитів, щодо якої виконується подальший аналіз. Після проведення операції ідентифікації всі записи в БД вважаються еталонними і утворюють матрицю  $M_{\text{еталонів}}$

$$M_{\text{еталонів}} = \begin{pmatrix} y_1(t_0) & y_{11}(t_0) & y_{12}(t_0) & \dots & y_{1n}(t_0) \\ y_2(t_0) & y_{21}(t_0) & y_{22}(t_0) & \dots & y_{2n}(t_0) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{j1}(t_0) & y_{j1}(t_0) & y_{j2}(t_0) & \dots & y_{jn}(t_0) \end{pmatrix}$$

Вектора  $y_j(t_0) = \{y_{j1}(t_0), y_{j2}(t_0), \dots, y_{jn}(t_0)\}$  (утворюють безліч непересічних класів).

Починаючи з моменту часу  $t=t_0$ , за застосуванням вектора  $y_j(t_0)$  ведуться спостереження, результати яких фіксуються в дискретні моменти часу  $t = t_0 + i \times \Delta t, i = 1 \dots k$ .

де  $\Delta t$  - часовий інтервал введення чергового запису про об'єкт КС  $i$ - номер послідовності введеної записи.

У момент часу  $t_j$  формірується опис реальних об'єктів  $q_i(t_i) = \{q_{i1}(t_i), q_{i2}(t_i), \dots, q_{im}(t_i)\}$ , який за встановленими правилами ставиться у відповідність еталонному опису  $y_i(t_i) = \{y_{i1}(t_i), y_{i2}(t_i), \dots, y_{in}(t_i)\}$

У загальному випадку кількість введених реквізитів може бути неповним, тобто  $m < n$  (зокрема це відбувається при введенні даних від різних джерел інформації). Кінцевою метою формування сукупності формалізованих правил для опису об'єктів і контролю правильності запису є створення єдиного інформаційного простору, що відповідає вимогам повноти та достовірності інформації[97-100].

Для вирішення завдання побудуємо систему асоціативних правил, які дозволяють знаходити закономірності між пов'язаними подіями. В основі побудови системи таких правил лежить твердження, що в тому випадку, якщо відбулася подія  $A$ , то з ймовірністю  $X$  відбудеться подія  $B$ , а можливість події  $D$  виключена.

Введемо таке визначення. Асоціативним правилом називається імплікація  $X \Rightarrow Y, \text{де } X \subset I, Y \subset I, X \cap Y \neq \emptyset$ . Правило  $X \Rightarrow Y$  має підтримку  $s$  (support), якщо  $s\%$  транзакцій з  $D$ , містять  $X \cup Y$ ,  $\text{supp } X \Rightarrow Y = \text{supp } X \cup Y$ . Достовірність правила показує, наскільки ймовірним є те, що з  $X$  слід  $Y$ . Правило  $X \Rightarrow Y$  справедливо з достовірністю (confidence)  $c$ , якщо  $c\%$  транзакцій з  $D$ , що містять  $X$ , також містять  $Y$ ,  $\text{conf}(X \Rightarrow Y) = \text{supp}(X \cup Y) / \text{supp}(X)$ .

Для виконання умови  $X \subset I$  та  $X \cap Y$  елементи  $X$  будемо набирати з масиву непізнаних об'єктів, а елементи  $Y$  - з довідника ("найближчі сусіди").

Відбір інформативних ознак проводиться за результатами аналізу статистичних даних, що містять відомості про типові помилки введення інформації.

4.2.1. Модель з дискретною функцією належності до альтернатив відносно цілей.

Деталізований опис кроків

Крок 1

Введемо  $f$  – функцію дійсних значень, областю визначення якої є множина  $X$ . Припускається, що функція  $f$  обмежена знизу значенням  $\inf(f)$ , а зверху – значенням  $\sup(f)$ . Введемо  $M_i \in F(u), (i = 1, \dots, n)$  – нечіткі цілі,  $C_j \in F(u), (j = 1, \dots, m)$  – нечіткі обмеження [104-106]. Тепер припустимо, що і цілі, і обмеження можуть бути нечіткими, функції приналежності можуть бути врівноважені за допомогою  $M_i$  і  $C_j$  – залежних коефіцієнтів  $a_i$  і  $b_j$  таких, що функції приналежності можна шкалувати для отримання третьої ймовірності в термінах теорії нечітких множин або марківської теорії зв'язку.  $i$ -ий індивідуально оптимальний розв'язок отримують як оптимальний розв'язок наступної задачі:

$$(1) \quad D(u) = \sum_{i=1}^n a_i M_i(u) + \sum_{j=1}^m b_j c_j(u)$$

Крок 2

При вирішенні проблем оптимізації багатоцільових систем з  $n$  цілями і  $m$  обмеженнями, коли цілі і обмеження однаково важливі, можна використовувати висловлювання (I), а функція приналежності за допомогою оцінювання можна присвоїти однаково вагу.

Крок 3

1. Введемо  $X = (x_1, \dots, x_n)$

2. Введемо  $Y = (y_1, \dots, y_m)$

3. Введемо нечітке відношення із  $X$  в  $Y$  наступним чином:  
 $f : X \rightarrow F(Y)$

із  $f$  нечітке відношення  $R$  вводять за допомогою нечіткої матриці;

4. Введемо функцію  $f : (0,1)^m \rightarrow R$

5. Введемо  $E(x_i), i \leq m$

Трійка  $(X, Y, R)$  являє собою простір оцінювання. Для  $f$  виконуються наступні умови:

1. Регулярність;
2. Монотоність;
3. Неперервність.

Крок 4

Можливий нечіткий розв'язок в напрямку покращення записується так

$$c(x^x) = c(x^i) + u(c(x^x) - c(x^i)), \\ s.t. u \in (0,1)$$

Крок 5

Нехай  $x^x$  – поточний оптимальний розв'язок. Множина можливих нечітких розв'язків в напрямку простору цілей  $c(a_j)$  записується так

$$(3) \quad c(x^{x+1}) = c(x^x) + u(c(a_j)) \\ s.t. u \in (0,1)$$

Крок 6

Розв'яжемо наступну задачу:

$$(4) \text{ Maximize } u(x_i)$$

$$s.t. c_i x - x_i = c_i x$$

$$u \in (0,1)$$

Крок 7

Для оцінювання в широкому розумінні підходить нечіткий інтеграл. Систематичне оцінювання об'єкта можна записати у вигляді

$$(5) f_u h(u_i) \circ g(\bullet) = \bigvee_{i=1}^n (h(u_i) \wedge H(u_i))$$

Крок 8

Знову можливий нечіткий розв'язок в напрямку покращення записується у вигляді

$$(6) c(x^{x+1}) = c(x^x) + u(c(x^n) - c(x^x))$$

$$s.t. u \in (0,1)$$

Крок 9

На цьому кроці досягається відносна рівновага. Така рівновага є станом системи, що задовольняє власним вимогам базової узгодженості, що роблять її такою, що самозберігається, коли це потрібно.

Більш детально цей алгоритм викладений в роботі S. Також там розміщений ілюстративний приклад.

В цьому алгоритмі досліджується використання F-множин марківського процесу для управління функцією приналежності. F-множина представляє собою функцію  $U(x)$ , що приймає значення  $0 \leq U(x) \leq 1$ , для кожного  $x$ . Спеціальний випадок розглянуть в роботі ?. «Відображення, що частково зберігаються належать класу марківських ланцюгів. Для того, щоб бути такими, частково зберігаються вони повинні бути бістохастичними ланцюгами Маркова».

Для визначення більш кращої альтернативи в задачі прийняття рішень за багатьма критеріями полягає (Yager) в визначенні альтернативи й цілі, за котрим повинні оцінюватися альтернативи. Далі для описання ступені, у котрій задовольняються данні цілі розглядуваної альтернативою, вводяться розмиті безлічі. Це здійснюється призначенням степені приналежності всієї альтернативи всіх цілей, де значення приналежності вибирається із інтервалу  $/0,1/$ . Нулеві значення приналежності вказують на те, що дана альтернатива абсолютно марна по відношенню до розглянутої цілі, тоді як одиничне значення приналежності каже що альтернатива повністю задовольняється даної цілі [108,112,113].

Виявляється, що таке призначення значення приналежності із інтервалу  $/0,1/$  повністю еквівалентне призначенню користі (із того ж інтервалу  $/0,1/$ ) для кожного поєднання альтернативна-ціль (KEENEY&RAIFFA, 1976)

Далі суб'єкт, приймаючий рішення повинен провести на відносній шкалі попарне порівняння цілей. Наприклад, для цілей 1 і 3 суб'єкт, приймаючий рішення може прийти до висновку, що ціль 1 в чотири рази важливіше цілі 3. Таке виявлення парних переваг приводить до  $n \times n$  матриці (для  $n$  цілей), в котрій  $i,j$ -й елемент що вказує, в скільки раз ціль  $i$  важливіша, ніж ціль  $j$ .

Очевидно, що всі  $i,i$ -ті елементи для  $i=1,2,\dots, n$  рівні одиниці. На цьому етапі визначення одиничного особистого вектора, відповідного максимальному особистому значенню, застосовується метод особистих значень, розроблених (SAATY 1997). Одиничний особистий вектор відображує нормалізовані масу (в сумі рівній одиниці) цілей. Цінність даного метода полягає у тому, що він дозволяє отримати безліч мас навіть в випадку, коли парні порівняння є суперечливими.

Наступний етап полягає у тому, що спершу вага цілей(отримані за допомогою метода особистих векторів Сааті) множаться на величину  $n$ . Ці скореговані ваги використовуються далі в якості ступенях показників в ступенях приналежності, отриманих при оцінці корисності кожної альтернативи по відношенню до кожної цілі.

Після цього використовується теорія нечітких множин для вибору кращої альтернативи в відповідності до наступних процедур:

Нехай

$C_i =$  ціль,  $i = 1, 2, \dots, m$ ;

$A_j =$  альтернатива,  $j = 1, 2, \dots, n$ ;

$W_i =$  вага для цілі  $i$  (отриманий за методом Саати);

$\mu_{ij} =$  значення приналежності для альтернативи  $j$  по відношенню до цілі  $i$ .

Тоді альтернатива  $A_k$  являється кращою, якщо  $\max_j \left\{ \min_i (\mu_{ij}^{w_i}) \right\} = \mu_{ik}^{w_i}$  для деякого  $i$ .

Однак застосування розглянутого метода може суперечити інтуїтивним уявленням.

$$\text{Нехай } C_1 = \frac{0,16}{A_1}, \frac{0,09}{A_2}, \frac{0,25}{A_3}, \frac{0,36}{A_4}, \quad C_2 = \frac{0,3}{A_1}, \frac{0,4}{A_2}, \frac{1,0}{A_3}, \frac{0,8}{A_4}, \quad C_3 = \frac{0,25}{A_1}, \frac{0,36}{A_2}, \frac{0,81}{A_3}, \frac{0,49}{A_4}$$

Визначають функції приналежності для альтернатив  $A_1, A_2, A_3$  і  $A_4$  по відношенню до цілей  $C_1, C_2, C_3$ .

Припустимо, також що матриця  $B = b_{ij}$  складається з елементів, показуючи, в скільки разів ціль  $C_i$  найбільш важлива в порівнянні з  $C_j$ :

$$B = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & C_3 \\ C_1 & 1 & 1/4 & 1 \\ C_2 & 4 & 1 & 4 \\ C_3 & 1 & 1/4 & 1 \end{matrix}$$

В даному випадку парні порівняння не противоречиві і нормалізовані ваги рівні:  $w_1=1/6, w_2=2/3$  і  $w_3=1/6$ . Скореговані значення вагів рівні:  $W_1=1/2, W_2=2$  і  $W_3=1/2$ .

Тоді:

$$C_1^{1/2} = \frac{0,4}{A_1}, \frac{0,3}{A_2}, \frac{0,5}{A_3}, \frac{0,6}{A_4}$$

$$C_2^2 = \frac{0,09}{A_1}, \frac{0,16}{A_2}, \frac{1,0}{A_3}, \frac{0,64}{A_4}$$

$$C_3^{1/2} = \frac{0,5}{A_1}, \frac{0,6}{A_2}, \frac{0,9}{A_3}, \frac{0,7}{A_4}$$

Рішенням, максимізуючи мінімальні значення приналежності, є альтернатива  $A_4$ , так як величина  $0.6$  є мінімальне значення для  $A_4$  і  $0.6$  перевищує мінімальне значення приналежності для всіх альтернатив, що залишилися.

Даний висновок, дуже сильно суперечить інтуїції. Значення функції приналежності для альтернативи  $A_3$  перевищує відповідну величину для альтернативи  $A_4$  на  $0.81-0.49 = 0.32$  для цілі  $C_3$ , а для цілі  $C_1$  значення функції приналежності альтернативи  $A_4$  перевищує значення приналежності  $A_3$  всього лише на  $0.36-0.25=0.11$ . Цілі  $C_1$  і  $C_3$  мають однакові ваги ( $w_1=w_3=1/6$ ). Що відноситься до цілі  $C_2$ , котра виявляється для ЛПР в чотири рази більш важливою, ніж  $C_1$  чи  $C_3$  ( $w_2=2/3$ ), тоді для неї значення функції приналежності для альтернативи  $A_3$  на  $1,0-0.8=0.2$ . Відповідно, вибір альтернативи  $A_4$  в якості кращого рішення представляється як погано обґрунтованим.

Спрощені моделі Болдуїна-Гилда. На перший погляд, найбільш привабливим з інтуїтивних міркувань загальним методом порівнянь двох або більше нечітких альтернатив (альтернатив, наслідків котрих можна оцінити вельми розмито) з цілью вибору кращого рішення являється підхід, запропонований Болдуїном і Гілдоном.

Цей підхід спочатку призначався для рішення задач, в котрих кожне альтернативне можна зіставити непривливу функцію приналежності. Задачі, куди

входять дві або більше цілей, в цьому підході не згадуються. Однак, розширені методи Болдуїна-Гілда на випадок з декількома цілями виконуються безпосередньо, хоча і являються в обчислювальному плані вельми громіздкі. Автори цього підходу демонструють переваги їх метода в порівнянні з підходами, запропонованими Баасом і Квонернаком, оскільки інші методи не володіють деякими істотними недоліками.

Застосовува функцію приналежності

$$\mu_0(i) = \sup_{x_i, x_j} (\mu_{A_i}(x_i) \wedge \mu_{A_j}(x_j) \wedge \mu_{p_{ij}}(x_i, x_j)), i \neq j$$

Визначають  $\mu_0(i)$  – приналежність  $i$ -й альтернативи безлічі попереднього ранжируваних альтернатив. Значення  $i$ , котрому відповідає найбільше значення  $\mu_0(i)$ , визначає кращу альтернативу. Тут  $\mu_{A_i}(x_i)$  – функція приналежності, представляє сумісність  $i$ -й альтернативи з значенням  $x_i$ , а  $\mu_{p_{ij}}$  – представляє кращу альтернативу  $i$  в співвідношенні з альтернативою  $j$ .

Можна використовувати любую функцію корисності, однак суспільно прийнятна функція виду:  $\mu_{p_{ij}} = x_i - x_j$

Оператор  $\wedge$  означає мінімальне значення :

$$\mu_{A_1} = (x_1 \wedge \mu_{A_2}(x_2)) = \min(\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2))$$

Наступним кроком установимо зв'язок між значеннями приналежності вагів і значеннями приналежності цілей  $\wedge$  оператора:

$$\mu_0(i) = \sup_{x_i, x_j, w_i, w_j} [\mu_{A_i}(x_i) \wedge \mu_{A_j}(x_j) \wedge \mu_{w_i}(w_i) \wedge \mu_{w_j}(w_j) \wedge (x_i - x_j)]$$

Задані значення приналежності (а не в корисності), при цьому для кожної цілі тільки одне значення приналежності. Тому функція приналежності являється не тільки дискретною, але й з єдиним значенням. В силу цього, найкраще значення  $\mu_{p_{ij}} = (x_i - x_j)$  для альтернати  $i$  та  $j$  в половині з випадків буде не позитивним ( $x_i \geq x_j$  чи  $x_i \leq x_j$ ).

Так як така ситуація може привести до негативності деяких значень  $\mu_0(i)$ , то зручно перевизначити  $\mu_0(i)$  наступним чином :

$$\mu_0(i) = \sup_{x_i, x_j} [\mu_{A_i}(x_i) \wedge \mu_{A_j}(x_j) \wedge \mu_{w_i}(w_i) \wedge \mu_{w_j}(w_j) \wedge (x_i - x_j), 0]_{i \neq j}$$

В силу того, що в прикладанні ваги цілей не являються не чіткими, то

$$\mu_{w_i}(w_0) = 1 \text{ та } \mu_{w_i}(w_i) = 1$$

Тоді, для кожної зваженої альтернативи маємо :

$$\mu_0(i) = \sup_{x_i, x_j} [\mu_{A_i}(x_i) \wedge \mu_{A_j}(x_j) \wedge (x_i - x_j), 0]_{i \neq j}$$

Далі,  $\mu_{A_i}(x_i) = x_i$  та  $\mu_{A_j}(x_j) = x_j$  оскільки корисність спеціально розглядується як значення приналежності. Таким чином, для кожної зваженої альтернативи маємо:

$$\mu_0(i) = \sup_{x_i, x_j} [(x_i \wedge x_j) \wedge (x_i - x_j), 0]_{i \neq j}$$

Критерій прийняття рішень в рівнянні (4) до розглянутого вище прикладу отримуємо, що значення приналежності зваженої суми цілей  $1/6C_1+2/3C_2 +1/6C_3$ .

Для кожної альтернативи має вид:

$$\mu_o(A_1) = 0, \mu_o(A_2) = 0, \mu_o(A_3) = 1, \mu_o(A_4) = 0$$

Тоді,  $A_3$  являється кращою альтернативою. Легко переконалися що застосування метода Болдуїна-Гилда приводить до того ж рішення, Що й використання метода зваженої корисності при прийнятті рішення по багатьом показникам для класу чітких задач, визначених Ягером. Більш того, два методи завжди приводять до одного й того ж рішення.

В моделі зваженої корисності, в припущенні, що між цілями немає взаємодій, корисність кожної альтернативи визначається простими зваженими корисностями

цієї альтернативи для кожної з цілі. Визначається:

$$\text{Корисність } (A_1) = 1/6(0.16)+2/3(0.3)+1/6(0.25)=0.268;$$

$$\text{Корисність } (A_2) = 1/6(0.09)+2/3(0.4)+1/6(0.36)=0.342;$$

$$\text{Корисність } (A_3) = 1/6(0.25)+2/3(1)+1/6(0.81)=0.843;$$

$$\text{Корисність } (A_4) = 1/6(0.36)+2/3(0.8)+1/6(0.49)=0.675;$$

І знову альтернатива  $A_3$  являється кращою.

В моделі Ягера, значення зіставляються кожної комбінації альтернатива-ціль, явно являються значеннями приналежності нечіткої більшості; однак, оскільки кожному поєднанню альтернатива-ціль зіставляються тільки одне значення, то їх можна розглядати як корисності. Як наслідок надана в цьому випадку інформація являється не більш не чіткою, ніж в простій задачі прийняття рішення по багатьом критеріям. Для того, щоб ці значення дійсно характеризували не чіткість для кожного поєднання альтернатива –ціль необхідно задавати різні дискретні корисності та зв'язані з ними значенням функції приналежності. Після того як такі дії зроблені, рівняння (3) приставляє собою спеціальний випадок вирішуючого правила, представленого болдуїном-гілдом[109-111,114,117].

В силу спеціальної природи рівняння (3) бажано, щоб значення приналежності назначались для корисності із інтервалу. Допустимо, що дві цілі –  $C_1$  та  $C_2$ , а також дві альтернативи –  $A_1$  і  $A_2$ , що характеризуються дискретними функціями приналежності, відповідними корисності з інтервалом  $/0,1/$  з кроком 0.1. Для кожного поєднання альтернатива-ціль вимагаються різні функції приналежності:

$\mu$	$X_{11}$	0	0,2	0,6	0,9	0,7	0,4	0,3	0,3	0	0
	$X_{11}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\mu$	$X_{12}$	0,1	0,4	0,7	0,8	0,8	1	0,7	0,3	0,1	0,1
	$X_{12}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\mu$	$X_{21}$	0	0	0,3	0,6	0,6	0,7	0,9	0,6	0,3	0,2
	$X_{21}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\mu$	$X_{22}$	0,1	0,3	0,4	0,7	1	0,8	0,7	0,3	0,2	0
	$X_{22}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Тут  $X_{ij}$  представляє корисність j- й альтернативи відносно цілей i, а  $\mu(x_{ij})$  – приналежності  $x_{ij}$ . Припустимо, що метод Саати встановив, що вага цілі 1 рівне 0.4, а вага 2 рівна 0.6. Для цілі 1 маємо:  $\mu_o(1)=0.4$ ,  $\mu_o(2)=0.4$ . Для цілі 2 маємо  $\mu_o(1)=0.4$ ,  $\mu_o(2)=0.3$ .

Тоді

$$\mu(\text{альтернатива 1}) = 0.4(0.4)+0.6(0.4) = 0.4$$

$$\mu(\text{альтернатива 2}) = 0.4(0.4)+0.6(0.3) = 0.34$$

4.2.2. *Модель процесу зменшення ризиків при керуванні польотами.* Математичний образ процесів в АД, включає в себе формалізований опис тих її елементів, які безпосередньо пов'язані з управлінням польотами і впливають на БП. Як уже зазначалося, в цей перелік входять процеси, пов'язані з діями, ефективність яких оцінюється показниками системи збору та обробки інформації, радіозв'язку і т.д. Будемо вважати, що система  $S$  виконує  $N$  функцій,  $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n$  залежаних від  $n$  процесів  $F, F_1^1, F_2^1, \dots, F_i^1, \dots, F_n^1$  кожен з яких може змінюватися в певному діапазоні в умовах інформаційного впливу. Ефективність виконання критичної системою  $i$ -ої функції

$$W_S = W_S(\psi_S) = W_S(F_1^1, F_2^1, \dots, F_n^1) = W_S(\{F_1^1\}), \bar{i}, n; S = 1, N$$

Загальна ефективність критичної системи при використанні її за цільовим призначенням є вектор-функціонал  $W_S = \{W_S\}$

Загальною мірою вимірювання результатів інформаційного протиборства є величина зміни ефективності  $\Delta W_S = W_S^{AI} - W_S$

де  $W_S^{AI}$  - ефективність критичної оборонної системи при використанні заходів БП.

$W_S$  - ефективність системи в умовах інформаційних впливів при відсутності системи інформаційної безпеки.

Показник  $\Delta W_S$  оцінюється в частках запобігання шкоди і визначається завданням. Діапазон зміни величини в умовах ризику може бути визначений за розробленими і апробованими методиками в конкретній предметній галузі використання критичних систем. Для визначення величини  $\Delta W_S$  необхідно встановити діапазон зміни величин  $F_1^1, F_2^1, \dots, F_n^1$ , при відсутності і наявності УБП відповідно  $W_S, W_S^{AI}$ .

Весь діапазон зміни величини  $W_S$  може бути розділений на до поїддиапазонів, кожен з яких відповідає певному рівню забезпечення БП.

Отримані значення  $\Delta W_S^k$  є вихідними даними для розробки більш простих методів, в яких не потрібно виконувати громіздкі розрахунки не пов'язані з впливом ризиків, достоїнством яких є наявність фізичного смислу вихідних параметрів.

Існуючий досвід структурування складних процесів [5,14,88] дозволяє сформулювати властивості, яким повинні відповідати моделі БП АД:

1. моделюються процеси БП, які описуються нелінійними залежностями, при незначній зміні початкових умов система може перейти в принципово інший стан;
2. час вирішення завдань на більш високому рівні управління є більш тривалим, що може обмежити сферу застосування таких моделей етапом завчасного планування;
3. з підвищенням рівня УБП збільшується питома вага і ціна помилки інформаційної компоненти в процесі управління;
4. точність оцінки показників БП залежить від числа рівнів ієрархії і від точності представлення процесів на нижньому рівні;
5. оцінка БП повинна проводитися з урахуванням деструктивних впливів на всьому життєвому циклі АД;

Для вирішення всього комплексу завдань СУБП повинна використовувати найбільш раціональний перелік методів і засобів захисту на основі оцінки поточної обстановки, а також впливу ризиків на всіх попередніх етапах життєвого циклу АД.

Запропонований метод комплексної оцінки ефективності СУБП заснований на використанні моделі багатовимірною часового ряду, в якій коефіцієнти безпосереднього впливу факторів один на одного задаються експертами. При такому



підході в моделі виявляються показники, які мають сенс сигнальних індикаторів, які адекватно відображають прояви позитивних або негативних тенденцій у сфері управління польотами та дозволяють побудувати узагальнену структуровану діаграму взаємодії факторів (рис.4.2.3.1.).

Подальше проведення досліджень передбачає побудову схем парного впливу чинників один на одного. У кожній парі повинна бути вказана сила впливу першої події на друге. Результати змістовного аналізу взаємозв'язків показників кожного рівня представлені в таблиці 4.2.3.1

Представлене на рис.4.2.3.1 і в таблиці 4.2.3.1 опис процесу УБП відбивається у вигляді структурної ієрархії чинників. Такий опис дозволяє: в рамках заданого рівня ієрархії визначити систему відносин переваги однієї групи факторів по відношенню до іншої групи та оцінити чинники кожної групи, які можуть бути виміряні як кількісно, так і якісно.

Зазначена організація обчислювального процесу дозволяє побудувати модель верхнього рівня ієрархії, де основним критерієм оцінки СУБП є забезпечення гарантованого РБП.

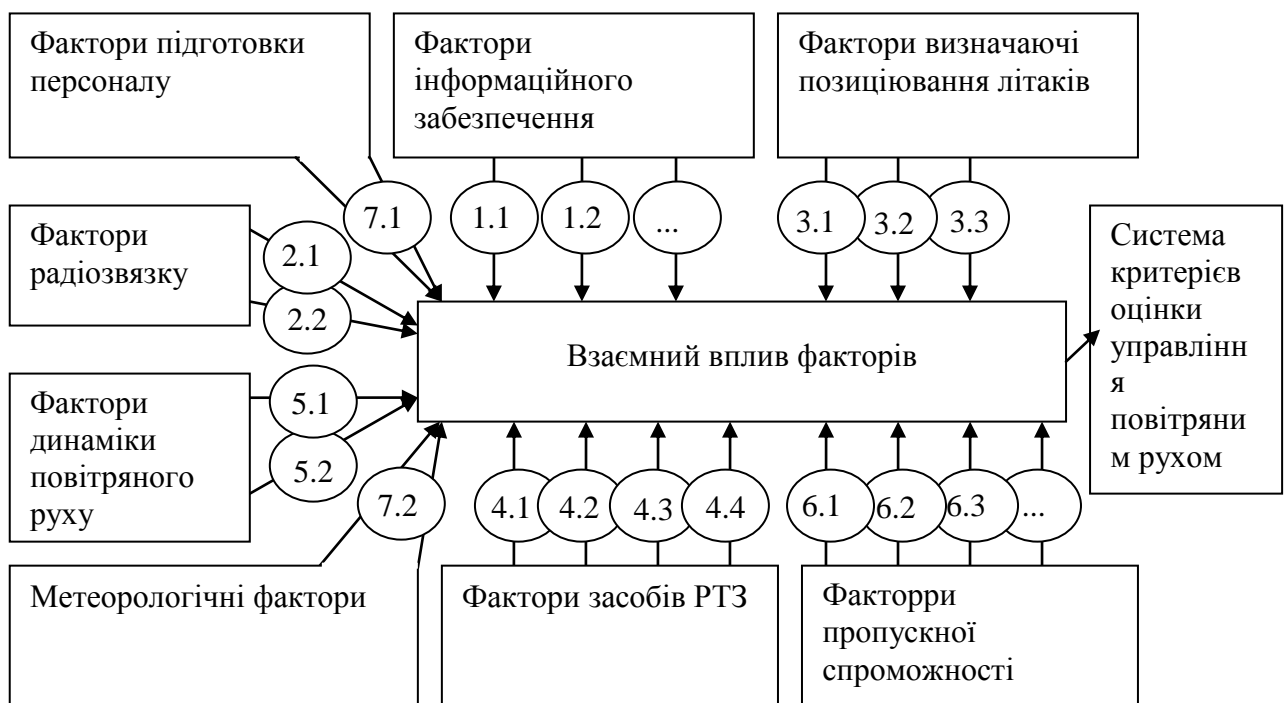


Рис. 4.2.3.1 Узагальнена структурована схема взаємозв'язків показників, які визначають ситуацію УБП

Таким чином, можна здійснити комплексну оцінку сили впливу різномірних чинників на ефективність всієї системи, якщо:

1. виробляти все вимірювання на якісному базисі, виробляючи нечітку класифікацію кількісних факторів за викладеною схемою;
2. для моделювання систем переваги застосовувати системи ваг Саати або Фішберна;
3. виробляти комплексування якісних рівнів факторів в рамках згортки показників БП АД.

Предмет моделювання безпосередньо визначається тимчасовим зрізом процесу функціонування об'єкта АД, починаючи від «пускового механізму» виникнення ситуації, пов'язаної з виконанням підготовчих заходів щодо зменшення впливу факторів ризику. Таке моделювання дозволяє досліднику оперативно отримувати нові

знання не тільки по кількісній оцінці рівня впливу різної інформації на кінцевий результат, а й виявляти конкретні реальні причини та наслідки виникнення і розвитку негативних процесів в умовах ризику.

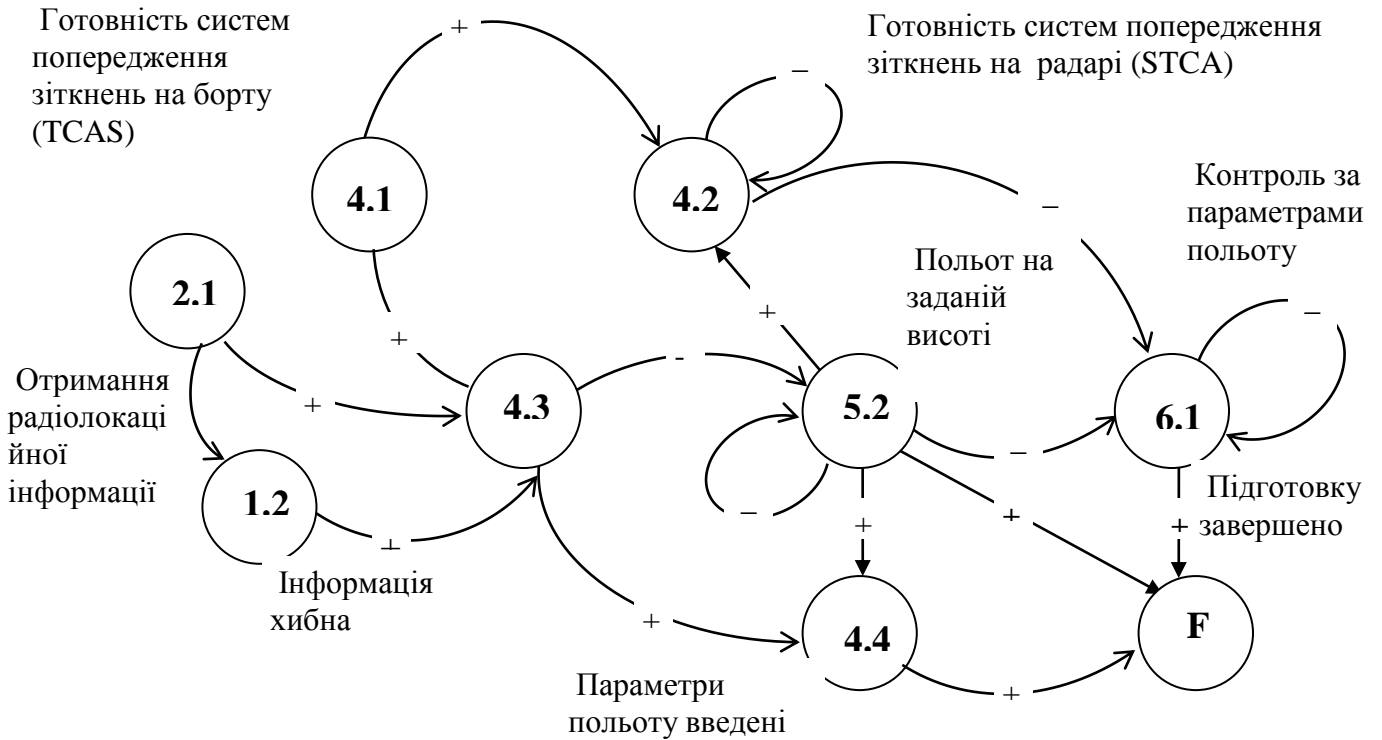


Рис. 4.2.3.2 Причинно-наслідковий граф, як узагальнена функціональна модель структури спостережуваного потоку подій, що визначають дії авіаційних операторів при управлінні польотами.

Представлений варіант побудови причинно-наслідкового графа, як узагальненої функціональної моделі структури спостережуваного потоку подій, що визначають дії авіаційних операторів при виконанні заходів, спрямованих на запобігання особливих ситуацій у польоті[119,120]. Розроблений причинно-наслідковий граф являє собою структурну схему штатного потоку подій в процесі управління польотами, коли приватні параметри оцінки процесу знаходяться в заданому діапазоні. Інтегральна функція  $F^{total}$  на рис. 4.2.3.2 є по суті критерієм штатного функціонування системи. Важливість цього моменту полягає в тому, що після того як буде побудований штатний

Таблиця 4.2.3.1 Опис процесу УБП

№№ факторів-джерел воздії	Зміст процесу взаємного впливу подій, обумовлених дією правових та соціально економічних факторів	№№ факторів – об'єктів взаємодії
1.1.	Працездатність засобів визначає рішення задач оцінки повітряної обстановки. Ступень впливу оцінюється коефіцієнтом $K_{11-1}$	1.2.
1.2.	Ефективне рішення задач оцінки обстановки потребує визначення з потрібною точністю. Ступень впливу оцінюється коефіцієнтом $K_{11-2}$	1.3.
1.3.	Точність визначення впливає на розподіл пропускної спроможності зони/сектору. Ступень впливу оцінюється коефіцієнтом $K_{11-3}$	4.3.

2.1.	Готовність засобів радіозв'язку. Ступень впливу оцінюється коефіцієнтом $K_{11-21}$	4.1.
3.1.	Готовність радіолокаційного розпізнавання та визначення міста ПС. Ступень впливу оцінюється коефіцієнтом $K_{11-31}$	4.1.
4.2.	Час прийняття рішень та ведення фразеології радіообміну. Ступень впливу оцінюється коефіцієнтом $K_{11-42}$	4.3.
5.1.	Точність витримки параметрів польоту. Ступень впливу оцінюється коефіцієнтом $K_{11-51}$	4.4.
6.1.	Готовність аварійних систем. Ступень впливу оцінюється коефіцієнтом $K_{11-43}$	Fu
7.1.	Фактори захисту інформації. Ступень впливу оцінюється коефіцієнтом $K_{11-71}$	1.3. 4.4.

сценарій функціонування системи управління, автоматично може бути отриманий варіант нештатного (аварійного) розвитку подій.

Оцінка ситуацій здійснюється при поєднанні методів нечіткої логіки з методами аналітичного моделювання. При описі процесу функціонування елементів АД у вигляді нечіткої ситуаційної мережі моделюється безліч показників оцінки  $V = \emptyset \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ . Значення цих показників в сукупності характеризують ситуацію в сфері БП в цілому і дозволяють по їх величині оцінити рівень штатного або позаштатного її розвитку.

Для вирішення цього завдання на області визначення  $A$  вводиться якісна алгебра  $SA = \langle A, \oplus, \otimes \rangle$ , сигнатуру якої утворюють замкнуті

всюди певні бінарні операції додавання  $\oplus$  і множення  $\otimes$ , а також будується якісне обчислення. Система рівнянь в цій алгебрі, що визначають суперпозицію джерел впливу на кожну вершину, задає математичний опис графа.

Введемо визначення базового математичного об'єкта - спрямованого нечіткого графа  $\hat{G} = (X, \hat{H})$ , в якому  $X = \{x_i\}; i \in I \{1, 2, \dots, n\}$  - безліч вершин графа;  $\hat{H} \{ \mu_H \langle x_1, x_j \rangle / \langle x_1, x_i \rangle \}; \langle x_1, x_j \rangle \in X^2$  - нечітка множина спрямованих ребер графа, вершина  $x_i$  є початком,  $x_j$  - кінцем ребра  $\langle x_1, x_j \rangle$ ,  $\mu_h \langle x_1, x_j \rangle$  - значення функції приналежності  $\mu_h$ , для ребра  $\langle x_1, x_j \rangle$ . Як безлічі речей для прийнятої концепції УБП (таблиця 4.2.3.1) будемо розглядати безліч невід'ємних дійсних чисел  $M = \{0, 1\}$ . Таким чином, при побудові функції приналежності на основі експертних оцінок [5] будемо використовувати нечіткі числа, які приблизно рівні деякого чіткому числу. Тоді для ситуації, яка характеризується набором впливів, що обурюють (наприклад, на рис.4.2.3.3.) може бути побудований нечіткий граф, описуваний нечітким бінарним відношенням над безліччю вершин [131, 133]. Метою проведення таких розрахунків є моделювання відгуку елемента системи (вершин) на вплив вихідного імпульсу, що приводить до зміни стану елемента (наприклад, в одній або декількох вершинах). При виконанні розрахунків будемо вважати, що існує деякий критерій для зупинки рекурсії, який залежить від апріорних припущень про інтенсивність деструктивних впливів в предметній області досліджень: 1) рівень звичності, допустимості змін; 2) темп зміни впливів; 3) передсказуємость змін, що відбуваються в процесі зменшення ризиків.

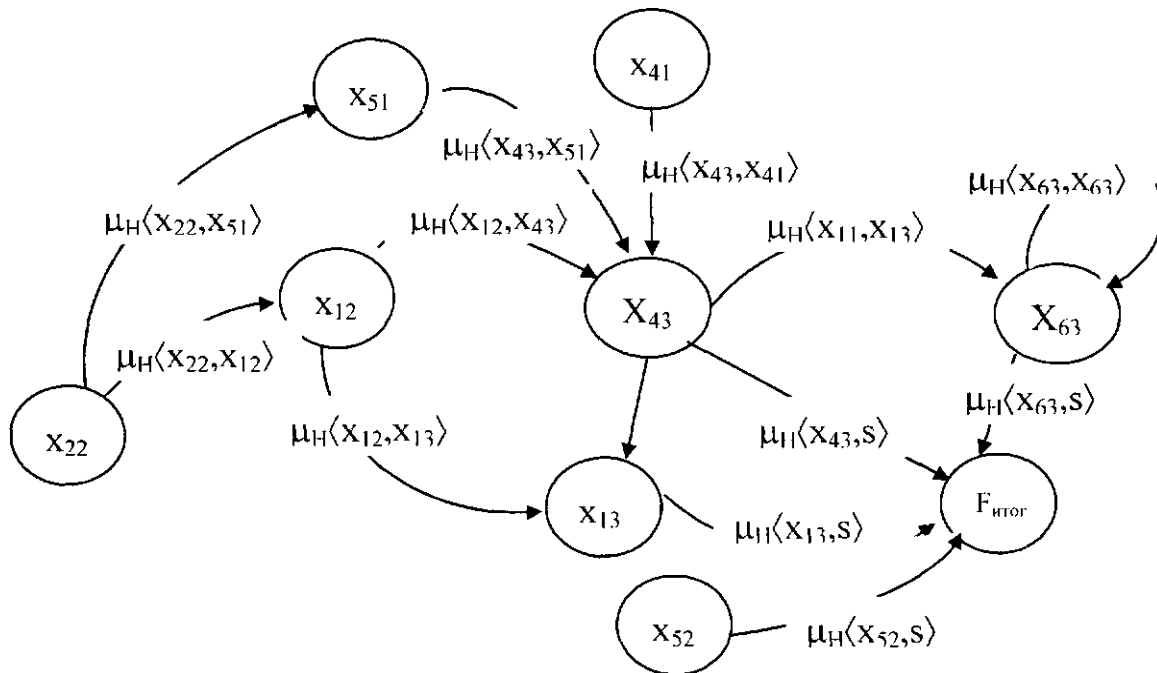


Рис.4.2.3.3. Нечіткий граф, моделюючий повітряну обстановку, як нечетке бінарне співвідношення на множині вершин, визначаючих розвиток процесу управління повітряним рухом.

Згідно з цією характеристикою подій можна визначити ступінь нестабільності середовища і можливість виникнення кризової ситуації в умовах інформаційних впливів в тих чи інших напрямках УБП[203-207].

4.2.3. Модель оцінки інформаційних впливів на процес управління безпекою польотів. При проведенні подальших досліджень скористаємося алгоритмом ПР в нечітких умовах.

Сформулюємо задачу комплексного аналізу ситуації в наступному вигляді: визначити процедуру  $\phi$  (функцію або алгоритм), яка б пов'язала набір показників небезпеки особливої ситуації з комплексним показником  $V$ . За значенням показника  $V$  визначається ОС. Для цього введемо функцію приналежності  $\{\mu\}$ , якому відповідав би п'ятірка нечітких Т-чисел  $\{\beta\}$ , наприклад, такого вигляду:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= (0.0, 0.0, 0.15, 0.25), \\ \beta_2 &= (0.15, 0.25, 0.35, 0.45), \\ \beta_3 &= (0.35, 0.45, 0.55, 0.65), \\ \beta_4 &= (0.55, 0.65, 0.75, 0.85), \\ \beta_5 &= (0.75, 0.85, 1.0, 1.0) \end{aligned}$$

Терм-множина лінгвістичної змінної, значення якої визначають формування особої ситуації складається з п'яти компонентів. Ситуації нештатного або аварійного розвитку подій є слабо структуроване проблемами ПР, де якісні, погано певні чинники мають тенденцію домінувати, критерії оцінки альтернатив носять, як правило, суб'єктивний характер в тому сенсі, що вибір дій визначається особами які здійснюють ПР. Кожному з підмножин вихідних значень  $\hat{A}_1 \dots \hat{A}_5$  відповідають свої функції приналежності  $\mu_1(V) \dots \mu_5(V)$ , де  $V$  - комплексний показник ситуації. Якісний вид функцій  $\mu_i(V)$  представлений на рис. 4.2.4.1.

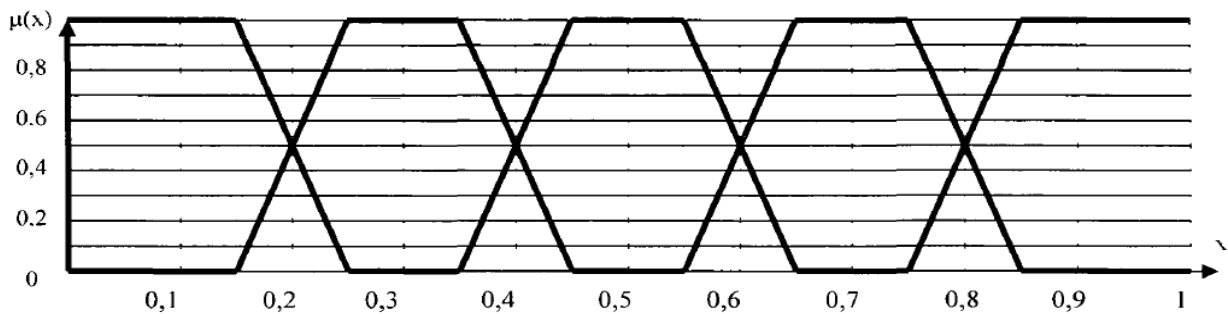


Рис.4.2.4.1. Графічне відображення функції приналежності лінгвістичної змінної особливих ситуацій

Из данного опису лінгвістичної змінної виходить, що комплексний показчик стану  $V$  повинен приймати значення від 0 до 1.

Правило розпізнавання ситуації для даного випадку показано в таблиці 4.2.4.1.

Таблиця 4.2.4.1

Класифікація рівня параметру $V$	Інтервал значень	Ступень оціночної впевненості (функція належності)
Не опасна ситуація	$0 \leq V \leq 0,15$	1
.....	$0,15 \leq V \leq 0,25$	$\mu_1 = 10 \cdot (0,25 - V)$
Відносно благополучна ситуація	$0,25 \leq V \leq 0,35$	1
.....	$0,35 \leq V \leq 0,45$	$\mu_2 = 10 \cdot (0,45 - V)$
Середній рівень відхилень від нормативних параметрів	$0,45 \leq V \leq 0,55$	1
.....	$0,55 \leq V \leq 0,65$	$\mu_3 = 10 \cdot (0,65 - V)$
Опасна ситуація, порівняна з ранішими	$0,65 \leq V \leq 0,75$	1
.....	$0,75 \leq V \leq 0,85$	$\mu_4 = 10 \cdot (0,85 - V)$
Опасна ситуація, не маюча аналогів в минулому	$0,85 \leq V \leq 1$	1

Рівень відносного внеску кожного показника  $z_1 \dots z_5$  на формування підсумкової величини комплексного показника  $V$  є різним. У тому випадку, коли показники можуть бути ранжовані за ступенем значущості, як правило, використовується шкала Фішберна

$$\rho_i = 2 \times (N - i + 1) / (N + 1)$$

В іншому випадку показники оцінюються як рівнозначні

$$\rho_i = 1 / N$$

При проведенні подальших досліджень, не порушуючи спільності пропонованого підходу обчислень, будемо орієнтуватися на перелік таких показників, що характеризують розвиток особливої ситуації.

$z_1$ -оцінка льотно-технічних характеристик ПС

$z_2$ -технічний стан ПС

$z_3$ -компетентність авіаційних операторів

$z_4$ -оцінка правильності послідовності виконуваних операцій

$z_5$ -оцінка повітряної обстановки

Розглянемо більш докладно математичний опис кожного показника видання  $z_1 \dots z_5$ , які в рамках теорії нечітких множин будуть використовуватися для комплексної оцінки виникнення особливої ситуації. Кожен з показників  $z_1 \dots z_5$ , як

лінгвістичну змінну, будемо характеризувати «рівнем показника» шляхом введення п'яти нечітких підмножин ( $i = 1 \dots 5$ ):

Нечітка підмножина «дуже низький рівень», показника  $z_1$ .

Нечітка підмножина "низький рівень», показника  $z_1$ .

Нечітка підмножина «середній рівень», показника  $z_1$ .

Нечітка підмножина «високий рівень», показника  $z_1$ .

Нечітка підмножина «дуже високий рівень», показника  $z_1$ .

Для формалізованого опису показника  $z_1$  будемо використовувати дані повітряної обстановки в секторі польотної інформації, які надходять в реальному масштабі часу. На практиці для оцінки показника може запускатися безперервний поточний контроль параметрів і порівняння їх з еталоном в кожному інтервалі спостереження.

Значення показника  $z_2$  пропонується визначати шляхом вимірювання реальних характеристик ПС.

. В якості третьої показника  $z_3$  визначимо готовність персоналу до професійної діяльності (наявність відповідного навчання, допусків, проходження мед контролю).

В якості четвертого показника  $z_4$  визначимо інтенсивність штатного розвитку потоку подій. Для формалізованого опису цієї величини будується тимчасовою ряд дій, виконання яких необхідне для успішного виконання операцій. За результатами оцінки часу запізнювання звітів щодо виконання таких дій будуються Т-числа для значень лінгвістичної змінної[134-137].

На особливу увагу заслуговує показник  $z_5$ . Оцінка ступеня небезпеки повітряної обстановки (оцінка показника  $z_5$ ). Будемо вважати, що для комплексного показника  $V$  є звичайна функція ефективності, що встановлює лінійну впорядкованість на безлічі альтернатив. В цьому випадку вона може бути перетворена в функцію приналежності за допомогою нормалізації, що зберігає встановлену лінійну впорядкованість.

Комплексний показник оцінки інформаційної безпеки  $V$  функціонально пов'язаний з набором вихідних показників, кожен з яких характеризується значеннями показників, представленими у вигляді коефіцієнтів. Ілюстративний приклад введення таких показників наведено в таблиці 4.2.4.2.

Таблиця 4.2.4.2

Перелік показників	Условні позначки	Т-числа $\{\gamma\}$ для значень лінгвістичної змінної «Величина показника»				
		Дуже низький	низький	середній	високий	Дуже високий
Оцінка параметрів маневрування	$z_1$	(0,0,0.1,0.2)	(0.1,0.2, 0.25,0.3)	(0.25,0.3, 0.4 5,0.5)	(0.45,0.5, 0. 6,0.7)	(0.6,0.7, <b>1,00</b> )
Оцінка систем ОрПР	$z_2$	(0,0,0.1,0.2 5)	(0.1,0.2, 0.25,0.3)	(0.25,0.3, 0.4 5,0.5)	(0.45,0.5, 0. 6,0.7)	(0.6,0.7, <b>1,1</b> )
Оцінка профпідготовки авіаційних операторів	$z_3$	(-1,-1,-0.5,-0.25)	(-0.3,-0.15, -0.05, -0.025)	(-0.1,-0.015, 0, -0.015,0.1)	(0.05,0.3, 0. 5,0.7)	(0.5,0.75,1, 1)
Оцітка тимчасової послідовності виконуваних дій	$z_4$	(- $\infty$ , 0,0.15,0.25)	(0.15,0.2, 0.3,0.3 5)	(0.3,0.35, 0.4 5,0.5)	(0.45,0.5, 0. 6,0.75)	(0.7,0.8, <b>1,1</b> )

Оцінка повітряної обстановки	$z_5$	(0,0,0,0.1,0.2)	(0.1,0.2, 0.25,0.3)	(0.25,0.3, 0.4 5,0.5)	(0.45, 0.55, 0.6,0.7)	(0.5,0.7, 1,00)
------------------------------	-------	-----------------	---------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------

Що стосується кожного показника  $z_1 \dots z_5$  відомо, що зі збільшенням його значення зростає комплексний показник оцінки ситуації  $V$ .

Оптимальним способом побудови  $V$  є його узгодження з обраною системою  $T$ -чисел  $\{\beta\}$ .

$$Y_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_i \rho_{ik} \lambda_{ik}}{\sum_{i=1}^N \delta_i \rho_{ik}}$$

Це передбачає пошук  $V$  в нечіткій формі у вигляді функціоналу (3.6), заданих значень п'ятірки нечітких  $T$ -чисел (таблиця 3.6).

Запропонована модель дозволяє особі, що здійснює ПР якісно оцінити ситуацію.

4.2.4. Модель оцінки забезпечення безпеки польотів по всьому переліку показників деструктивних впливів. Діапазон зміни показника ефективності АД  $\Delta W_S$  відповідає всій області зміни РБП по всьому переліку показників, що визначають введене визначення даного поняття: конфіденційність, цілісність, інформаційна стійкість, інформаційно-психологічна безпека. Після визначення значень  $D$  решається завдання поточної комплексної її оцінки в реальних умовах інформаційного протиборства.

В основу побудови моделі оцінки інформаційної безпеки АСУ КС по приватним показниками її захищеності був також покладено алгоритм прийняття рішень в нечітких умовах, що зв'язує з комплексним показником  $\Delta W_S$  набір приватних показників БП. До них відноситься: інформаційна стійкість  $\Psi$ , збережений рівень БП на етапах життєвого циклу  $\omega$ , інформаційно-психологічна безпека  $\xi$ , конфіденційність  $k$ . Для спрощення математичних залежностей розрахунку величини  $V$  було враховано правило, відповідно до якого збіг тенденцій зростання всіх значень приватних показників зі збільшенням підсумкового показника вимагає введення коефіцієнта  $\delta_1 = +1$ . Будемо також вважати, що всі приватні показники рівнозначні,  $\rho_1 = 1/4$ . Узагальнена оцінка РБП в частках запобігання шкоди проводиться по розрахованим значенням приватних показників (таблиця 4.2.5.1)

Таблиця 4.2.5.1

Перелік показників	Условні позначки	Т-числа $\{\gamma\}$ для значень лінгвістичної змінної «Величина показника»				
		Дуже низький	Низький	середній	високий	Дуже високий
Інформаційна стійкість як забезпечуваний рівень захищеності властивостей інформації	$\Psi$	0.0,0.1:0.2	0.1,0.2,25,0.3	0.25,0.3,0.45:0.5	0.45.0.5.0.6 0.8	0.6,0.8:1;1
Збережений рівень безпеки польотів на ранніх етапах	$\omega$	0.0.0.1,0.25	0.1.0.2.0.25.0.3	0.25.0.3,0.45 0.5	0.45.0.5.0.6.0.7	0.6,0.7:1:1

життєвого циклу						
Інформаційно-психологічна безпека при дії людського чинника	$\zeta$	0, 0.1, 0.15. 0.2	0,1.0 15. 0 2. 0.25	0.15. 0 2. 0.25. 0.3	0.1; 0..3, 0.5. 0 7	0.5,0.75; 1,1
конфіденційність	$k$	0.0,0 1, 0.2	0.1,0.2, 0.25.0.3	0 25,0.3, 0.45,0.5	0.45, 0.55, 0.6.0 7	0.5,0.7, 1:1

Для обраного варіанту пошуку  $V$  у вигляді функціоналу, визначеного значеннями п'ятірки нечітких Т-чисел, оцінка ситуації, що складається здійснюється за формулою

$$V = 0,019 \times y_{1i} + 0,075 \times y_{2i} + 0,125 \times y_{3i} + 0,175 \times y_{4i} + 0,23 \times y_{5i} - 1 \dots 4$$

де при  $i=1$  вибираються значення інформаційної стійкості  $\Psi$ , при  $i=2$  - значення збереженого РБП на етапах життєвого циклу  $\omega$ , при  $i=3$  - значення інформаційно-психологічної безпеки  $\xi$  при  $i=4$  - значення конфіденційності  $k$ .

У таблиці 4.2.5.2 показаний варіант інтерпретація результатів оцінки контрольованих показників БП АД.

Таблиця 4.2.5.2

№п/п	Значення змінної «Рівень виконання вимог з БП»	Кількісне значення $V$	Кількісне значення
1	Не небезпечна ситуація з благоприємною тенденцією розвитку	0,8 - 1,0	$\Delta W_s^1$
2	Не небезпечна ситуація в межах опиту	0,6 - 0,8 ,	$\Delta W_s^2$
3	Складна ситуація без явних тенденцій покращення	0,4 - 0,6	$\Delta W_s^3$
4	Ситуація з опарними тенденціями розвитку	0,2 - 0,4	$\Delta W_s^4$
5	Небезпечна ситуація, яка потребує срочного аналізу та дій	00 - 0,2	$\Delta W_s^5$

Перша складова поняття БП визначає якість виконання поставленого завдання в умовах деструктивних впливів, друга складова визначає можливість виникнення критичних ситуацій під час вступу помилкових дій, що управляють від вищестоящого органу управління.

4.2.5. Модель інформаційної безпеки процесів з малою нелінійною зміною ефективності забезпечення безпеки польотів. Дослідження результатів моделювання складних процесів з інформаційних критеріям дають нове розуміння терміна "непередбачуваність" дій в ОС [3,87,118]. Відомо, що диференціальне рівняння

$$\frac{dx}{dt} = f(x, t)$$

має єдине рішення, якщо рівняння моделі задовольняє умовам теореми Коші. Таким чином, в тому випадку, коли ми можемо однозначно прогнозувати результати інформаційного протистояння, необхідно використовувати моделі, в яких відомі характеристики початкового стану при  $t = 0$ ,  $x(0) = x_0$  а функція  $f(x, t)$  досліджуваного процесу, задана в деякій області, а також її похідна неперервна в цій області. Визначимо як функцію, що характеризує значення

інформаційного потенціалу в момент часу Будемо вважати, що з фізичної точки зору слабо нелінійні процеси в інформаційній сфері виділяються наявністю двох ознак:



1. вплив нелінійності не приводить до створення ситуації, в якій при малій зміні інформаційних вхідних параметрів стрибком проводиться зміна прийнятого рішення на альтернативне рішення;

2. вплив слабкої нелінійності може мати наслідком зміну якісного характеру процесу в порівнянні з лінійним випадком (зростання змінюється спадом; прискорення може бути як позитивною, так і негативною величиною і т.д.). Нижче розглядаються постановка задачі і математичних процесу вимагає врахування нелінійності при монотонній зміні величини збитку. Ставиться задача оцінки інформаційної стійкості безконфліктної повітряної обстановки  $x^{(0)}(t)$  до можливих виникнень ОС у польоті  $x[t]$ . Позначимо через  $x$  сукупність незалежних змінних, що характеризують встановлені стану системи в будь-якій точці всередині обсягу  $V$  в динаміці протікання процесу  $t$ . У точці нестійкості як завгодно слабкими інформаційними впливами можна змінити поведінку системи. На заданій множині незалежних змінних визначимо функцію  $\varphi(t, t_0, x_0)$ , значення якої дозволяють оцінювати локальна зміна стану системи відносно точки  $x_0$ . Функція  $\varphi$  неперервно диференційовна  $t(t \geq t_0)$ . Нехай в момент часу  $t$  відбулося деяке рівноваги вплив, завдяки якому система відхилилася в околиці точки  $x_0$  на величину  $\delta$ . Відповідно величина  $y(t) = \varphi(t; x_0 + \delta) - \varphi(t, x_0)$  характеризує зміна функції  $\varphi$ , викликане цим обуренням в момент часу Величина  $y(t)$  може бути обмежена значенням  $\varepsilon$ , яке визначається функцією до  $k(\varepsilon)$ . Інформаційна система стійка, якщо в момент часу  $t$  виконується умова

$$y(t) = \varphi(t; x_0 + \delta) - \varphi(t, x_0) < \varepsilon \text{ як тільки } |\delta| < k(\varepsilon),$$

тобто система прагне повернутися до первісного стану в умовах відсутності інформаційного впливу. Для оцінки ефективності захисту інформації при АД скористаємося системою диференціальних рівнянь моделі Лотки - Вольтерра. В рамках цієї моделі сформулюємо наступні припущення умови стійкості протікання процесів інформаційної взаємодії[202].

1. Інформаційні обурення накладаються тільки на початкові умови, з чого випливає, що обурений і необурений рух відбувається при одних і тих же інформаційних впливах.

2. Стійкість розглядається на нескінченно великому проміжку часу.

3. Обурення передбачаються малими.

Будемо вважати, що в одиницю часу кількість знищених інформаційних ресурсів АД завжди пропорційно добутку числа помилкових дій на кількість ресурсів АД. Тоді система диференціальних рівнянь, що описують взаємодію процесів управління польотами, може бути представлена у вигляді

$$\frac{dx}{dt} = x(a_1 - b_{12}y - c_1x), \quad \frac{dy}{dt} = x(a_2 - b_{21}y - c_2x)$$

де  $x$  - інформаційний ресурс автоматизованої системи управління повітряного руху;

$y$  - інформаційний ресурс, кількісна складова помилкових дій при управлінні повітряним рухом;  $a_1$  - коефіцієнт приросту інформаційного ресурсу автоматизованої системи управління повітряним рухом;  $a_2$  - коефіцієнт зниження інформаційного ресурсу в результаті парировання помилкових дій;  $b_{21}$  - коефіцієнт прогресу помилкових дій, що дозволяє їй нарощувати інформаційний ресурс;  $b_{12}$  - коефіцієнт, величина якого пропорційна ефективності подолання при взаємодії системи захисту;  $c_1, c_2$  - відповідно константи обмеження інформаційних ресурсів автоматизованої системи управління повітряного руху.

### 4.3. Модель оцінки інформаційної стійкості при організації обслуговування повітряного руху

#### 4.3.1. Модель оцінки інформаційної стійкості в процесі управління польотами.

Для вибору і застосування на практиці математичного апарату оцінки інформаційної стійкості системи відзначимо важливу обставину, пов'язане з тим, що під час роботи досліджувана інформаційна система знаходиться в стані нерівноваги. Це пов'язано з безперервним зміною даних обстановки:

- змінюється співвідношення «поточний час/час реакції на зміну обстановки»;
- змінюється достовірність тих чи інших показників обстановки;
- змінюється кількість параметрів обстановки, що відповідають вимогам по достовірності оперативності інформації.

Таким чином, динаміка повітряного руху являє собою послідовність зміни стану інформації в динаміці процесу руху. Таке динамічне протікання руху у вигляді зміни значень показника інформаційної стійкості визначають дані спостережень за реальною повітряною обстановкою. Схема забезпечення інформаційної стійкості при здійсненні АД, в реальному масштабі часу по каналах радіозв'язку показана на рис. 4.3.1.1. Збурений рух комплексного показника інформаційної стійкості виникає через відхилення початкових умов від розрахункових значень, що визначають зміст інформаційного процесу. Тому виникає ситуація може характеризуватися як короткочасним, так і тривалим проявом обуреного впливу. Причому стан нерівноваги при дії постійного обурення може бути як стійким, так і нестійким. Методи і засоби забезпечення інформаційної стійкості визначаються інформацією, яка є результатом обробки даних у встановленій формі, знання, які є систематизованими фактами, отриманими в результаті зіставлення інформації з висунутими гіпотезами та час - старіння інформації. Як показано в [75], з математичної точки зору стійкість по відношенню до таких постійно діючим збурень відрізняється від стійкості по Ляпунову тим, що обурюються не тільки початкові умови руху, а й змінюються самі диференціальні рівняння руху та складені за звичайними правилами диференціальні рівняння обуреного руху мають вигляд

$$\frac{dx_s}{dt} = X_s(t, x_1, \dots, x_n) + R_s(t, x_1, \dots, x_n)$$

де функції  $X_s$  визначають стійкість по відношенню до миттєво чинним збурень, а функції  $R_s$  характеризують постійно діючі обурюють фактори. Щодо правих частин цих рівнянь передбачається, що в області  $t \geq 0, |x_s| \leq H$

вони безперервні і допускають існування єдиного рішення при заданих початкових умовах. При цьому виконуються звичайні співвідношення

$x_s(t, 0, \dots, 0) = 0$ . Вважається, що функції  $R_s$  на відміну від функцій  $X_s$  практично ніколи невідомі і що вони лише задовольняють вищевказаним загальним умовам і обурення досить малі. У цьому випадку, як показано в [24], "єдино, що потрібно - це наша готовність визнати сам факт існування такої функції, а все інше впливає з абстрактних математичних міркувань і наявних чисельних даних (включаючи і точний вид кривої)". Однак для розглянутого випадку можна прийняти цілком обґрунтовану гіпотезу, що в разі постійно діючого обурення (повного припинення надходження даних спостереження) відбуватиметься старіння інформації.

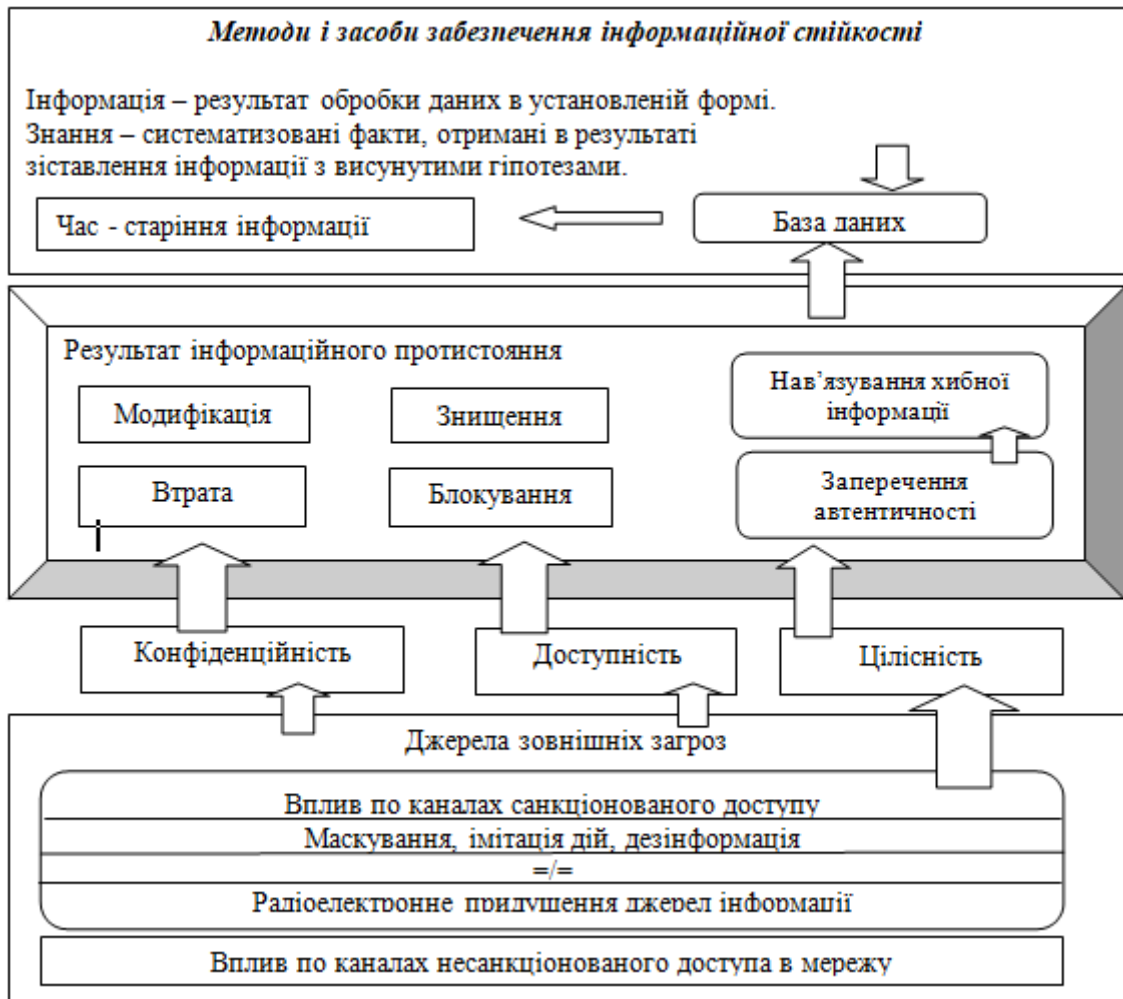


Рис 4.3.1.1.Схема забезпечення інформаційної стійкості при здійсненні АД

На фазовій площині цей процес буде відповідати руху з точки, координати якої визначаються значеннями показника інформаційної стійкості в поточний момент часу, в точку з координатами максимальної невизначеності обстановки (тривалої відсутності даних спостереження).

Відповідно до [24] далі будемо використовувати поняття структурної стійкості - стан системи, в якому при досить малих збуреннях її поведінку якісно не змінюється. Таким чином, в тому випадку, коли значення показника інформаційної стійкості буде перебувати в межах тієї області, де виконуються вимоги до своєчасності, достовірності та повноти інформації, нерівноважна система буде перебувати в стані інформаційної стійкості. Вважається, що після припинення дії постійного обурення відновлюється потік повідомлень про спостереження за обстановкою і система повертається в стан інформаційної стійкості.

Сталий (захищене) видання  $Z_1$  або нестійке (незахищене)  $Z_2$  стан АД задається на безлічі відібраних для спостереження властивостей інформації і визначається процедурою спостереження за заданим рівнем якості інформації.

В рамках створеної єдиної моделі передбачається послідовне проведення обчислень на двох приватних моделях:

- 1) моделі оцінки якості інформації за вимогами оперативності управління;
- 2) моделі оцінки якості інформації за вимогами повноти та достовірності інформації за умови виконання вимог щодо оперативності управління.

Як показано в роботах [3,24] область стійкості у всіх випадках розташовується "кутами назовні", вклинаючись в область нестійкості. Таким чином, для значень показника якості інформації, які знаходяться на кордонах областей, при малій зміні

параметрів ймовірніше потрапляння в область нестійкості, ніж в область стійкості. Це пояснюється тим, що для стійкого стану АД необхідне одночасне виконання вимог по повноті, достовірності та своєчасності інформації.

4.3.2. Модель інформаційної стійкості за вимогами оперативності управління.

Розглянемо модель інформаційної стійкості за вимогами оперативності управління, як модель оцінки співвідношення «поточний час реакції на зміну обстановки». Для практичного побудови такої моделі необхідно реєстрований рівень інформаційної стійкості АД пов'язати з оцінкою ризику в рішенні задач ОрПР. В даний час одним з усталених і рекомендованих способів ідентифікації та оцінки ризиків є метод СРАММ (ССТА Risk Analysis and Management Method), який був детально висвітлений в попередніх розділах. Представлена нижче модель являє собою диференціальне рівняння першого порядку, де змінної є координата точки в фазовій площині «перелік подій до моменту часу»- оперативне час», що дозволяє оцінити рівень ризику ураження. Траєкторія руху точки містить безперервні долі. Існують точки розриву, що свідчать про втрату ним неперервний контроль. Можливі траєкторії руху точки координат до досягнення неприйнятної рівня ризику наведені на рис 4.3.2.1. де розглянуті два варіанти траєкторій (з втратою і без втрати безперервності).

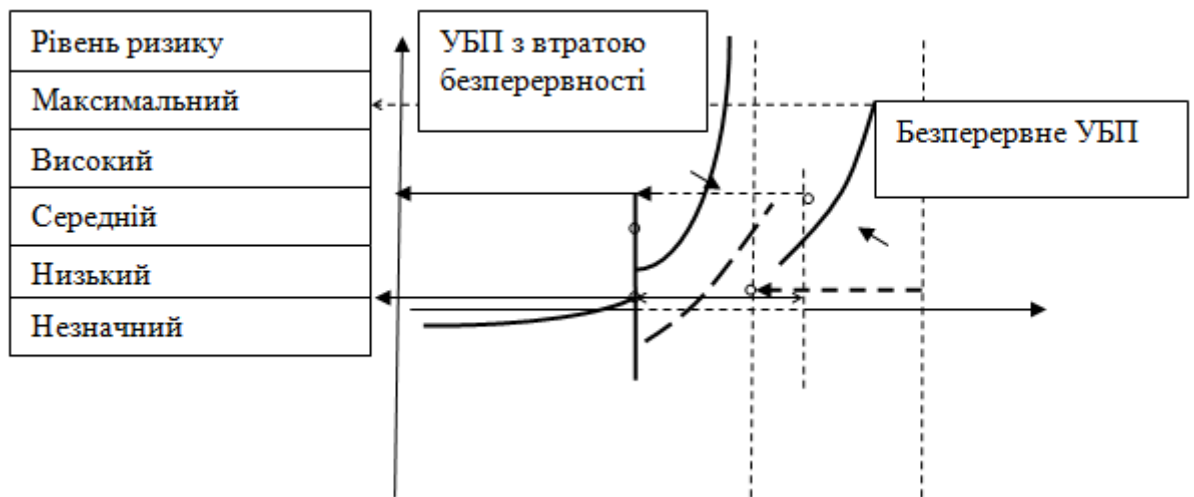


Рис.4.3.2.1. Варіанти опису функційної нелінійної залежності рівня ризику в визначеній ситуації від стану інформаційної стійкості..

При використанні зазначеної схеми введемо такі припущення. Будемо вважати, що загроза невиконання прийнятих УР і, як наслідок, його поразку зростають у міру зменшення часу. Це пов'язано з тим, що не вжиття заходів протидії у міру послідовного подолання відповідних рубежів веде до виникнення ОС вплоть до катастрофічної. Таким чином, вхідний вплив із зовнішнього середовища задається протікають у часі малими інформаційними приростами, в результаті яких відбувається безперервна зміна ступеня ризику не виникнення ОС. Визначимо обмежену область  $Z$  як простір станів, в якому встановлюються і виконуються вимоги на використання технічних засобів. Нехай в початковий момент часу  $t_0 \in T$  динамічна система знаходиться в деякому стані  $z^0$  всередині обмеженої області  $Z$ . Під дією механізму зміни станів динамічна система переходить зі стану  $z_0$  в інші стани  $z_t \in Z$  в моменти часу  $t > t_0$ , здійснюючи рух  $z(t)$ . На заданій множині незалежних змінних визначимо функцію  $f(t; t_0, z_0)$ , значення якої дозволяють оцінювати локальна зміна стану системи відносно точки  $z_0$ . Функція  $f$  безперервно диференціюєма по  $t$  ( $t > t_0$ ). Задамо переміщення системи в просторі станів диференціальним рівнянням виду

$$\frac{dz}{dt} = f(z, t)$$

Позначимо через  $f(z, t)$  функцію, яка за своїм фізичним змістом визначатиме швидкість виникнення ОС, в якій не виконуються вимоги до оперативності інформації. Така ситуація можлива при виникненні наступних подій:

1) через низьку оперативності надходження і обробки даних, які мають час реакції більше, ніж час протікання процесу;

2) через низьку достовірності інформації, що надходить неможливості запобігання ОС. Відповідно,  $z(t)$  визначимо як стан інформаційного потенціалу, під яким, з одного боку, будемо розуміти здатність автоматизованої системи своєчасно добувати, передавати і обробляти задану кількість інформації і, з іншого боку, здатність системи коригувати ці стану за результатами фіксованих подій. Сформульована постановка визначає вимоги до побудови моделі і вибору функції  $f(z, t)$ . Перш за все, створювана модель повинна дозволяти однозначно оцінювати вплив інформаційного забезпечення на рішення, що приймаються в динаміці розвитку процесу. Відомо, що диференціальне рівняння моделі (4.3.2.1.) має єдине рішення, якщо рівняння задовольняє умовам теореми Коші. В рамках такої моделі будемо вважати відомими характеристики початкового стану  $z(0) = z_0$  при  $t = 0$ , а функція  $f(z, t)$ , задана в деякій області, а також її приватна похідна  $df/dx$  повинні бути безперервними в цій області. Опис процесу вимагає врахування нелінійності при монотонній зміні змінної  $z$

в часі  $t$ . Уявімо вираз (4.3.2.1.) у вигляді [33]: 
$$\frac{dz}{dt} = kz^2$$

На графіку рис.4.3.2.1. пунктиром показаний відрізок кривої  $z(t)$ , якому відповідає період часу, коли не виконуються вимоги з інформаційної стійкості, тобто при відсутності контуру підвищення інформаційної стійкості системи протягом часу  $\Delta t$  відбувається втрата ним неперервний контроль. У прикладі, прийнята гіпотеза відповідає вибухоподібного зростання рівня ризику на завершальному етапі польоту ПС. Представлена форма нелінійної залежності реально визначає наростання загрози в динамічних системах при невиконанні вимог щодо інформаційної стійкості АД в результаті більш ефективних дій зовнішніх сил. При динамічних умовах розвитку подій ступінь загрози з боку противника постійно збільшується, так як вона наростає пропорційно досягнутому рівню [198-200].

4.3.3. Модель інформаційної стійкості за вимогами повноти та достовірності інформації. Далі розглянемо модель інформаційної стійкості за вимогами, які пред'являються до достовірності і повноти інформації за умови виконання вимог щодо оперативності управління. Взаємозв'язок між достовірністю інформації і реальним часом протікання процесу визначається швидкістю зміни ситуації, а також існуючими можливостями добування і обробки інформації заданого обсягу (її старіння). У зв'язку з важливістю протікання цих процесів необхідно встановити міру вимірювання достовірності інформації на виході системи (безпосередньо перед прийняттям управлінського рішення). Будемо вважати мірою вимірювання достовірності інформації [75] ймовірність такого події (або монотонну функцію цієї ймовірності), що реальна вихідна інформація збігається (в межах заданої точності) з деяким істинним значенням. При такому визначенні даного поняття, що відбуваються в системі зміни властивостей інформації, вважаються несуттєвими в діапазоні використовується шкали

оцінки достовірності інформації  $\delta D \leq \frac{1}{k}$  для заданого переліку спостережуваних елементів обстановки. При цьому система знаходиться в стані стійкої рівноваги, якщо параметри управління не змінюються в динаміці протікання процесу. Таким станом, є стан максимальної невизначеності обстановки, яка, наприклад, характеризується ймовірністю появи події дорівнює 0,5 при наявності двох можливих варіантів вибору. Введемо систему функціональних залежностей, що визначають динаміку протікання інформаційного процесу. Будемо вважати, що число елементів обстановки, що

надходять від системи спостереження і задовольняють вимогам достовірності, оцінюється коефіцієнтом

$$\eta_i = \frac{\Delta N}{N}, \quad 0 < \eta_i \leq 1$$

де  $\Delta N$  - число достовірно відображуваних елементів обстановки, доступ до яких 166 орган управління отримав за інтервал часу рівний  $\Delta t$ ,  $N$  - кількість одиниць інформації, які необхідні для ПР.

$N$  - загальна кількість елементів обстановки для ПР

$$\eta_i = \frac{\Delta N}{N}, \quad 0 < \eta_i \leq 1$$

ймовірність достовірного відображення обстановки

$\Delta N$  - відносне число елементів, достовірно характеризують обстановку.

$T$  - оперативність інформації Рівень відносного внеску кожного з-ого елемента обстановки на формування підсумкової величини комплексного показника є різним. У тому випадку, коли показники можуть бути ранжовані за ступенем значущості, як правило, використовується шкала Фішберна

$$\rho_i = 2 * \frac{N_i + 1}{N * (N + 1)}$$

Для моделювання процесів старіння та оновлення інформації введемо функцію  $V(x,t)$ , яка в окремому випадку описує процес асимптотического повернення системи до рівноважного стану при  $t$  з будь-якого нерівноважного стану. На рис.4.3.3.1. показаний варіант еволюції процесу в системі координат  $x$ - $p$ - $d$  з точки  $x$  ( $p_1 d_1$ ) в точку  $x$  (0; 0,5) за умови настання однієї з двох рівноймовірно результатів події. Старіння інформації відбувається в залежності від швидкості протікання процесу  $d_0$  з часовим інтервалом  $\Delta t$ :

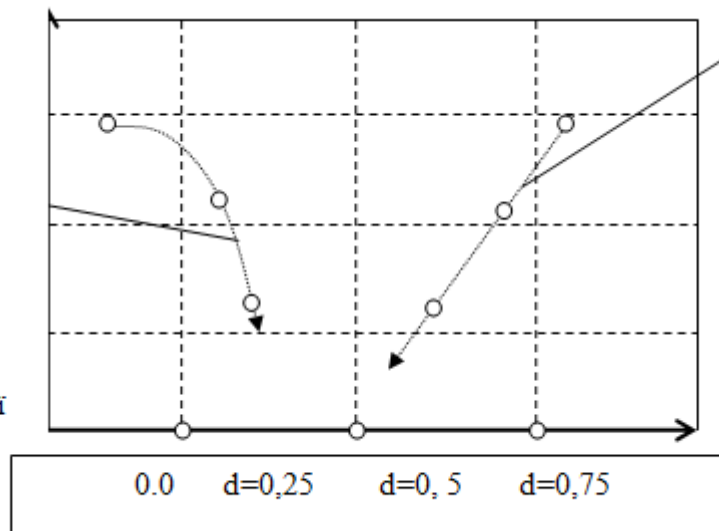
$$\psi(\eta, d) = \begin{cases} d_i = d_i + d_0 \Delta t \text{ при } d_i < 0,5 \\ d_i = d_i - d_0 \Delta t \text{ при } d_i > 0,5 \end{cases}$$

$$d = \frac{N \sum_i d_i}{N}; \eta = \frac{\Delta N}{N}, \quad 0 < \eta_i \leq 1$$

Вважається, що стан максимальної невизначеності обстановки характеризується значеннями вірогідності, рівними 0,5 і відповідно значенням повноти  $\eta_i = 0$  (наявність зони аттрактора).

$N$ -коефіцієнт повноти відображення повітряної обстановки

Траекторія, що відображає динаміку поступлення хибної інформації



Траекторія, що відображає динаміку старіння інформації

$D$ - достовірність параметрів

Рис.4.3.3.1. Область визначення функції  $V(x,t)$  оцінки якості інформації в динаміці зміни достовірності та повноти інформації

Перелік параметрів може бути ранжований за ступенем значущості  $k_i$  в тому випадку, коли рівень відносного впливу кожного  $i$ -ого елемента обстановки на її підсумкову оцінку є різним. Введемо також граничні умови  $G(a, b)$ , що розширюють область передкризового стану

$$-\left(\frac{a_1}{3}\right)^3 = x = \left(\frac{b_1}{2}\right)^2 > G(a_0 b_0) > -\left(\frac{a_2}{3}\right)^3 = x = \left(\frac{b_2}{2}\right)^2$$

Побудуємо модель оцінки якості інформаційного забезпечення автоматизованої системи з використанням складки і зборки Уїтні. Як показано на рис. 4.8 такий вибір дозволяє провести взаємопов'язане опис вибору плану дій R1 або R2 в залежності від розрахованого значення стану інформаційної стійкості

### $\psi(\eta, d) \text{ АСУ Кс}$

Як відомо [24], катастрофа типу збірки задається сімейством функцій, що залежить від двох керуючих параметрів  $a$  і  $b$  (в загальноприйнятих [3,4,24] умовних позначеннях)  $F(x, a, b)$  Зображений на рис.4.3.2.1. на площині керуючих параметрів  $(a, b)$  У графік функції  $F(x, a, b)$  містить основні елементи нелінійності, виявлені для цієї функції в тривимірному просторі з координатними осями  $x$ - $a$ - $b$ , а графік функції  $v(x, t)$  визначає координати траєкторії зміни якості інформації по всьому переліку елементів обстановки. у остаточному вигляді модель інформаційної стійкості формується в єдиній системі координат графіка потенційної функції  $F(x, a, b)$  графіка функції відображення динаміки зміни повноти і достовірності інформації  $v(x, t)$ , а також граничних умов  $G(a, b)$ . Фазовий перехід має місце, коли інтегральна крива  $V(x, t)$  перетинає сепаратриси, що свідчить про зміну фізичного стану (якості) інформаційного забезпечення АД. При суміщенні графіків потенційної функції  $F(x, a, b)$  і функції відображення динаміки зміни повноти та достовірності інформації  $v(x, t)$  весь простір параметрів  $(a, b) \in R^2$  розділяється на області, в яких в кожен поточний момент часу розраховане значення інтегрального показника інтерпретується як оцінка якості інформації. Області стійкості визначаються умовами, отриманими в результаті дослідження динамічних властивостей реальних систем управління. Обмежимо області зміни параметрів діапазоном  $-1 \leq a \leq +1$  і  $-1 \leq b \leq +1$  Будь-яка точка всередині області, що має форму збірки, визначає нелінійну залежність  $F(x, a, b)$  від параметрів  $(a, b)$ . В межах цієї області створюється басейн тяжіння, всередині якого існує один аттрактор (локальний мінімум) в околі критичної точки (для прийнятої системи обмежень значення параметрів  $a = 0, b = 1$ ). Фазовий перехід має місце, коли інтегральна крива  $V(x)$  перетинає сепаратриси. Сутність фазового переходу полягає в зміні фізичного стану системи інформаційного забезпечення АД.

- сепаратриси керуючих параметрів складається з точки на початку координат ( $a = 0, b = 0$ ) і лінії складки, координати якої визначаються

$$\left(\frac{a}{3}\right)^3 + \left(\frac{b}{2}\right)^2 = 0$$

- Поза цими областями вважається заданої лінійна форма залежності  $F(x, a, b)$  від параметрів  $(a, b)$ . Обурення функції  $F(x, a, b)$  в некритической точці не викликає якісних змін в її поведінці в околиці цієї точки. Таким чином, весь простір параметрів  $(a, b) \in R^2$  розділяється на три області:

1. Область рівноважного стаціонарного стану, де початкові умови представлені областю фазового простору. Будь-яка точка всередині області, що має форму збірки, визначає нелінійну залежність  $F(x, a, b)$  від параметрів  $(a, b)$ , що знаходяться за межами області збірки. В межах цієї області створюється басейн тяжіння, всередині якого існує один аттрактор (локальний мінімум) в околі критичної точки (для прийнятої системи обмежень значення параметрів  $a=0, b=1$ ).

2. Область слабо неравновесного нестійкого стану, яка задається граничною областю між двома сепаратриси (на рис.4.3.2.1. виділена пунктирними лініями).

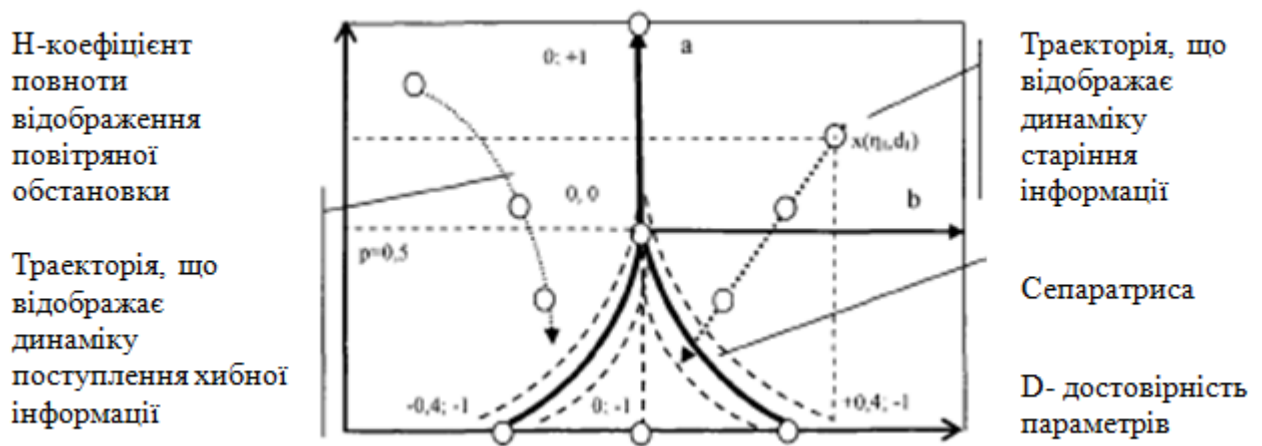


Рис 4.3.3.2. Область визначення потенціальної функції включаючи критичні значення функції, сепаратрицю, аттрактор.

У тому випадку, коли значення показника інформаційної стійкості потрапляють в нестійку нерівноважну область, моделюється хаотичне його зміна в межах встановленого діапазону. Вказана обставина пояснюється тим фактом, що флуктуації при підході впритул до кордону аномально зростають, що призводить до порушення умов закону великих чисел (флуктуації показників можна порівняти з їх середніми значеннями).

Область неравновісного стійкого стану, в яку вона переходить при досягненні певної відстані від стійкого стаціонарного стану в результаті оновлення та підвищення достовірності інформації. Стійкість забезпечується виконанням всіх встановлених функцій елементами системи управління. Відповідно до методології, викладеної в роботі [2,49,115], найбільш повне уявлення динаміки нестійких систем можливо в тому випадку, коли в її опис включається додаткова інформація: опис структури фазового простору на рівні розподілу ймовірностей знаходження системи в кожному стані. При описі фізичного процесу на імовірнісному рівні будемо виходити з очевидного положення, що під час відсутності періодичного оновлення інформації ми спостерігаємо необоротне рух до рівноважного стану. Аналогічним чином, будемо припускати, що в міру надходження нових повідомлень відбувається перерахунок достовірності відомостей по спостережуваних елементів повітряної обстановки. Таким чином, з урахуванням введення додаткової інформації ми отримуємо нове динамічне опис інформаційної стійкості, що дозволяє дати якісну оцінку поточного стану процесу управління (наприклад, "стійке", "ризиковане", "некероване").

4.3.4 Модель оцінки інформаційної стійкості в умовах деструктивних впливів. У більш загальному викладі моделі (по відношенню до розглянутої вище моделі) положення фігур фазового простору, які визначають стан інформаційної стійкості в процесі АД, залежить від трьох системних факторів :

- 1) інтенсивності впливів ОС;
- 2) інтенсивності реалізації функцій забезпечення БП при відображенні впливів ОС
- 3) передісторії впливів ОС в процесі АД.

Розглянемо дію зазначених чинників на всьому життєвому циклі АД (проекування, розробки, випробувань і т.д.) і сформулюємо завдання оцінки інформаційної стійкості в наступній постановці:

- на різних етапах життєвого циклу процесу забезпечення БП мають різний зміст, призводять до різних результатів, але безпосередньо проявляються на етапі експлуатації;

- витік, втрата і модифікація інформації на ранніх етапах життєвого циклу проявляється у виникненні в певний період часу точок біфуркації (значень параметрів



задачі, при яких з'являються альтернативні рішення), що вимагає врахування нелінійності;

- реалізація засобів і методів захисту формує режим стійкого функціонування системи (перехід від коливань і хаотичного поведінки до лінійної залежності помилки управління від значень параметрів інформації).

На схемі рис.4.3.3.2 показаний варіант застосування математичного апарату теорії катастроф і теорії біфуркацій у вигляді графічного відображення взаємозв'язку показників інформаційного протиборства і передісторії деструктивних впливів з показником інформаційної стійкості, що визначає умови вибору планів  $R_1$  і  $R_2$ .

Графічне відображення математичних перетворень дозволяють побудувати фазовий простір, координатами в якому служать положення і швидкості всіх точок формалізованого опису станів системи. Таке відображення процесу дозволяє дати наочне уявлення еволюції елементів обстановки. Положення фігур фазового простору, які визначають стан інформаційної стійкості в процесі експлуатації АД, в значній мірі залежить від успішності вирішення завдань інформаційної безпеки на ранніх етапах життєвого циклу (проекування, розробки, випробувань і т.д.). На діаграмі в лівій верхній частині рис. 4.3.3.2. значення змінної  $\psi$ , які характеризують якість інформаційного потенціалу АД, представлені як чинники впливу вибору гілок  $B$  або  $D$  при виникненні біфуркації в залежності від значень інтегрального показника передісторії деструктивних впливів протягом життєвого циклу  $\omega$  (вважається, що  $0 < \omega < 1$ ).

Зростання показника  $z$  в міру проведення успішних інформаційних атак на різних етапах життєвого циклу призводить до того, що розширюється область нестійкості і відповідно звужуються сфері сталого вибору планів  $R_1$  і  $R_2$ . В правій верхній частині Рис.4.3.4.1. представлено опис складкою Уїтні взаємозв'язку  $P(\psi)$ , яке відображає ступінь досягнення мети органом управління  $P$  в залежності від якості інформації  $\psi$ . Значення показників у діапазоні  $0 \neq P_1$  і  $P_2 \neq 1$  визначають відповідно галузі сталого вибору планів  $R_1$  і  $R_2$ . Діапазон  $P_1 \neq P_2$  відповідає області нестійкості, в якій можливий вибір будь-якого плану. Величина діапазонів  $0 \neq P_1, P_1 \neq P_2, P_2 \neq 1$  визначається дією двох зазначених вище факторів: зростання інтенсивності деструктивних впливів зрушує значення  $P_2$  вправо (звужує діапазон  $P_2 \neq 1$ ); відповідно підвищення ефективності системи інформаційної безпеки зрушує значення  $P_2$  вліво (розширює діапазон  $P_2 \neq 1$ ). значення величини  $P_1$  визначається змістом процесу інформаційного протиборства: при підвищенні в структурі деструктивних впливів ймовірності появи неправдивої інформації точка  $P_1$  зсувається по осі вправо. На діаграмі в лівій верхній частині рис. 4.3.3.2. значення змінної  $\psi$  характеризують інформаційну стійкість АСУ, на основі якої вибирається рішення.

Значення величин представлені як чинники впливу вибору гілок  $B$  (рішення  $R_1$ ) або  $D$  (рішення  $R_2$ ) при виникненні біфуркації в залежності від значень двох показників:

- показників інформаційного протиборства в реальному масштабі часу;
- інтегрального показника передісторії деструктивних впливів протягом життєвого циклу  $\omega$ .

При ефективно працюючій системі захисту, а також при ефективній системі збору та обробки відомостей інформаційна стійкість АД зростає. Зокрема, якщо інформаційна система сприймає зовнішні деструктивні дії при початкових значеннях інформаційного потенціалу, що перевищує значення  $\psi_2$ , то при виникненні біфуркацій з більшою ймовірністю вибирається гілку  $D$ . Зростання показника  $\omega$  в міру проведення успішних інформаційних атак на різних етапах життєвого циклу

призводить до того, що розширюється область нестійкості і відповідно звужуються сфері сталого вибору планів R1 і R2.

В лівому нижньому куті рис.4.10 показано сімейство кривих, що відображають рівень успішності інформаційних атак на різних етапах життєвого циклу. Зростання показника  $\lambda$ , по кривій  $Y_1$  свідчить про неефективність заходів інформаційної безпеки на ранніх етапах життєвого циклу, що створює умови для розширення області нестійкості, а також вибору гілки B при біфуркації на етапі експлуатації АД. Як показано в правій нижній частині рис.4.10, послідовне зниження успішності інформаційних атак до рівня кривої  $Y_2$  забезпечує при біфуркації найбільш ймовірний вибір гілки D. Формування бази знань для підвищення достовірності на етапі експлуатації АД відповідає односторонньому розширенню галузі сталого вибору плану R2, що на графіку верхній лівій частині рис.4.11 відіб'ється в вигляді повороту кривої  $\psi(\omega)$  з положення 1 в положення 2. Це відбувається тому, що система в сильно нерівноважному стані в інтересах забезпечення інформаційної стійкості ("виживання") набуває можливість сприймати відмінності, невідчутні в умовах рівноваги, і послідовно розвиватися, накопичуючи досвід практичного використання інформації для вирішення цільових завдань управління. У підсумку можна сказати, що в нижній частині рис.4.11 висвітлено історію результатів інформаційного протиборства попередніх етапах життєвого циклу, яка буде впливати на ефективність системи інформаційної безпеки на етапі експлуатації АД (у вигляді "поганою чи хорошою спадковості").

У загальному випадку для оцінки інформаційної стійкості з урахуванням передісторії розвитку процесу пропонується використовувати наступний узагальнений алгоритм:

1. Для кожного джерела інформації відповідно до існуючої передісторією експертами проводиться відбір однієї з кривих життєвого циклу  $Y_i$ .

2. В залежності від встановленого ступеня захисту інформації з урахуванням інтегрального показника передісторії деструктивних впливів протягом життєвого циклу  $\omega$  будується біфуркаційних крива  $\psi(p,d,s)=\varphi(\omega)$ .

3. За поточними значеннями якості інформаційного забезпечення АСУ  $\psi(p,d,s)=v(x,t)$  визначається стану системи:  $S_i$ : в стійкою або нестійкою області знаходиться вся система управління.

4. На кожному новому тимчасовому інтервалі формується черговий цикл обчислень  $s=s+1$ .

5. При  $s < L$  формується новий часовий інтервал  $t_{i+1} = t_i + \Delta t$  і здійснюється перехід.

6. Якщо  $s > L$ , то процес оцінки завершується. За результатами досліджень виділимо наступні заходи забезпечення інформаційної стійкості з урахуванням життєвого циклу АД:

Вирішення цього завдання створює необхідні умови ефективного функціонування системи захисту інформації на етапі експлуатації АД;

4.3.5. Модель відновлення інформаційної стійкості в умовах деструктивних впливів. Як уже зазначалося, час, повнота і достовірність подій є керуючі параметри механізму, який покладено в основу моделі оцінки та забезпечення якості інформації в процесі прийняття управлінських рішень. При моделюванні процесу відновлення інформаційної стійкості з урахуванням передісторії деструктивних впливів на всьому життєвому циклі будемо використовувати зазначені показники для вирішення завдання в такій постановці. Змістовний словник, що відображає семантику процесу, формує тезаурус системи  $\theta$ . У найбільш загальному вигляді, як показано в [2], величина тезауруса визначається різницею між ентропією системи  $\epsilon_0$  і її максимальним

значенням  $\varepsilon_{\max}$ . В окремому випадку, коли тезаурус складається з незалежних частин,  $\theta = \max(\theta_i)$  при  $i=1, \dots, n$ . Обсяг інформації, необхідної для опису змін, що відбуваються, як і тезаурус, визначається через ентропію. Якщо ентропія рана нулю, то, навіть не спостерігаючи за системою, ми завжди можемо сказати, в якому стані вона знаходиться. Будемо вважати, що процес відновлення інформаційної стійкості в умовах деструктивних впливів на всьому життєвому циклі характеризується наступними основними властивостями:

- динаміка процесу інформаційного протиборства викликає зміна тезауруса АД за двома напрямками. Перше з них пов'язане зі старінням не використовуваних знань, друге - з накопиченням і обробкою нових даних;

- моделювання динаміки змін, що відбуваються тезауруса АД вимагає врахування його вихідного стану перед початком експлуатації;

- зміст якісних змін тезауруса при обробці даних спостереження визначається видом функціональної залежності. Уявімо математичну модель оцінки інформаційного потенціалу в динаміці протікання процесу у вигляді нелінійного  $dx$   $x$  диференціального рівняння Ферхюльста  $dx/dt = rx(1 - x/K)$ . Розглянемо [5,14]

$$x_0 K e^{rt}$$

можливість використання рішення рівняння  $x(t) = \frac{K - x_0 + x_0 e^{rt}}{1 - x_0/K + x_0/K e^{rt}}$  для сукупної оцінки можливих значень оперативності та достовірності інформації при наступних обмеженнях:  $K \geq 0$ ,  $r = 1$ ,  $0 < x_0 < \infty$ . На рис. 4.3.4.1 представлений графік вирішення цього рівняння, як функція  $x(t)$  при різних варіантах опису базових знань у вигляді початкових значень  $x_0$ .

Для обчислень оцінок інформаційного потенціалу необхідно встановити поріг часу, який виділяється на обробку інформації в усьому циклі управління. Практичне застосування даного методу передбачає потім отримання експертних оцінок базового набору знань тезауруса в діапазоні  $0 < x_0 < 1$  і подальше обчислення величини, що характеризує якість інформації  $x(t) = I_{sem}$  на заданий період часу. Пояснимо фізичну сутність результатів моделювання.

Якщо в структурі повідомлень не зустрічається частина елементів обстановки, що містяться в описі тезауруса, то при початковому значенні  $x_0 > 1$  семантична складова інформаційного потенціалу системи з часом зменшується. Зазначене положення відповідає ситуації, в якій частина надлишкових знань не використовується для вирішення поставленого завдання і з часом застаріває.

2. Якщо початкове значення  $1 > x_0 > 1/2$ , то крива зростання інформаційного потенціалу являє собою експонентну криву з насиченням. Дана ситуація характеризується високим рівнем опису тезауруса системи і швидким відновленням інформаційного потенціалу на етапі експлуатації системи.

3. Якщо початкове значення  $x_0 < 1/2$ , то крива зростання інформаційного потенціалу і ймовірності вибору правильного рішення з урахуванням базового набору

$$t_0 = \frac{1}{r} \ln \frac{K - x_0}{x_0}$$

знань має точку перегину  $t_0$  управління при сильних обмеженнях по оперативності проходження повідомлень витягує незначна кількість інформації. Поведінка досліджуваної системи в першому і другому випадку визначається невідродженими критичними точками - максимумами і мінімумами функції однієї змінної  $x$ . У першому випадку (Рис. 4.3.4.2а) у всій області зміни величини  $x$  швидкість зміни  $dx/dt = f(x)$  позитивна,  $x$  збільшується і початкове відхилення  $x(t)$  від стану рівноваги з часом згасає. У другому випадку (Рис. 4.3.4.2б) графік функції  $x(t)$ , що представляє криву з насиченням, може бути представлений у вигляді функції  $x = P - C e^{-kt}$ , де  $C$  - довільна стала. Якщо  $x(0) = 0$ , то  $C = P x = P(1 - e^{-kt})$ . Застосування методу лінеаризації Ляпунова для одного автономного диференціального рівняння першого порядку дозволяє оцінити даний стан рівноваги як стійке за визначенням. Точка

перегину (Рис. 4.3.4.2в) є одним з видів критичних точок, в яких похідна гладкою речової функції звертається в нуль.

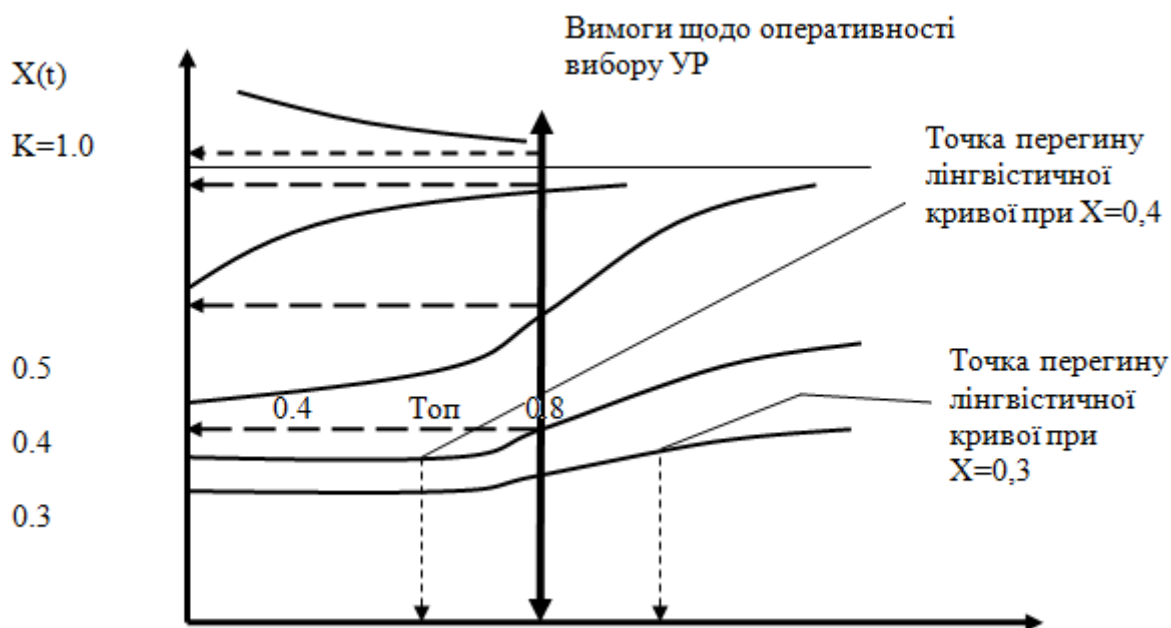


Рис. 4.3.4.1 Варіанти накоплення апріорних даних та подальшої обробки даних спостережень керуючого процесу при заданих вимогах щодо оперативності вибору рішення.

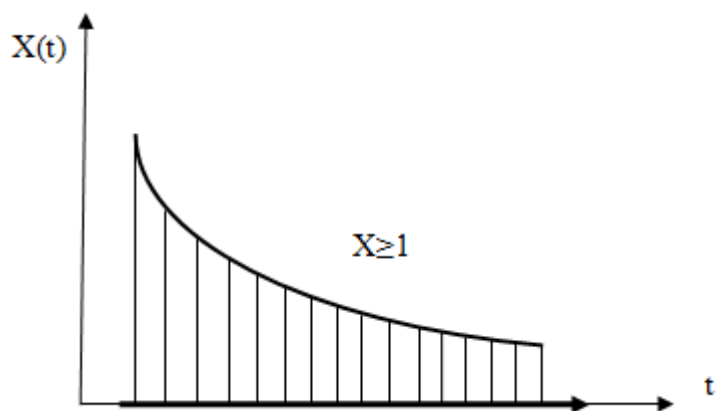


Рис. 4.3.4.2 Визначення стійкості поведінки системи відносно стаціонарного стану по графіку функції  $f(x)$

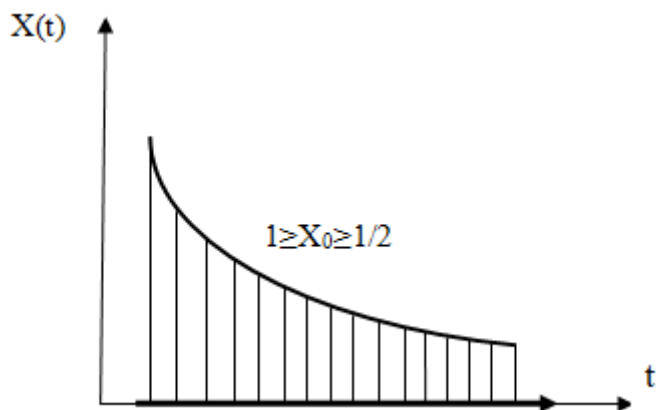


Рис. 4.3.4.2а Визначення стійкості поведінки системи відносно стаціонарного стану по графіку функції  $f(x)$

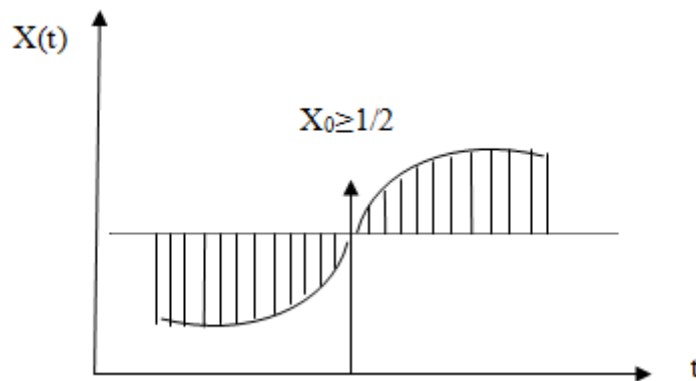


Рис. 4.3.4.2б Визначення стійкості поведінки системи відносно стаціонарного стану по графіку функції  $f(x)$

Класифікація типів критичних точок є одним з важливих елементів аналізу в теорії катастроф. Так, наприклад, лема Морса визначає "хороші" критичні точки, які володіють важливою властивістю стійкості. Це властивість в роботі [1] характеризується, як "збереження типу при малих збуреннях". Проведений аналіз [118] показує, що опис процесу нелінійним диференціальним рівнянням Ферхюльста визначає наявність нестійких станів в точці перегину, з яких система виводиться слабкими інформаційними впливами. Наявність нестійкості, властивої розвитку будь-якої досить складної системи, не дозволяє повністю передбачити її поведінку на тривалий період часу. Однак виявлений тип нестійкості при даному описі процесу дозволяє встановити існування двох атракторів (двох притягують множин), до яких може прагнути зображає точка системи з плином часу. У розглянутій методології проведення оцінок прийнята гіпотеза про те, що збільшення кількості базових елементів і зв'язків тезауруса призводить до підвищення стійкості системи від цілеспрямованого інформаційного впливу. Динаміка диференціального рівняння Ферхюльста дозволяє також враховувати ефект зайвої деталізації в описі тезауруса, що в кінцевому підсумку може призвести до інформаційної нестійкості системи через наявність протиріч в моделі. При математичному описі цього ефекту варіюється величина  $\gamma$ . Коли параметр швидкості росту числа оброблюваних параметрів  $\gamma$  в математичній моделі стає більше 2, коливання все більш ускладнюються, процес приходять до стійким до періодичних коливань.

4.3.6. Модель розрахунку критерію оцінки рівня безпеки польотів з урахуванням розміру збитку. Розробка нового підходу до оцінки рівня безпеки польотів (БП) заснована на використанні моделей 2- і 3-вимірних оцінок ризику в ситуаціях, обумовлених ризиковою подією  $\tilde{R}$  з однією або двома властивостями[2]

$$\tilde{R} = \{\mu_1, \tilde{H}_R / \omega\} \text{ або } \tilde{R} = \{\mu_1, \mu_2 \tilde{H}_R / \omega\}$$

Де  $\mu_1$  - міра ризику 1-го роду (невизначеність або випадковість появи негативного результату - ступінь ризику);,  $\tilde{H}_R$  міра наслідків або збитків (ціна або величина ризику),  $\mu_2$  міра (функція) ризику 2-го роду, пов'язана зі структурною складністю подій, використовується як додатковий показник, що характеризує небезпеку, на яку наражається система в залежності від її структури;  $\omega$  умови досвіду або ситуація при експлуатації системи (клас безпеки або модель системи). Формула (2) за моделями ризиків носить теоретичний характер і відповідає загальній концепції Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) для критичних (вироджених) випадків при подіях типу катастроф, що відбуваються з імовірністю "майже нуль". Надалі будемо використовувати тривимірну оцінку ризикових подій. Представлена формула цілком відповідає усталеній практиці ІКАО з оцінки ризику і

призначенням прийняттого ризику через величину "числа катастроф", що припадають на 1 млн пасажирів. Сформульована проблема є вкрай важливою, так як головним напрямком діяльності ІКАО є забезпечення безпечного та ефективного розвитку системи міжнародного повітряного транспорту.

Проте, методи і результати аналізу безпеки польотів багатьох провідних міжнародних організацій в одних і тих же регіонах істотно розрізняються.

Проте, методи і результати аналізу безпеки польотів багатьох провідних міжнародних організацій в одних і тих же регіонах істотно розрізняються.

Крім того, існуючі критерії та показники оцінки безпеки польотів, як абсолютні (кількість авіаційних подій або катастроф), так і віднесені до обсягу транспортної роботи (нальоту годин, кількості польотів, кількості перевезених пасажирів, кілометражу і т.п.) і не є повною мірою універсальними та не можуть достатньо об'єктивно оцінювати стан безпеки польотів як в окремих державах, так і в регіонах світу.

Додатково до цього є доцільним розробити новий критерій БП, що враховує пасажиромісткість повітряного судна, виживаємість пасажирів при авіаційній події, рівень (ризик) потенційної небезпеки на літаках типу аеробусів і літаках малої пасажиромісткості і т.п.

Нове формулювання поняття безпеки польотів, наведене в керівництві ІКАО (Doc 9859) від 2009 та прийняте світовою спільнотою, включає терміни "ризик", "школа" і "збитки", що вимагає створення процедури оцінки рівня безпеки польотів, заснованої на обліку не тільки фактичної, але і потенційної небезпеки авіаційних подій (прогнозування) [1].

Це повністю відповідає ідеології ІКАО, де даються коефіцієнти числа катастроф віднесені (нормовані) до числа перевезених пасажирів.

У разі тривимірних оцінок величини ризику, для випадку коли  $\square_2 = 1$  при  $\square_1 = 0$ , необхідно розраховувати тільки сумарний збиток від трагічних подій.

З урахуванням викладеного, критерій збитку, що співпадає за змістом з трізнавидом значення рівня ризику в 3-вимірній схемі має вигляд

$$K_y \approx \tilde{R}_*(\mu_2, H_R / \omega_0, \mu_1 = 0)$$

При цьому  $K_y$  може бути задана наступним чином

$$K_y = \sum_{i=1}^{k_i} \frac{E_i}{N_{\Sigma}} \text{ -інтегрально}$$

$$K_y = \sum_{i=1}^{k_i} \frac{E_{Li}}{N_{Li}} + \sum_{j=1}^{k_j} \frac{E_{Dj}}{N_{Dj}} \text{ -диференційовано}$$

де перша сума (L) дає складову коефіцієнту збитку (витрат) безпосередньо від катастроф, друга сума (D) визначає величини фінансових втрат на компенсацію наслідків від значущих інцидентів,  $\tilde{R}_*$  - величина ризику для нового критерію.

Новий критерій  $K_y$  визначається з урахуванням тяжкості збитків шляхом розрахунку диференційованих страхових виплат за тарифікатором Лойда.

При цьому застосовуються частки обов'язкових страхових виплат  $D_{Si}$  за ознаками тяжкості шкоди:  $D_{S1}$  - виплата при наявності людських жертв;  $D_{S2}$  - виплата при виявленні поранених;  $D_{S3}$  - виплата за збитки третіх осіб;  $D_{S4}$  - компенсація вартості втраченого повітряним кораблем (ПК).

У цьому випадку додатково проводить пропорційно тяжкості шкоди за допомогою коефіцієнтів  $\lambda_i$  по кожній нормі  $D_{Si}$ . Формула для розрахунку нового коефіцієнта збитку має вигляд

$$K_{y^*} = \frac{K_y}{N_N} \sum_{r=1}^{n_k} \sum_{i=1}^4 D_{Si}^{(r)} K_i^{(r)}$$

де  $r$  - номер катастрофи;  $n_k$  - число розглянутих катастроф,  $i$ -номер коефіцієнту.

Кожний із показників можна використовувати окремо, щоб установити відмінності в масштабах понесених збитків при інцидентах з ПК.

У формулах всі компоненти зведені до календарного періоду  $T$  (наприклад,  $T=1$  рік), число переміщених пасажирів визначається в цілому для заданої авіатранспортної системи (регіону, країни, континенту і т.п.) в повній відповідності з концепцією ІКАО.

Виходячи з вищесказаного, додатково пропонується нова методика розрахунку якісних поправочних коефіцієнтів, яка заснована на використанні нормативних коефіцієнтів, що враховують страхові виплати за завдані збитки від авіаційної події. Виплати можна оцінити за офіційною статистикою збитків при відомих катастрофах, наприклад, по Лойду.

Для приведення нормативних значень до спільного знаменника необхідно за допомогою перевідних коефіцієнтів привести фактичні збитки до нормативів, установлених відповідними вимогами Монреальської Конвенції цивільної авіації (1998р) тобто ввести коефіцієнти  $\lambda_i$  у вигляді.

$\lambda_1$  коефіцієнт, який пропорційний страховим виплатам за загибель пасажирів і членів екіпажу

$\lambda_2$  коефіцієнт, пропорційний страховим виплатам за поранених авіапасажирів і членів екіпажу

$\lambda_3$  коефіцієнт, який пропорційний страховим виплатам за шкоду, заподіяну третім особам;

$\lambda_4$  коефіцієнт, який пропорційний страховим виплатам за пошкоджене (або втрачене) повітряне судно;

$\lambda_{new}$  коефіцієнт приведення у відповідність обов'язкових страхових виплат призначених Варшавською Конвенцією і деякими Протоколами, до норм Монреальської Конвенції на період від 1998 р.

За допомогою запропонованої методики можна кількісно оцінити рівень безпеки польотів за вказаний період часу, при польотах на літаках регулярних і чартерних перевезень, а також на вертольотах і літаках малої авіації. Це дає можливість отримати комплексну й об'єктивну характеристику рівня безпеки польотів у масштабах окремої держави чи регіону.

## 5. НЕЧІТКІ ІНСТРУМЕНТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАРАНТОВАНОГО РІВНЯ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ

**5.1 Методика побудови комбінованих нечітких Байєсовських мереж оцінки для можливості виникнення ризику. Нечітка продукційна модель визначення ризику.**

Розробка моделі управління ризиками на базі нечітких продукційних мереж вимагає використання математичного апарату операцій, визначених на нечітких множинах [48], [74], [82], [84], [85], [95], [122].

Відповідно до [11], [46], [51] нечітка продукційна модель (НПМ) може бути представлена в наступному вигляді:

$$(i) : Q; P; A \Rightarrow B; S; F; N$$

де  $(i)$  - позначення правила нечіткої продукції;  $Q$  - сфера застосування нечіткої продукції, яка характеризує предметну область нечіткої моделі;  $P$  - умова застосування (активізації) ядра нечіткої продукції;  $A \Rightarrow B$  - ядро нечіткої продукції;  $A$  - умова ядра (антецедент);  $B$  - висновок ядра (консеквент);  $\Rightarrow$  - знак логічного секвенції (проходження);  $S$  - метод або спосіб визначення кількісного значення ступеня істинності висновку ядра, який визначає алгоритм нечіткого виведення в продукційній нечіткої моделі;  $F$  - коефіцієнт визначеності або впевненості нечіткої продукції, який визначений на інтервалі  $[0,1]$  і відповідає вагового коефіцієнту нечіткого продукційного правила;  $N$  - постулюєм продукційного правила, яке визначає дії і процедури, що виконуються в разі реалізації ядра продукції. Нечітка продукція може бути надана в наступному вигляді:

Якщо  $x \in A$ , то  $y \in B$ ,

де  $x$  - вхідна змінна,  $x \in X$ ;  $X$  - область визначення антецедента нечіткого правила;  $A$  - нечітка множина, певне на  $X$ ;  $\mu_A(X) \in [0,1]$  - функція належності непарної безлічі  $A$ ;  $y$  - вихідна змінна;  $Y$  область визначення консеквента нечіткого правила;  $B$  - нечетка безліч;  $\mu_B(X) \in [0,1]$  - функція приналежності нечіткої безлічі  $B$ .

Функція приналежності для нечіткої множини  $B$  визначається за правилом композиції:

$$\mu_B(y) = \sup_{x \in X} \{T(\mu_A(x), \mu_R(x, y))\}$$

де  $\sup$  - операція визначення верхньої межі множин елементів;  $T$  - операція  $T$ -норми;  $\mu_A(X)$  - функція належності нечіткої множини  $A$ ;  $\mu_R(x, y)$  - функція належності нечеткого бінарного відношення  $R \in X \times Y$ .

При моделюванні проектних ризиків, для обчислення нечіткої імплікації  $R: A \rightarrow B$ , застосовується класична нечітка імплікація [57]:

$$\mu_R(x, y) = \max \{ \min [\mu_A(x), \mu_B(y)], [1 - \mu_A(x)] \}$$

В дисертаційному дослідженні використовуються наступні типи функцій належності [76]:

- трикульні;
- трапецієвидні;
- Z-образні;
- S-образні;
- П-образні.

Дані ФН мають аналітичне представлення у вигляді деякої математичної функції, що спрощує відповідні числові розрахунки.



Треугольна функція належності у загальному вигляді задається аналітичним виразом у вигляді:

$$f_{\Delta(x,a,b,c)} = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}$$

где  $a, b, c$  -числові параметри, упорядковані відносною  $a \leq c \leq b$  та маючи свободні значення. Функція належності породжає нормальне випукле унімодальну нечітку множину з носієм  $(a, d)$ , границями  $(a, c/\{b\}$ , ядром  $\{b\}$  та модою  $b$ .

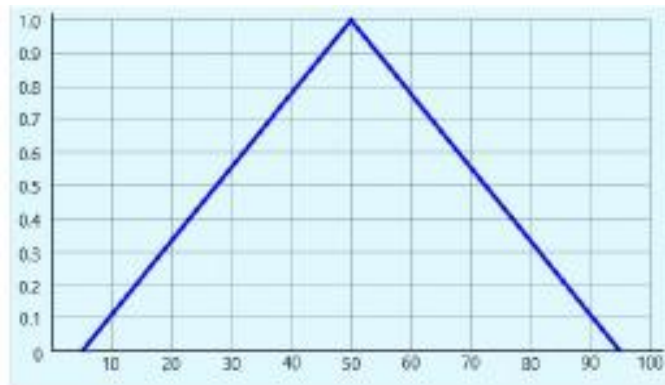


Рис. 5.1.1. Треугольна функція

Трапецеїдальна функція належності у загальному випадку має вигляд:

$$f_{T(x,a,b,c,d)} = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases}$$

где  $a,b,c,d$  —числові параметри, які приймають свободні дійсні значення та упорядковані відношенням  $a \leq b \leq c \leq d$ , функція належності породжає нормальну випуклу нечітку множину з носієм – інтервалом  $(a, d)$ , границями  $(a, b) \cup (c, d)$ , ядром  $\{b, c\}$ .

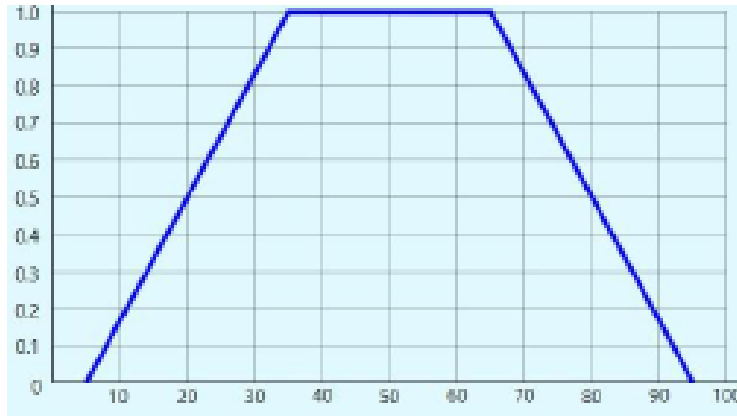


Рис. 5.1.2. Трапецієдальна функція

Z-образна функція, яка представлена у вигляді z-образної кривої, та у загальному вигляді задається виразом:

$$f_{z_i}(x, a, b) = \begin{cases} 1, & x < a \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{x-a}{b-a} \pi\right), & a \leq x \leq b \\ 0, & x > b \end{cases}$$

де  $a, b$  - числові параметри, які характеризують *сплайн-функцію*, причому повинно виконуватися умова  $a < b$ .

$$f_{S_i}(x, a, b) = \begin{cases} 1, & x < a \\ 1 - 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2\left(\frac{b-x}{b-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} < x < b \\ 0, & b \geq x \end{cases}$$

де  $a, b$  - числові параметри, причому повинно виконуватися умова  $a < b$ . Дані функції належності пороздають нормальні випуклі нечіткі множини з ядром  $[b + \infty)$ , та носієм  $(a + \infty)$

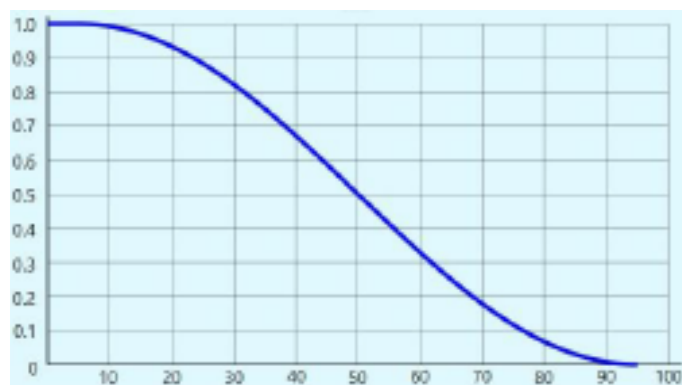


Рис. 5.1.3. Z-образна функція

S-образна функція належності у загальному вигляді має вигляд:

$$f_{S_i}(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{x-b}{b-a} \pi\right), & a \leq x \leq b \\ 1, & x > b \end{cases}$$

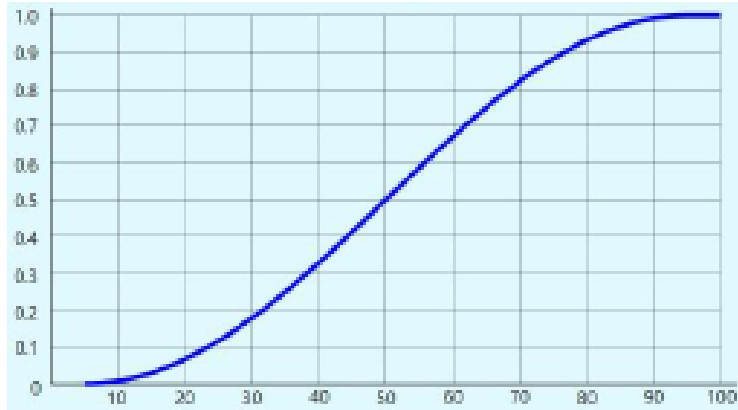


Рис. 5.1.4. S-образна функція

где  $a, b$  - числові параметри, характеризуючі *сплайн-функцію*, причому повинно виконуватися умова  $a < b$

Сплайн функція може бути задана аналітичним виразом:

$$f_{S_i}(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, & a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{b-x}{b-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} < x < b \\ 1, & b \leq x \end{cases}$$

де  $a, b$  - деякі числові параметри, приймаючі произвольні дійсні значення впорядковані відношенням:  $a < b$ . Данні функції належності породжують нормальні випуклі нечіткі множини з ядром  $[b, +1)$  та носієм  $(a, +1)$ .

П-образна функція належності в загальному випадку має вигляд:

$$f_{\Pi_i}(x; a, b, c, d) = f_S(x; a, b) \times f_z(x; c, d)$$

де  $a, b, c, d$  - числові параметри, характеризуючі *сплайн-функцію*, причому повинно виконуватися умова  $a < b < c < d$ , а знак «X» означає обычное арифметичне произведение значень відповідних функцій. Цей тип функцій належності породжує нормальні випуклі нечіткі множини з носієм  $(a, d)$  та ядром  $[b, c]$ .

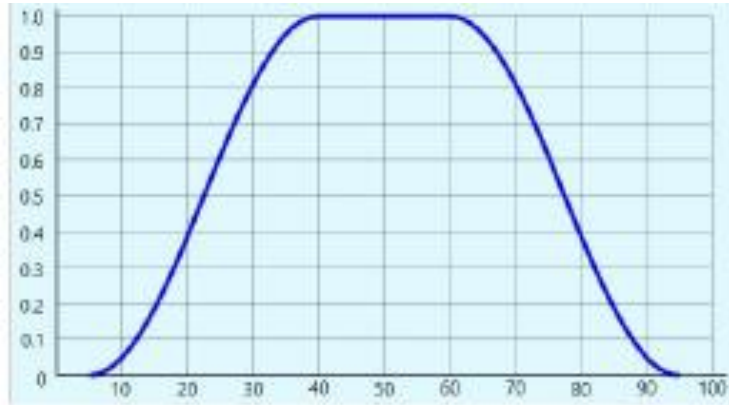


Рис. 5.1.5. П-образна функція

В якості основних способів нечіткого виведення висновків для НПМ використовуються прямий і зворотний висновок [96], [124]. В основі прямого виведення лежить правило виведення (fuzzy modus ponens), а зворотний спосіб нечіткого виведення ґрунтується на правилі виведення (fuzzy modus tollens). Модель управління проектними ризиками базується на використанні нечітких продукційних мереж а нечітке причинно-слідче відношення між антецедентом і консеквентом задається у вигляді нечіткої продукції (2.2).

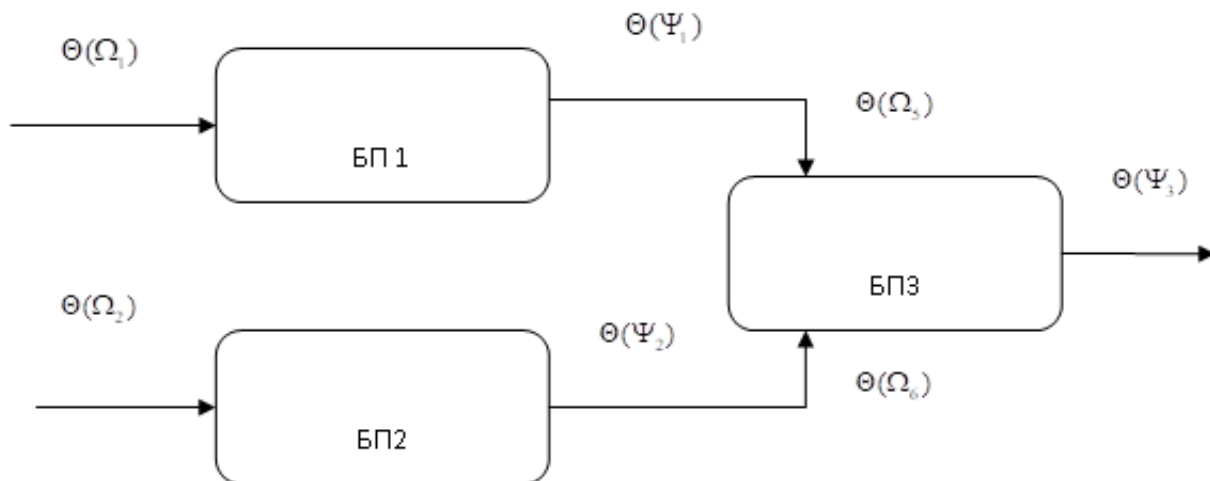


Рис 5.1.6. – Нечітка продукційна мережа

В [44], [46], [47] наводиться опис нечіткої продукційної моделі оцінки ризиків, для побудови якої необхідно сформулювати безліч  $X = \{x\} j = ji$  характеризующе фактори ризику, і безліч  $Y = \{y\} j = 1, m$ , характеризує показники ризику різних областей проекту. У НПМ визначені 30 вхідних лінгвістичних змінних, 17 вихідних лінгвістичних змінних, а також модель містить 17 бази правил. Запропонована модель оцінки ризиків послужила основою для побудови нечіткої продукційної моделі управління ризиками.

Аналіз літературних джерел [3], [6], [35], [36], [53], [58], [107], [113], [121] і думки експертів - провідних фахівців консалтингових організацій в області створення і впровадження інформаційних систем в умовах невизначеності, дозволив систематизувати і згрупувати показники ризику проектів ІС, а також виявити реакції на виникаючі негативні події

Для побудови нечітких моделей управління ризиками сформуємо множину, які характеризують показники ризику -  $\Omega = \{\Omega_i\}, i = 1, n$ , та множину, яка характеризує методи реагування на ризики -  $\Psi = \{\Psi_j\}, j = 1, m$ .

При заданні вхідних лінгвистичних змінних, які характеризують ризики в процесі авіаційної діяльності  $\Theta$ , (таблиця 5.1.1), введемо наступні терм-множини, які визначають рівні показників ризику:  $m_1$ . низька ймовірність ризику;  $m_2$ . дуже низька ймовірність ризику;  $m_3$ . середня ймовірність ризику;  $m_4$ . висока ймовірність ризику;  $m_5$ . дуже висока ймовірність ризику.

Таблиця  
5.1.1

Визначення	Характеристика
$\Theta(\Omega_1)$ -досягнення мети безпеки	Ризик з'являється в тому випадку, якщо мета не в повному обсязі відповідають цілям і задачам організації
$\Theta(\Omega_2)$ -управлінський	Ризик виникає через некваліфіковані рішення керівництва при реалізації проекту ІС
$\Theta(\Omega_3)$ - об'єм,інтенсивність	Ризик з'являється в тому випадку, проект заважає детально проаналізувати кожен етап робіт, забезпечити взаємодію учасників і організацію робіт
$\Theta(\Omega_4)$ -взаємодія з замовником	Ризик проявляється при узгодженні з замовком більшості проектних документів, змін в функціональності системи
$\Theta(\Omega_5)$ -компетентність персоналу	Ризик з'являється, коли в команді розробників відсутні або недоступні фахівці, що володіють необхідною компетенцією
$\Theta(\Omega_6)$ -нові технології	Ризик з'являється, коли в проекті необхідно використовувати нові програмно-апаратні, розподілені, мережеві технології, нові алгоритми, обчислювальні методи
$\Theta(\Omega_7)$ -архітектурний	Ризик з'являється, коли архітектура не забезпечує стійкості проектних рішень, яка проявляється в пристосованості до можливих змін вимог
$\Theta(\Omega_8)$ -технічний	Ризик з'являється, коли важко реалізувати технічні вимоги до проекту
$\Theta(\Omega_9)$ -політика та стандарти	Ризик з'являється, коли в організації не приділяється уваги політиці та стандартам безпеки
$\Theta(\Omega_{10})$ -продуктивність	Ризик забезпечення належної продуктивності виробництва
$\Theta(\Omega_{11})$ - доступність	Ризик забезпечення належної доступності виробництва
$\Theta(\Omega_{12})$ - надійність	Ризик забезпечення належної надійності виробництва
$\Theta(\Omega_{13})$ безпека	Ризик забезпечення належної безпеки виробництва
$\Theta(\Omega_{14})$ -програмно-апаратний рівень захисту	ТЗ. Н - задовільна, для забезпечення начально рівня захисту; З - достатня, для базової інформаційного захисту; В - повністю відповідає рівню конфіденційно -сті інформації
$\Theta(\Omega_{15})$ -рівень організаційного захисту	ТЗ. Н - слабке планування і відсутність моніторинг вразливостей; З - планування і моніторинг вразливостей проводяться нерегулярно; В -

	своєчасне планування і мо-ніторинг вразливостей
$\Theta(\Omega_{16})$ -рівень правового захисту	T3. Н – неповна документація; С – недостатньо детальна документація; В – документація повна та синхронізована
$\Theta(\Omega_{17})$ -мотивація джерел загроз	T5. ОчН - відсутен; Н – рідке проявлення зацікавленості; С – вповні може зацікавити; В – майже всього, зацікавиться; ОчВ – обов'язково зацікавиться
$\Theta(\Omega_{18})$ -можливість джерел загроз	T5. ОчН – не має; Н – незначний рівень оснащеності; С - середній рівень оснащеності; В – достатньо великий рівень оснащеності; ОчВ - ИУ має значні можливості T5. ОчН – відкрита інформація.
$\Theta(\Omega_{19})$ -ринкова вартість інформаційного ресурсу	Н - IP незначна цінність; С – комерційна таємниця; В – висококонфіденційні дані; ОчВ – катастрофічна цінність для організації-рівень стратегічного планування
$\Theta(\Omega_{20})$ -об'єм даних в IP організації	T5. ОчН – вкрай мала частина; Н - менша частина; С - половина IP; В – велика частина ОчВ – повний об'єм И

Можливі методи, які дозволять знизити впливу негативної події на проект наведені в таблиці 5.1.2

Таблиця  
5.1.2

Визначення	Вид терм-множин та характеристика дій
$\Theta(\Psi_1)$ -План проекту	$\Psi_{3low}$ - провести додаткове вивчення предметної області проекту; $\Psi_{3low}$ - провести ранжування (пріоритезацію) вимог із залученням зовнішніх експертів; 3 - визначити мінімальний набір функцій системи; В - залучити додаткові ресурси замовника для аналізу вимог; ОВ - провести зовнішній аудит вимог до системи.
$\Theta(\Psi_2)$ -Менеджмент проекту	T5. ВІН - розробити систему підвищення мотивації персоналу; Н - провести деталізацію стадій і етапів проекту; 3 - призначити відповідальну особу за контроль якості виконання проекту; В - визначити профіль стандарту використовуваного в проекті (ISO 9001, TickIT, SEI SW-CMM); ОВ - залучити незалежного менеджера проекту.
$\Theta(\Psi_3)$ -Технічне завдання	T5. ВІН - виконати більш детальну деталізацію бізнес-процесів; Н - впровадити менш складні бізнес-процеси; С- виконати планування резервів, страхування найбільш вразливих зон проекту; В - відмовитися від реалізації деяких функцій системи; ОВ - розробити альтернативний сценарій реалізації проекту.
$\Theta(\Psi_4)$ -Проректування	T5. ВІН - залучити експертів-консультантів предметної області; Н - залучити співробітників з боку замовника в проектну групу; 3 - провести аудит архітектури та проектних рішень; В - використовувати аутсорсинг окремих частин проекту (при нестачі необхідних

	фахівців); ОВ - провести незалежне рецензування всієї
$\Theta(\Psi_5)$ - Розробка	Т5. ВІН - провести детальне документування і незалежне рецензування програмного коду ІС; Н - залучити додаткових співробітників в групу розробників; З - використовувати апробовану технологію / платформи; В - застосувати розширене прототипування програмних рішень; ОВ - провести
$\Theta(\Psi_6)$ - Тестування	Т5. ВІН - підвищити ступінь покриття тестовими сценаріями функціональності ІС; Н - розробити найбільш ймовірні тестові сценарії; З - розробити автоматизовані тести для користувача інтерфейсу; В - здійснити поставку тестових проміжних версій кінцевим користувачам для їх оцінки; ОВ - створити групу оцінки безпеки
$\Theta(\Psi_7)$ - Впровадження	Т5. ВІН - удосконалити (деталізувати) керівництво користувача; Н - провести додаткове навчання кінцевих користувачів; З - залучити експертів для контролю якості реалізованого проекту; В - створити систему зворотного зв'язку; ОВ - удосконалити

Як було викладено в попередньому розділі, на початкових етапах дослідження процесу управління ризиками цілком допустимо використання типових (L-R) - функцій трикутного і трапецеїдального типу, конкретний вид яких може змінюватися відповідно до отриманих експериментальних даних, при уточненні моделі можливо використання Z-образних, S-образних і П-образних сплайн функцій.

Формування баз нечітких продукційних правил являє собою собою аналіз і дослідження вхідних і вихідних залежностей, а також обробку і формальне подання емпіричних знань експерта в досліджуваній області за схемою «Якщо ... То ...», наведено нижче

Оскільки розробка моделей аналізу Пріска на базі нечітких продукційних мереж вимагає використання математичного апарату операцій, визначених на нечітких множинах, то був розглянутий загальний вигляд математичної моделі нечіткого виведення. Для кожної предметної області були розроблені набори вхідних і вихідних лінгвістичних змінних нечітких моделей, визначені терм-множини, а також бази нечітких продукційних правил. Запропоновані НПМ дозволяють зняти обмеження на кількість врахованих вхідних змінних і інтегрувати як якісні, так і кількісні підходи аналізу ризиків.

Аналіз існуючих підходів до оцінки ризиків дозволив зробити висновок, що широке застосування отримали інструменти на основі нечіткої логіки, однак, як нечіткий логічний висновок, так і байєсовські мережі мають ряд обмежень при моделюванні й аналізі ризиків. Основне обмеження використання методів нечіткого логічного висновку в цій сфері заключає в складності отримання результатів зворотнього висновку. Підхід, оснований на нечіткому логічному висновку, дозволяє визначити значення вихідних змінних по відомим значенням вхідних змінних, але не навпаки. Так, наприклад, часто виникає завдання, коли вихідними даними для аналізу є імовірнісні наслідки ризику, а результатом - ймовірність виникнення відповідної несприятливої події, що приводить до негативних наслідків. У зв'язку з цим необхідно вирішити актуальну задачу розробки ефективних інструментів аналізу та управління ризиками на основі нечітко-логічних методів і байєсовських моделей, яка має істотне значення для гарантованого підтримання рівня безпеки польотів на допустимому рівні, визначеному стандартами ІСАО.

Байєсовські мережі засновані на імовірнісному підході і здатні найбільшою мірою застосовувати інформацію, що надходить з навколишнього середовища та для

досягнення максимального ефекту використовується для оцінки ймовірності результатів апріорний розподіл даних [9]. Байєсовська мережа моделює причинно-наслідкові зв'язки на основі аналізу ймовірнісних співвідношень вхідних даних і результатів та дає можливість побудувати моделі конкретних ситуацій, що включають невизначеність у визначеному сенсі.

Оснoву Байєсовської мережі становить формула Байєса для розрахунку апостеріорних ймовірностей несумісних подій  $Y$ , на основі заданих апріорних ймовірностей [11]:

$$P(Y_i|X) = \frac{P(Y_i) \times P(X|Y_i)}{P(X)}$$

Сукупність ребер, що описують всі маршрути між певними двома вершинами, визначає умовної залежності даних вершин, в моделі описуються взаємозалежності між усіма змінними, легко враховуються ситуації, коли значення окремих факторів невідомі, та забезпечують можливість на етапі прогнозного моделювання легко здійснювати сценарний аналіз «що якщо»;

Підхід, закладений в байєсовські мережі, забезпечує можливість з'єднувати закономірності, виявлені в результаті аналізу даних, а також знання в явному вигляді, наприклад, отримані від експертів, та уникає проблеми додаткової підгонки, тобто зайвого ускладнення моделей, що характерно для багатьох інших методів при дослідженні зашумлених даних. Байєсовська мережа довіри - спрямований ациклічний граф, з відсутністю спрямованих циклів – ненаправлені цикли дозволені, у вузлах задаються випадкові змінні, ребра - напрямом відносини підпорядкування між змінними і є дискретні випадкові змінні з двома або більше станами.

Вузли, які не мають предків, називаються кореневі вузли і характеризуються величиною апріорного ймовірнісного розподілу. Для кожного вузла, які мають предків, задається таблиця умовних ймовірностей, яка для кожної комбінації значень предків визначає ймовірності станів цієї вершини. Однією з основних ідей використання байєсовських мереж довіри є пропagaція свідомств: в систему надходить інформація про те, що події, що відповідають тим чи іншим її вузлів, відбулися (або не сталися). Судження, що лежать в основі апарату, повинні враховувати можливе надходження свідомств [12].

Обмеження байєсовських мереж при аналізі ризиків обумовлена особливостями ймовірнісного підходу для оцінки невизначеності, що вимагає великого обсягу експериментальних даних у вигляді таблиць умовних ймовірностей, які важко або неможливо отримати. Крім того, навіть експертам часто складно зробити судження про ймовірність значень входних змінних, що призводять до тих чи інших ймовірнісних значень вихідних змінних. У цьому випадку використання якісних характеристик або інтервальних величин і підходу, який зосновано на нечіткій логіці і пов'язаної з нею теорією можливості, є більш обґрунтованим. Невизначеність при аналізі ризиків прийнятих рішень і неможливість використання при цьому ймовірнісного підходу обумовлені: унікальністю і складністю типізації оцінюваних ситуацій; неможливістю отримання достатніх статистичних даних; нечіткістю значень через експертного характеру інформації; наслідками ризику, залежними як від моменту, коли ризик виявлено, так і від можливих важких предметів його наслідків.

Нечітка байєсова мережа визначається наступним чином:

$$\Omega = (U, E, P)$$

де  $U$  - безліч змінних нечіткої байєсівської мережі;  $E$  - безліч спрямованих зв'язків між змінними мережі (від предків до нащадків),  $P$  – ймовірнісний розподіл змінних мережі по їх змінним-предкам з  $U$ .

Можливі такі способи введення нечіткості в байєсовські мережі:

1. Доповнення байєсівського правила функціями належності відповідних значень змінних;



2. Заміна ймовірностей значень змінних байесовських мереж на нечіткі множини, а операцій над чіткими значеннями - на операції  $S$  і  $T$ -норм над нечіткими множинами;

3. Заміна ймовірностей значень змінних байесівської мережі на нечіткі числа, а звичайних операцій - на операції над нечіткими числами. Даний спосіб введення нечіткості в Байесова мережу полягає в тому, що ймовірності прийняття окремих значень змінних байесівської мережі довіри представляються у вигляді нечітких чисел замість арифметичних операцій суми, віднімання, множення і ділення ймовірностей прийняття змінними окремих значень використовуються розширені операції сумми, віднімання, множення і ділення нечітких чисел.

Так, при виконанні операцій з нечіткими числами на ос нове інтервального арифметичного методу обчислення реалізуються на всіх множинах  $\alpha$ -рівнів даних чисел.

Інший метод обчислень заснований на принципі розширення Лотфі Заде, котрий передбачає використання довільних розширених бінарних арифметичних операцій. Так, множення  $*$  нечітких чисел може бути представлено в такий спосіб [12]:

$$\bar{Z} = X * \bar{Y} \Leftrightarrow \mu_z(z) = \bigvee_{z=X*Y} (\mu_x(x) \wedge \mu_y(y))$$

де - нечіткі числа,  $*$  - розширена арифметична операція над нечіткими числами.

Для визначення правил виведення з використанням нечіткої байесівської мережі введемо поняття нечіткої імовірнісної міри (нечіткої можливості), а також нечіткого імовірнісного простору.

Функцію  $P_f : \mathcal{E} \rightarrow F(R)$  називатимемо нечіткої ймовірнісної мірою [13] на безлічі її визначення  $(\Omega, \mathcal{E})$  в тому, і тільки в тому випадку, якщо:

a)  $0_x < P_f(A) < 1_x$  для  $\forall A \in \mathcal{E}$ ,

б)  $P_f(\Omega) = 1_x$  и  $P_f(\emptyset) = 0_x$ ,

в) якщо  $A \cap B = \emptyset$ , то  $P_f(A) \oplus P_f(B) \supseteq P_f(A \cup B)$

г)  $A \in \mathcal{E}, B \in \mathcal{E}$ , то

$$P_f(A) * P_f(B) = \begin{cases} 0_x, & \text{якщо } P_f(A) * P_f(B) \leq 0 \\ P_f(A) * P_f(B), & \text{якщо } 0_x \leq P_f(A) * P_f(B) \leq 1_x \\ 1_x & \text{якщо } P_f(A) * P_f(B) \geq 1_x \end{cases}$$

$\Omega = R^m$  універсальна безліч, на якому визначена змінна  $A$ ;  $F(R)$ - безліч нечітких чисел, заданий на множині дійсних чисел  $R, 0, 1$ , - нечіткі числа  $0$  і  $1$ . Нечітким імовірнісним простором є  $(\Omega, \mathcal{E}, P_f)$

Для вузлів мережі, які не мають вхідних ребер, для змінних першого типу визначити безумовну ймовірність, для другого та третього типу нечітку безумовну можливість прийняття кожного значення з області визначення.

Імовірність статистичних величин визначається на підставі аналізу ретроспективних даних. Розглянемо дискретну випадкову величину  $N$  з воз-можна значеннями  $n_0, n_1, n_2, \dots, n_k$ . Кожне з цих значень величину  $N$  може прийняти з деякою ймовірністю  $p_0, p_1, p_2, \dots, p_k$

Дискретна випадкова величина  $N$  вважається повністю описаної з ймовірностної точки зору, якщо встановлений закон розподілу випадкової величини, який зазвичай представляють у вигляді таблиці - ряду розподілення.

Аналіз статистичних даних з безпеки польотів дозволяє висунути гіпотезу про те, що даний виникнення передвісників загроз підкоряється закону розподілу Пуассона. Доказ гіпотези проводився з використанням критерію Пірсона. Вихідна формула закону Пуассона має на увазі стовідсоткову реаліцію всіх дій факторів ризику, що виникають з інтенсивністю  $\lambda$ . Однак на практиці виникає ситуація, при якій з деякого числа  $m$

воздій факторів реалізовано будуть  $k < m$ . Завдання зводиться до знаходження закону розподілу ймовірностей  $p(k, m)$ , де  $P_i$  - вірогідність успішної реалізації,  $k$  - число успішно реалізованих атак,  $m$  - число виникли атак зі знайденою ймовірністю

$$P_m = \frac{\lambda_i^m}{m!} e^{-\lambda}$$

для кожного  $m > k$ . В даному випадку справедлива формула, що описує схему Бернуллі, згідно з якою

$P_{k,m} = C_m^k P_i^k (1 - P_i)^{m-k}$ , тоді загальна ймовірність реалізації до дій факторів дорівнює сумі за всіма  $m > k$  до (з урахуванням ймовірності того, що на даному інтервалі часу при інтенсивності,  $\lambda_i$ - виникло саме  $m$  взаємодій):

$$P_k = \sum_{m > k} C_m^k P_i^k (1 - P_i)^{m-k} \frac{\lambda_i^m}{m!} e^{-\lambda}$$

Причому такий облік ймовірності реалізації атаки є рівносильним перемножування інтенсивності виникнення атак  $\lambda_i$ , на дану ймовірність  $P_i$

$$\sum_{m > k} C_m^k P_i^k (1 - P_i)^{m-k} \frac{\lambda_i^m}{m!} e^{-\lambda} = \frac{P_i \lambda_i^m}{m!} e^{-P_i \lambda_i}; P_k(P_i \lambda) = \frac{P_i \lambda_i^k}{m!} e^{-P_i \lambda_i}$$

Квазістатистическі фактори невизначеності характеризуються наявністю статистичної бази малого обсягу. Тому при завданні їх безусловної можливості настання подій використовується процес розмиття чіткого множини отриманої на основі статистики ймовірності. Для визначення можливості виникнення факторів даного типу викорисовуються трикутні нечіткі числа, що визначаються параметрами  $\{a, a, b\}$  з модальним значенням, що співпадає з отриманої в результаті розрахунків ймовірністю  $a = p$ . При цьому правий і лівий коефіцієнти нечіткості визначаються експертом [14,15].

Для нестатистичної факторів нечіткі можливості прийняття значень задається на основі експертних оцінок. Для опису можливості виникнення таких факторів використовуються трапецеїдальні функції належності виду  $\{a, a, b, b\}$ . При цьому нижню і верхню модальне значення пред-являють собою інтервал, отриманий на підставі опитування експертів.

4. Для кожного вузла графа - змінної першого виду, що має вхідні ребра такого ж виду, вказати умовні чіткі ймовірності прийняття різних значень змінної вузла в залежності від комбінації значень змінних-батьків на графі.

5. Для вершин другого і третього виду, а також вузлів першого виду, що мають предків другого або третього виду задати нечіткі умовні можливості прийняття різних значень змінної вузла в залежності від комбінації значень змінних-батьків на графі. Для полегшення процесу обчислень в комбінованій нечіткої Байєсовської мережі, в ситуаціях, коли вузол має предків, як першого, так і второго або третього типу, задані для вузла-предка першого типу умовні або безумовні ймовірності замінюються на нечіткі можливості події, надані у вигляді точки на площині, яка визначається осями значення змінної родії і функції належності. Так, наприклад, чітке значення ймовірності настання події 0,4 в результаті фаззифікації замінюється на трикутне нечітке число з параметрами (0.4; 0.4; 0.4).

6. Аналіз структури побудованої комбінованої байєсівської мережі, в разі наявності циклічних зв'язків модифікація структури у відповідності з наступним розробленим алгоритмом:

Метод обробки циклічних зв'язків змінних в комбінованій нечіткої байєсівської мережі включає в себе наступні етапи:

1) Побудова всіляких ланцюжків кон'юнкція подій, отриманих на підставі почергового розриву зв'язків циклічної структури наведена на малюнку 5.1.7.

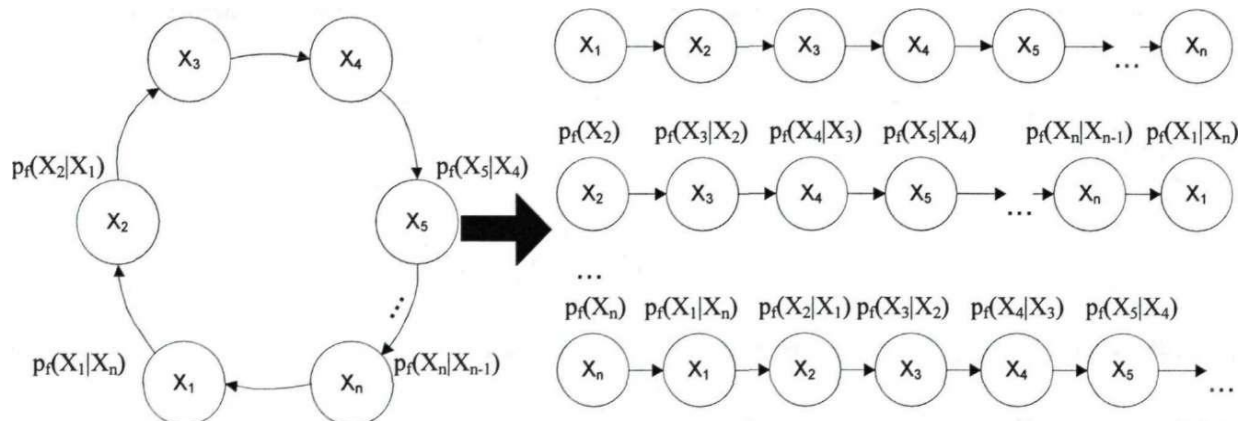


Рис 5.1.7. - Перетворення циклічної структури комбінованої нечіткої байєсівської мережі в безліч ланцюжків кон'юнкція факторів ризику

2) Для кожної отриманої ланцюжка безумовна нечітка можливість на ступення події-вузла, що не має предків, визначається експертним шляхом.

3) Обчислення спільної можливості настання сукупності подій для отриманої ланцюжка з використанням нечітких байєсовських правил:

$$\begin{aligned}
 &P_f^1(X_1, X_2, X_3 \dots X_n) \\
 &P_f^2(X_1, X_2, X_3 \dots X_n) \\
 &P_f^3(X_1, X_2, X_3 \dots X_n) \\
 &P_f^n(X_1, X_2, X_3 \dots X_n)
 \end{aligned}$$

4) Визначення ланцюжка подій, якій відповідає найбільша значення можливості спільного настання всіх подій - вузлів графа.

5) Зміна структури комбінованого нечіткого байєсівського дерева: заміна циклічної структури на обрану кон'юнктивний ланцюг подій.

6) Розрахунок сумісних нечітких апіорних можливостей виникнення любой комбінації подій на основі процедури логічного висновку для комбінованих нечітких баєсовських мереж оцінки можливості наступленні інформаційного ризику.

Логічний висновок в Баєсовській мережі полягає в розподілу лення по всій мережі в залежності від отриманих свідчень. В основі процесу логічного виведення лежать досить складні математичні алгоритми, які можна уявити на найпростішої дворівневої мережі для випадку прямого поширення розподілу ймовірностей [12,16]. Числові значення ймовірностей в байєсовських мережах можуть бути як математичними можливостями, так і суб'єктивними, особистісними, оцінками очікувань експертів з приводу можливості здійснення подій. У різних осіб ступінь очікування може бути різною, це залежить від індивідуального досвіду і обсягу апіорної інформації [14,17]. Використання апарату байєсовських мереж для оцінки ризиків виконується з наступними основними перевагами: можливість спільного обліку якісних і кількісних показників, динамічне надходження нової інформації, явні залежності між істотними факторами, що впливають на фінансові показники, наглядне ігрове моделювання. Кожна з дискретних випадкових величин  $X_i (i = 1, \dots, n_j)$  з ймовірностями  $P_{ij}$  для

яких 
$$\sum_{i=1}^{n_j} P_{ij} = 1$$

Розрахунки в комбінованій нечіткої байєсівської мережі здійснюються на основі використання таких основних правил:

Нечеткая условная независимость:

$$P(X_1 X_2 \dots X_n) \equiv \prod_{i=1}^n P(X_i / \text{Предки}(X_i))$$

Нучітка сумісна можливість реалзації подій:

$$P(Y = y_i, X = x_i) \equiv P(X = x_i) \otimes P(Y = y_i / X = x_i)$$

Нечітка повна можливість реалізації подій:

$$P_f(Y = y_j) \equiv \sum_i P_f(X = x_i) \otimes P(Y = y_j / X = x_i)$$

Нечітке баєсовське правило:

$$P(X = x_i / Y = y_j) \equiv \frac{P(X = x_i) * P(Y = y_j / X = x_i)}{P(Y = y_j)}$$

На підставі даних формул розроблена процедура логічного висновку для комбінованих нечітких байєсовських мереж оцінки можливості настання ризику. На малюнку 5.1.8. представлений фрагмент комбінованої нечіткої байєсовської мережі.

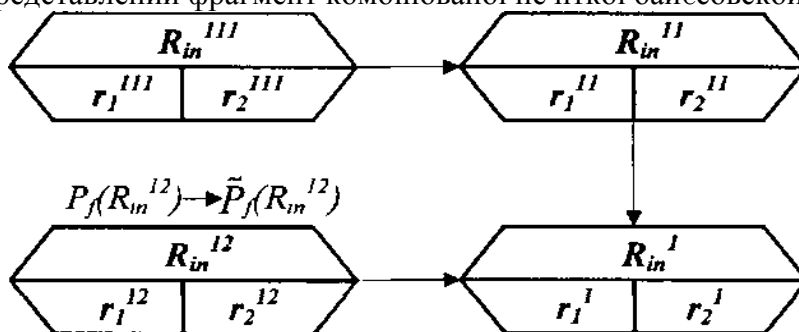


Рис. 5.1.8 - Фрагмент комбінованої нечіткої байєсовської мережі

Для наданого фрагменту комбінованої нечіткої байєсовської мережі розрахунок буде проводитись наступним чином:

$$P_f(R_{in}^{11} = r_1^{11}) \equiv \oplus P_f(R_{in}^{111}, R_{in}^{11} = r_1^{11}) = P_{in}^{111} = r_1^{111}, R_{in}^{11} = r_1^{11}) \oplus$$

$$\oplus P_f(R_{in}^{11} = r_2^{111}, R_{in}^{11} = r_1^{11}) = P_f(R_{in}^{111} = r_1^{111}) \oplus P_f(R_{in}^{11} = r_1^{11} : R_{in}^{111}) \oplus$$

$$\oplus P_f(R_{in}^{111} = r_2^{111}) \oplus P_f(R_{in}^{11} = r_1^{11} : R_{in}^{111} = r_1^{111})$$

$$P_f(R_{in}^{11} = r_2^{11}) \equiv \oplus P_f(R_{in}^{111}, R_{in}^{11} = r_2^{11}) = P_f(R_{in}^{111} = r_1^{111}, R_{in}^{11} = r_2^{11}) \oplus$$

$$\oplus P_f(R_{in}^{111} = r_2^{111}, R_{in}^{11} = r_2^{11}) = P_f(R_{in}^{111} = r_1^{111}) \oplus P_f(R_{in}^{11} = r_2^{11} : R_{in}^{111} = r_1^{111}) \oplus$$

$$\oplus P_f(R_{in}^{111} = r_2^{111}) \oplus P_f(R_{in}^{11} = r_2^{11} : R_{in}^{111} = r_1^{111})$$

$$P_f(R_{in}^1 = r_1^1) \equiv \oplus P_f(R_{in}^{11}, R_{in}^{12}, R = r_1^1), P_f(R_{in}^1 = r_2^1) \equiv \oplus P_f(R_{in}^{11}, R_{in}^{12}, R = r_2^1)$$

Визначення сумісного розподілу ймовірності для всіх змінних баєсовської мережі.

$$P_f(R_{in}^{111} = r_1^{111}, R_{in}^{11} = r_2^1) \equiv \oplus P_f(R_{in}^1 = r_1^1 : R_{in}^{11} R_{in}^{12}) \oplus P_f(R_{in}^{12}) \oplus$$

$$\oplus P_f(R_{in}^{11} : R_{in}^{111} = r_1^{111}) \oplus P_f(R_{in}^{111} = r_1^{111})$$

Визначення як змінюються апіорні ймовірності при наданні нових даних о значеннях змінних в комбінованої нечіткої баєсовської мережі.

Особливість комбінованої байєсівської мережі полягає в можливості одночасного використання статистичних, квазістатистичних і нестатистичних факторів.

Для опису Байєсова мережі необхідно визначити топологію графа і параметра кожного вузла. Цю інформацію ми можемо отримати з учнів даних, але отримання

правильної топології мережі є більш складною задачею, ніж отримання параметрів вузлів.

Особливого підходу вимагає випадок, коли деякі з вузлів приховані, або ми маємо справу з некоректними або недостатніми даними. Тому існує чотири випадки [14], які наведені в таблиці 5.1.3.

Таблиця  
5.1.3

### Чотири випадки навчання мережі

Структура	Спостереження	Метод
Відома	Повне	Максимальна оцінка правдоподоби
Відома	Часткове	Максимізація математичного очікування або жадібний метод пошуку екстремуму
Невідома	Повне	Пошук в просторі моделей
Невідома	Часткове	Структурний алгоритм максимізації математичного очікування

**Відома структура, повне спостереження.** В цьому випадку обчислюються значення параметрів кожного умовного імовірнісного розподілу, які максимізують правдоподібність навчальних даних. Нормалізованості логарифмічне рівняння правдоподібності має

$$\text{вигляд: } L = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^s \log(P(X_i : P_a(X_i), D_l)),$$

де  $P_a(X)$ - набір батьків  $X_i$ ,  $D$ - навчаюча множина, а  $D_l$ -  $l$ -й елемент навчаючої множини,  $N$ - кількість подій в навчаючій множині.

**Відома структура, часткове спостереження.** Коли деякі з вузлів приховані, то можна застосувати алгоритм максимізації математичного очікування (ММО), для знаходження локальної оптимальної оцінки максимального правдоподібності параметрів. Основна ідея алгоритму ММО полягає в тому, що якби ми знали значення всіх вузлів, навчання (на кроці  $M$ ) було б простим, оскільки знайомі з попередніми. Так на етапі  $E$ , ми обчислюємо очікувані значення вузлів, що використовують алгоритм виведення, і потім використовуємо ці значення як якби вони були отримані зі спостережень.

**Невідома структура, повне спостереження.** Найбільш імовірною моделлю в даному випадку є повний граф, тому що в цьому випадку буде задіяно найбільшу кількість параметрів, отже така модель буде найбільше відповідати даним.

Формула Байеса має вигляд: 
$$P(G : D) = \frac{P(D : G)P(G)}{P(D)}$$
 де  $G$  -

направлений нециклічний граф, відповідний випадковим змінним, а  $D$  множина даних, прологарифмуємо її:

$\log(p(G : D)) = \log(P(D : G)) + \log(P(G)) - \log(P(D))$ , В даному випадку  $-\log(P(D))$  грає роль штрафуючої компоненти за надто складні моделі. Слагаєме  $P(D \setminus G)$  може выступити в якості штрафуючої компоненти за складні моделі.

**Невідома структура, часткове спостереження.** Це найскладніший випадок, коли структура невідома і є приховані змінні і некоректні дані. У цьому випадку використовують структурний алгоритм максимізації математичного очікування або алгоритм стиснення кордонів. Метод стиснення кордонів моделює відсутність даних, припускаючи що ймовірність відсутності даних знаходиться в інтервалі від 0 до 1.

## 5.2. Нечітка процедура розрахунку збитку від настання ризиків основі моделі вибору оптимальних стратегій.

Модель раціонального вибору стратегій.

1) Нехай існує  $n$  експертів, які прагнуть підвищити критерій ефективності  $\omega_i(x_1 \dots x_n) i = 1, \dots, n$  здійснює вибір вектора  $x_i$  з множини  $X_i$ .

2) Співпадання інтересів  $\omega_i = \varphi_i(\omega)$ , где  $\varphi_i(t)$  монотонно зростаюча функція, а  $\omega = const$ .

3) Протилежності інтересів,  $n=2$ ,  $\omega_i = \varphi_i(-\omega_1)$  де  $\varphi_i(t)$  монотонно зростаюча функція.

4) Ситуація с незалежними інтересами  $\omega_i = \varphi_i(\omega)$ ,  $x_i \in X_i$ .

5) Діяльність задання критерієв ефективності  $\omega_i = F_i(x_1 \dots x_n, \beta_i)$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $\beta_i = B_i$  - невизначенність.

6) Вектор контролюємих факторів  $X = (x_1 \dots x_n)$ , то  $i$ -й експерт накладає обмеження  $x_i \in P_i$  наприклад  $\varphi_i(t) \geq 0$  з с урахуванням цього вибрати  $X_i$ .

При веденні обмежень і відповідних розривних критеріїв ефективності (1) і (2) замінюється діяльністю без обмежень  $P_i$

$$\omega_i = f_i(x_i, \beta_i) = -\infty$$

будь які числа менш ніж

$$R_i = \inf_{x \in P_i, \beta_i \in B_i} F_i(x_i, \beta_i)$$

Можливість розширення стратегій (3), надаєасму інформацію від  $i \neq j$  через  $Z_{ij}$

$$\omega_i = f_i - \sum_{j=1}^n Z_{ij} + \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} z_{ji}$$

коефіцієнт ефективності  $\lambda_{ij}$  визначає цінність для  $i$ -го експерта одиниці інформації надається  $j$ -m оператором,  $\lambda_{ij} = 1$  при  $i \leq m$

$$Z_i = \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} Z_{ij} - \sum_{j=1}^n Z_{ij} \quad U_i = \sum_{j=m+1}^n \lambda_{ij} Z_{ij}$$

а при  $i < m$

$$t_i = \sum_{j=m+1}^n \lambda_{ij} Z_{ij} - \sum_{j=1}^n X_{ij}; \gamma_i = \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} Z_{ij}$$

Тоді,

$$\omega_i = f_i(x, \beta) + Z_i + u_i; i = 1 \dots m$$

$$\omega_i = f_i(x, \beta) + t_i + \gamma_i; i = 1 \dots m + 1 \dots n$$

Оцінка величини ризику визначається на основі розрахунку двох показників: можливість виникнення ризику і величина збитку. При розрахунку величини збитку доцільно використовувати нечітко-логічний підхід, що відрізняється також урахуванням самостійних чинників шкоди. Для оцінки величини шкоди від настання ризиків розроблена нечітко-продукційна модель впусти якої заповнюються

елементами, беручи з доступної бази знань на основі експертної думки. Для зменшення надмірності елементи на кожному рівні доцільно групувати за схожими ознаками або ранжувати за ступенем значущості.

Побудова «дерева збитків». Приклад «дерева збитків» показаний на малюнку 5.10

Прямі методи побудови функцій приналежності припускають, що експерт самостійно визначає правила завдання значень функції належності  $\mu_A(\mathbf{X})$ , описує елемент  $x$ .

Ці значення вибираються їм на безлічі елементів  $X$  відповідно до наступних правил. Для  $\forall x_1, x_2 \in X$  співвідношення цих функцій належності визначаються нерівнянням  $\mu_A(x_1) < \mu_A(x_2)$  коли  $x_2$  більш переважно, ніж  $x_1$ , в більшій ступені описується властивістю  $A$ .

Для  $\forall x_1, x_2 \in X$  співвідношення їх функцій приналежності визначається рівністю  $\mu_A(x_1) = \mu_A(x_2)$  та  $x_2$  однакові відносно властивості  $A$ .

Традиційно, прямі методи визначення функцій приналежності застосовуються для кількісно вимірюваних змінних або у випадках, коли можна виділити протилежні значення. Підклас прямих методів - прямі групові методи, які передбачають, що певний об'єкт пред'являють деякої експертної групи, і кожен з експертів повинен визначити чи належить даний об'єкт заданій множині. У цьому випадку кількість позитивних відповідей, поділене на сукупне кількість експертів, визначає значення функції приналежності об'єкта до заданого нечіткій множині.

До прямих методів належать також завдання функції приналежності графічно, а також у вигляді таблиці, формули.

Аналіз літературних джерел і результатів різних досліджень [9, 2, 3, 5, 7], а також застосовуваних на практиці інструментів вирішення задач обробки інформації показав, що прямі методи доцільно іспользовать, якщо існують гарантії, що експерти вкрай рідко роблять випадкові помилки, і їх можна опитувати про значення функції приналежності безпосередньо. У той же час спотворення виникають в будь-якому випадку, наприклад, суб'єктивне прагнення переміщати оцінки об'єктів в крайні точки використовуваної шкали. У зв'язку з цим, прямі методи повинні застосовуватися тільки у випадках, коли експертні помилки малоімовірні.

Непрямі методи визначення функції приналежності об'єкта застосовуються у випадках відсутності вимірних властивостей, що визначають нечіткі множини і є більш складно реалізованими на практиці, але їх перевага полягає в стійкості щодо спотворень [4].

У непрямих методах функції приналежності повинні відповідати заздалегідь заданим умовам, які можуть визначати вид одержуваної інформації та процедури її перетворення. До числа непрямих методів відносяться статистичний метод, парних порівнянь, експертних оцінок і інші [8].

В основі методу статистичних даних лежить обробка статистики. Ступень належності об'єкта нечіткій множині визначається як оцінна величина частоти використання лінгвістичного терміна, що описує нечітка множина, для характеристики даного об'єкта. При цьому використання спеціалізованих матриць підказок дозволяє отримати гладкі функції належності.

Функція належності  $\mu_S(\mathbf{X})$  ставить у відповідність кожному елементу  $x \in X$  число з інтервалу  $[0, 1]$ , характеризує ступінь приналежності елементу  $X$  безлічі  $A$ . Сприймаючи інформацію, експерт не користується конкретними цифрами, а перетворює їх в термінологічні поняття - значення конкретної лінгвістичної змінної, яка описується функцією приналежності, індивідуальної для кожного з експертів.

Нехай аналізуючи стан об'єкта протягом певного проміжку часу, п раз акцентується увага на тому, чи відбувся факт  $A$ . Подія, складаючі в п перевірок присутності факту  $A$ , є оціночним. Припустимо, факт  $A$  мав місце в до перевірок.

Експерт визначає частоту  $p = k / n$  факту  $A$  і описує її з використанням слів «часто», «рідко» та інших.

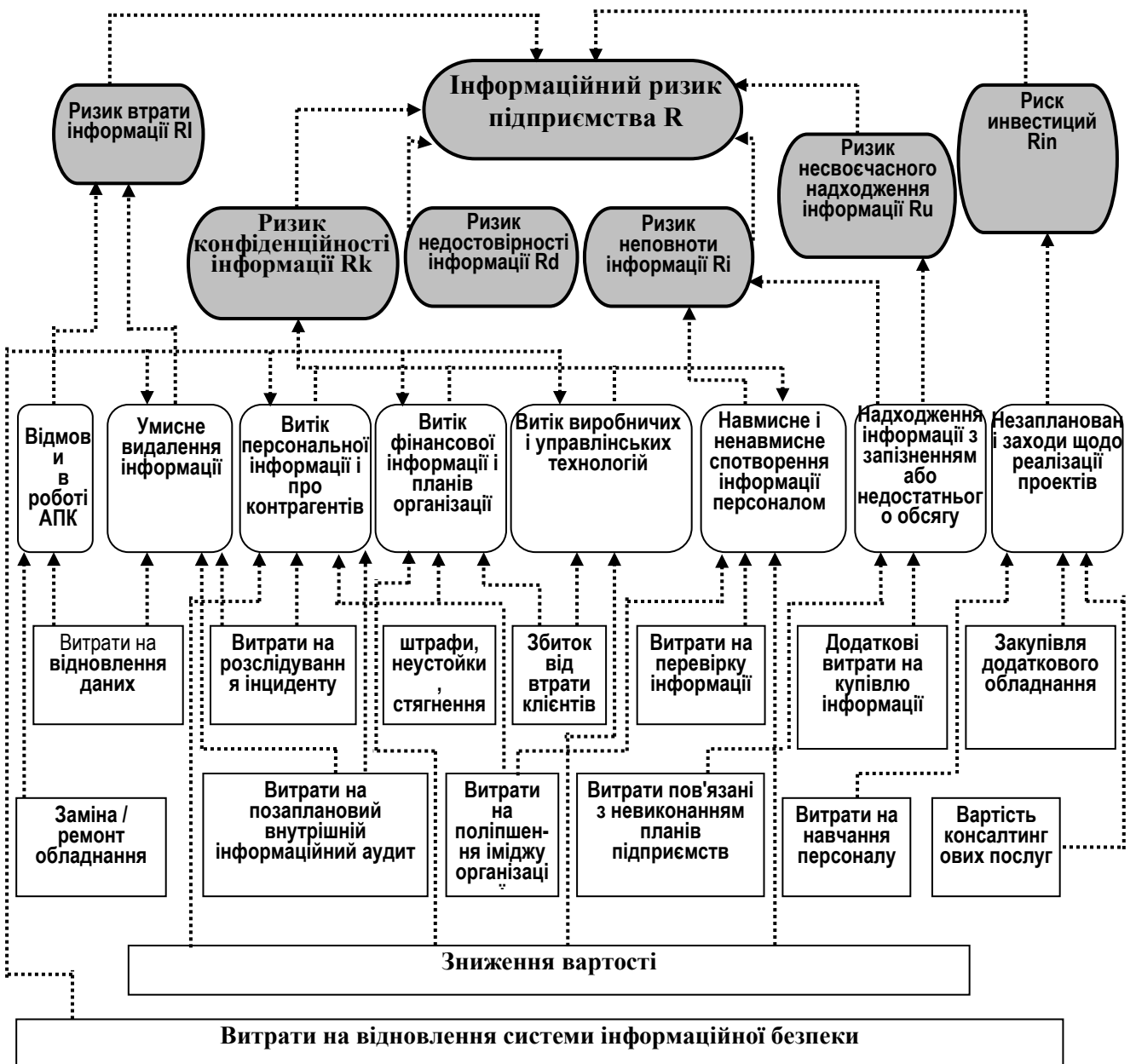


Рис. 5.2.1 Система управління ризиками

Оцінюючи частоту  $p$ , експерт враховує свій досвід, який визначає частоту виникнення факту  $A$  в подіях минулого, здаються йому схожими розглянутого події. До нього надходить також інформація, заснована на сторонніх спостереженнях появи факту  $A$ , тобто інформація, що відображає суспільні знання. Залежно від рівня довіри до джерела інформації вона запам'ятовується з різними вагами, характеризуючи ступінь належності елементу  $X$  множині  $A$ . Воспринявши інформацію, експерт не користується конкретними цифрами, а преобразує їх в термінологічні поняття - значення конкретної лінгвістическої змінної, яка описується функцією належності, індивідуальною для кожного з експертів.

Пустя аналізує стан об'єкта в течение некоторого промежутка часу,  $n$  раз акцентується внимание на том, произошёл ли факт  $A$ . подія, в  $n$  перевірок присутствия факта  $A$ , является оценочным. Предположим, факт  $A$  имел место в  $k$



проверках. Эксперт определяет частоту  $p = k/n$  факта  $A$  и описывает ее с использованием слов «часто», «редко» и других.

Оценивая частоту  $p$ , эксперт учитывает свой опыт, который определяет частоту возникновения факта  $A$  в событиях прошлого, кажущихся ему похожими рассматриваемому событию. К нему поступает также информация, основанная на сторонних наблюдениях появления факта  $A$ , то есть информация, отражающая общественные знания. В зависимости от уровня доверия к источнику информации она запоминается с различными весами.

Послідовність побудови функцій приналежності:

1. На прямій  $\mu = 1$  зазначається точка навпроти того значення носія  $x_1$ , який виразно належить даному терму (точки  $A$  і  $D$ ).

2. На прямій  $\mu = 0$  відзначаються точки навпроти найближчих значень, расположенных зліва і праворуч від  $x_1$  на носії (осі  $X$ ), які безумовно не належать даному терму (точки  $B$ ,  $C$  і  $E$ ).

3. Зазначені на прямих  $\mu = 1$  і  $\mu = 0$  точки з'єднуються відрізками прямих.

4. Штрихуванням позначається частина носія, що відноситься до збудованого опису.

Метод побудови функцій приналежності з використанням інтервальних оцінок. Цей метод використовується для формалізованого опису завдань вибору, в яких немає межі між допустимим і недопустимим, а також між ідеальним і неідеальним станами.

Вибір конкретного методу побудови функцій приналежності визначається класом розв'язуваної задачі, складністю придбання експертної та статистичної інформації, достовірністю отриманих даних, а також трудомісткістю алгоритмів аналізу і обробки інформації при визначенні функцій приналежності.

Формування продукционной бази знань, яка описує впливу стану вузлів-предків графа на величину вузла-нащадка, заданої у вигляді набору продукційних правил.

Отримання підсумкового значення збитку кожного виду інформаційного ризику на підставі побудови ієрархічних систем нечітко-логічного висновку з нечітко заданими вхідними змінними на основі нечіткої імплікації Ларсена і композиції  $\max$ - $\text{prod}$ .

Нечітко логічний висновок здійснюється з використанням нечіткої імплікації Ларсена за формулою [10]:

$$\mu_R(x, y) = \mu_A(x) \mu_B(y)$$

Як операції згортки використовується операція множення. Таким образом, в основі нечіткого виведення лежить використання  $\max$ - $\text{prod}$ -композиції:

$$\mu_B(y) = \max_{x \in X} \{ \mu_A(x) \mu_R(x, y) \}$$

Вибір даного композиційного правила обумовлений простотою реалізації і велику чутливість до змін вхідних змінних в передпо-силках нечітких продукційних правил [1].

Приведення до чіткості (defuzzification) полягає в перетворенні нечітких значень знайдених вихідних змінних в чіткі. При цьому всі методи отримання чіткого значення вихідної змінної можна розділити на дві групи [7]:

- методи дефаззифікації акумульованої на попередньому етапі (з ак-твізірованих висновків всіх правил бази) вихідної змінної;

- методи дефаззифікації вихідної змінної без попереднього ак-кумуляування висновків правил.

До першої групи належать такі методи дефаззифікації [2]:

1. Центр тяжкості. Цей метод дефаззифікації може бути використаний тільки для моделей, заснованих на нечітких лінгвістичних продукційних правилах, в яких консеквента є нечіткими висловлюваннями. Чітке значення  $y$  вихідної змінної визначається як центр ваги отриманої функції приналежності і обчислюється за формулою:

$$2. \quad y' = \frac{\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} y \mu_B(y) dy}{\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \mu_B(y) dy}$$

Где  $Y_{\min}$  и  $Y_{\max}$  - межы интервалу носія нечіткої множини вихідної змінної  $y$ .

3. Центр площі. Чітке значення вихідної змінної  $y'$  по цього методу визначається з рівняння:

$$\underbrace{\int_{y_{\min}}^y \mu_B(y) dy}_{S_1} = \underbrace{\int_y^{y_{\max}} \mu_B(y) dy}_{S_2}$$

4. Максимум функції приналежності. Чітке значення вихідний змінної розраховується за формулою:

$$y' = \arg_y \sup(\mu_B(y))$$

де  $\mu_B(y)$  - унімодальне функція, форма якої може бути довільною.

5. Перший максимум, званий також лівим максимумом. Чітке значення  $y'$  знаходиться як найменше значення, при якому досягається максимум підсумкового нечіткої безлічі:

$$y' = \min \{y_{\max} : \mu_B(y_{\max})\} = \max_y \{y : \mu_B(y)\}$$

6. Самий правий максимум. Чітке значення змінної  $y$  знаходиться як найбільше значення, при якому досягається максимум підсумкового нечіткого безлічі:

$$y' = \max \{y_{\max} : \mu_B(y_{\max})\} = \max_y \{y : \mu_B(y)\}$$

Процеси прийняття рішень під час управління ризиками при авіаційної діяльності відбуваються в умовах суттєвої невизначеності, яка проявляється у вигляді обмеженості або нечіткості інформації. Невизначеність супроводжує всіх етапах життєвого циклу авіаційної діяльності і може привести до появи несприятливих ситуацій, що характеризуються ризиком. Управління ризиками - це комплекс заходів, що дозволяє зменшити вплив ризиків на безпеку польотів, інтегрований в загальну систему управління безпекою польотів і поширює сфери свого впливу на весь життєвий цикл авіаційної діяльності [121-127].

Існуючі методики аналізу та управління ризиками в основному базуються на застосуванні імовірнісних конструкцій, які використовують статистичні дані з безпеки польотів таких як (розслідування авіаційних подій та інцидентів), проведених аудитів, аналізу польотних даних, та ін.. Однак, необхідні для цього статистично значущі оцінки виду і параметрів закону розподілу факторів, що впливають на виникнення ризиків не можуть бути отримані через недостатні обсягів вибірки. Застосовуються також методики ідентифікації ризиків, що базуються на складній роботі з контрольними списками (аудити з безпеки польотів), які можуть включати в себе більше сотні позицій і вимагають додаткового залучення досвідчених експертів предметної області. Крім того, досить важко об'єднати в одній моделі кількісні і якісні фактори.

Названі обставини необхідність проведення аналізу процесу управління ризиками, розробки системи прийняття рішень, аналізу та управління ризиками, які дозволять інтегрувати як якісні, так і кількісні підходи аналізу ризиків, а також моделей, що підтримує їх реалізацію.

В системі підтримки прийняття рішень етап аналізу ризиків допомагає експерту, що приймає рішення, підвищити ефективність його роботи і здійснюється за наступною процедурою.

1. Мета задається як вихідна лінгвістична змінна. В результаті вузол графа правил, який визначає вихідну лінгвістичну змінну і базу правил.

2. Надіслати в стек лінгвістичну змінну і базу правил. У стеці зберігаються екземпляри класу вузла графа моделі правил нечіткої продукційної моделі, тобто вихідні лінгвістичні змінні і відповідні їм бази правил.

3. Прочитати дані з стека, визначити вузол графа лінгвістичних змінних.

4. У робочій області по ключу хеш-таблиці визначити наявність даних. Робоча область містить хеш-таблицю. Хеш-таблиця являє собою сукупність пар «ключ-значення», де ключ - хеш-функція лінгвістичної змінної і значення - об'єкт лінгвістичної змінної і об'єкт терма, відповідний введеному або обчисленого значення лінгвістичної змінної.

5. За даними вузла графа лінгвістичних змінних (пункт 3) визначити список вхідних лінгвістичних змінних - список дочірніх вузлів для вузла графа.

6. У робочій області по ключу хеш-таблиці перевірити наявність кожної лінгвістичної змінної зі списку, визначеного в попередньому пункті.

7. Перевірити статус кожної лінгвістичної змінної зі списку, визначеного в пункті 5 (вхідні або вихідна).

8. Якщо лінгвістична змінна є вихідний, то відправити її в стек і повернутися до пункту 3, інакше перейти до пункту 9.

9. Ввести вхідні дані: лінгвістична змінна, терм, коефіцієнт впевненості. Модифікувати терм з урахуванням коефіцієнта впевненості.

10. Сформувати ключ і додати його в робочу область (довідник) даних по лінгвістичним змінним. Пункти 9 і 10 виконуються для всіх вхідних лінгвістичних змінних зі списку дочірніх вузлів елемента графа.

11. Обчислити вхідні лінгвістичні змінних на основі баз правил: активізація правил, агрегація, дефазифікація.

12. Сформувати ключ і додати в робочу область дані по лінгвістичної змінної. Рекурсивний виклик методу.

13. Прочитати і виштовхнути дані з стека.

14. Перевірити наявність елементів в стеку. Якщо стік не порожній, то перейти до кроку 3 (рекурсивний виклик методу).

15. Вивести на екран, друк результат аналізу.

16. Якщо необхідно провести багатоплановий аналіз, то потрібно:

17. змінити мету; видалити модифіковані вхідні змінні з робочою області; - повторити аналіз.

Розробка якісної систем підтримки прийняття рішень багато в чому залежить від архітектурних рішень, прийнятих в процесі її проектування [3,4,5,].

На малюнку 5.2.3. зображена архітектура розробленої СППР аналізу і управління ризиками.

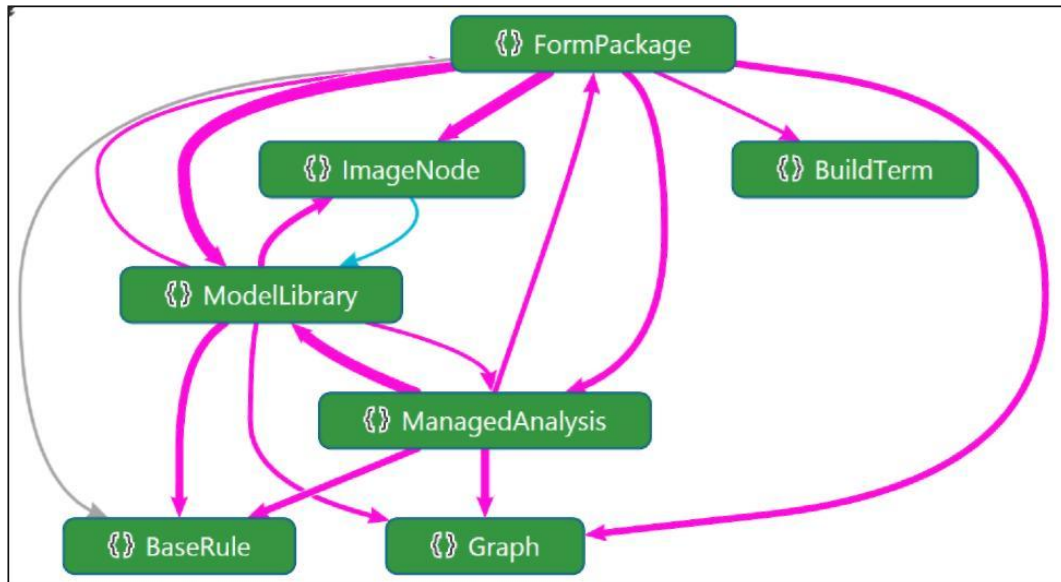


Рис. 5.2.3 - Архітектура програмного рішення

Програмне рішення розробленого додатка (Solution) складається з семи пакетів:

1. FormPackage- набір класів форм призначеного для користувача інтерфейсу (містить 7 класів).
2. BuildTerm- набір класів, що відповідають за побудову термів моделі (містить 10 класів).
3. ModelLibrary- бібліотека функціональних класів моделі (містить 18 класів).
4. Graph- набір класів, що відповідають за побудову графа моделі (містить 6 класів).
5. ImageNode- бібліотека не функціональних класів моделі, керуючих візуалізацією об'єктів нечіткої моделі (містить 7 класів).
6. BaseRule- набір класів для введення і редагування баз правил моделі (містить 6 класів).
7. ManagedAnalysis- набір класів для введення цілі і формування результату аналізу (містить 6 класів).

Всі пакети класів надають загальну досить універсальну функціональність, яка покриває предметну область. Розроблена архітектура забезпечує можливість повторного використання програмного коду, наприклад, модулі системи - бібліотека ModelLibrary і пакет BuildTerm-можуть бути використовувати повторно при розробці інформаційних систем, що базуються на нечіткої логіки, або використовують нечітку логіку.

*Методика застосування розробленої СППР аналізу та управління ризиками.* Розроблена СППР може бути використана для оцінки та аналізу ризиків в процесі авіаційної діяльності [128,130]/

Управління ризиками проекту включає в себе процеси, що забезпечують планування можливості ризиків, їх ідентифікацію, аналіз, розробку відгуків і контроль протягом циклу діяльності. Для позитивних ризиків підготовленість означає раціональне використання з'являється резерву (часу або ресурсів). Непідготовленість до негативних і нейтральних ризиків - це завжди втрата можливостей.

Щоб знизити вплив ризиків, авіаційний експерт повинен розробити план управління ризиками, зміст якого ідентифікація ризиків, можливе їх вплив на характеристики даного проекту і заходи, що знижують залежність його від ризиків.

Для аналізу ідентифікованих ризиків та оцінки їх можливого впливу на проект необхідно провести реалізацію процесу нечіткого моделювання ризиків за допомогою, розробленої СППР ModelingFuzzySet [37-39]. ЛПР необхідно здійснити наступні дії:

*Крок 1.* Створити НПМ аналізу ризиків проектного продукту за допомогою дизайнера моделі

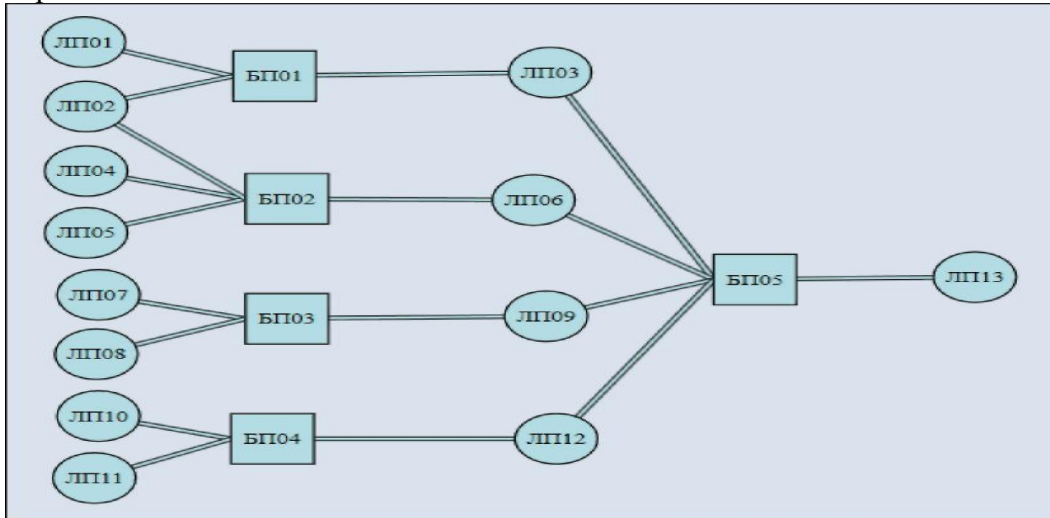


Рис.5.2.4 – НПМ аналізу ризиків

Для формування моделі необхідно задати лінгвістичні змінні, які формалізують фактори і показники ризиків, а також бази нечітких продукційних правил. ЛПР може використовувати одну із запропонованих нечітких продукційних моделей, виходячи з умов реалізації даного проекту, або внести зміни в обрану модель, визначивши фактори і показники ризику, актуальні для реалізованого проекту, а також змінити бази правил.

*Крок 2.* Фаззифікація- введення нечіткості. Даний крок передбачає завдання ФП для терм-множин вхідних і вихідних ЛП [34]. СППР дозволяє формувати функції приналежності терм-множин різних видів: трикутні, трапецієподібні, Z, S і П-подібні.

Наприклад, для вхідної змінної ЛП01 - «Мета проекту» використовується терм-множина, яке складається з трьох термів  $T = \{\text{Низький (I), Середній (C), Високий (B)}\}$ , які визначають рівень відповідності меті проекту цілям або завданням організації. ФП для змінної ЛП01 є трапецієдальними і відповідно до (2.6) будуть виглядати наступним чином:

$$\mu_{\Delta}^H(x;0;0;0,15;0,4), \mu_{\Delta}^C(x;0,2;0,4;0,6;0,8), \mu_{\Delta}^B(x;0,6;0,85;1,0;1,0)$$

На Мал. 5.2.5. наведено графіки функційної змінної терм-множин лінгвістичної змінної сформовані в дизайнері термів СППР.

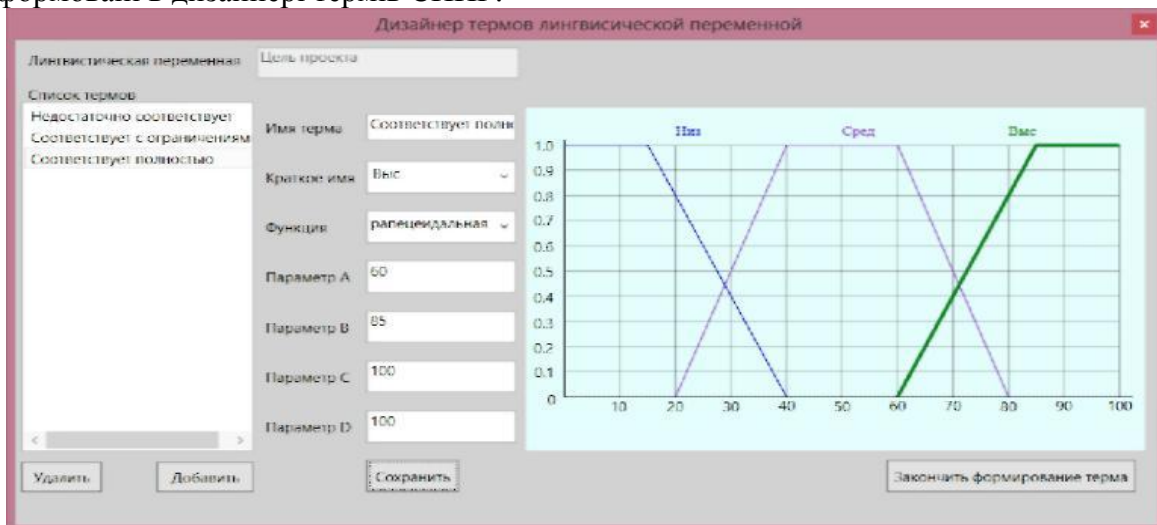


Рис 5.2.5 – Функції належності лінгвістичної змінної

Крок 3. Надання нечітких правил. Принцип формування правил моделі ґрунтується на загальних закономірностях, які проявляються в поведінці досліджуваної системи, що дозволяють інтегрувати в алгоритм нечіткого виводу логічну модель прикладного рівня [23]. Правила моделі повинні бути модифіковані в наступний вид.

Фрагмент бази нечітких правил. Формування баз нечітких продукційних правил являє собою собою аналіз і дослідження вхідних і вихідних залежностей, а також обробку і формальне подання емпіричних знань експерта в досліджуваній області за схемою «Якщо ... То ...», наведено нижче [4,5]

База правил (БР-І)

1. 
$$\left\{ \begin{array}{l} (\Theta(\Omega_3) = \omega_1 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_1 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_1) \cup \Theta(\Psi_1) = \omega_2 \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_1 = \Theta(\Omega_5) = \omega_1) \end{array} \right.$$
2. 
$$\left\{ \begin{array}{l} (\Theta(\Omega_3) = \omega_1 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_1) \cup \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_1 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_1 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_3) \cup \Theta(\Psi_1) = \omega_1 \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_1 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_1) \cup \end{array} \right.$$
3. 
$$\left\{ \begin{array}{l} (\Theta(\Omega_3) = \omega_1 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_1) \cup \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_1 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_1 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_3) \cup \Theta(\Psi_1) = \omega_1 \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_2 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_3) \end{array} \right.$$
4. 
$$\left\{ \begin{array}{l} (\Theta(\Omega_3) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_1) \cup \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_1) \cup \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_1) \cup \Theta(\Psi_1) = \omega_3 \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_1) \cup \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_1) \cup \end{array} \right.$$
5. 
$$\left\{ \begin{array}{l} (\Theta(\Omega_3) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_3) \cup \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_2 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_2 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_4) \cup \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_2 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_4) \cup \Theta(\Psi_1) = \omega_3 \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_1 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_4) \cup \end{array} \right.$$
6. 
$$\left\{ \begin{array}{l} (\Theta(\Omega_3) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_1) \cup \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_1 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_3) \cup \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_3) \cup \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_3) \cup \Theta(\Psi_1) = \omega_4 \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_2 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_4) \cup \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_4) \cup \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_1 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_4) \end{array} \right.$$
7. 
$$\left\{ \begin{array}{l} (\Theta(\Omega_3) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_4) \cup \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_3 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_4) \cup \Theta(\Psi_1) = \omega_5 \\ (\Theta(\Omega_3) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_4) = \omega_4 \cap \Theta(\Omega_5) = \omega_4) \end{array} \right.$$

Вихідні лінгвістичні змінні		Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>
Вхідні лінгвістичні змінні	X <sub>1</sub>	1	0	0	0	0
	X <sub>2</sub>	1	1	0	0	0
	X <sub>3</sub>	0	1	0	0	0
	X <sub>4</sub>	0	1	0	0	0
	X <sub>5</sub>	0	0	1	0	0
	X <sub>6</sub>	0	0	1	0	0
	X <sub>7</sub>	0	0	0	1	0
	X <sub>8</sub>	0	0	0	1	0
	X <sub>9</sub> /y <sub>1</sub>	0	0	0	0	-1
	X <sub>10</sub> /y <sub>2</sub>	0	0	0	0	-1
	X <sub>11</sub> /y <sub>3</sub>	0	0	0	0	-1
	X <sub>12</sub> /y <sub>4</sub>	0	0	0	0	-1

Також в процесі наповнення бази правил моделі ОПР вказує ступінь впливу показника ризику на проект (таблиця 5.2.1.). Ранг ВихЛЗ використовується для розрахунку можливого збитку від виникнення несприятливої події [23].

Для функціонування нечіткої продукційної мережі СППР буде матрицю  $M = \|m_{ij}\| = \{ 0; 1; -1$  яка визначає залежності між мсетою аналізу ризику, -и

факторами ризику x. Таким чином, при  $\|m_{ij}\| = -1$  запускається рекуррентная процедура обчислення значення функції приналежності консеквента подцели для всіх вхідних факторів основної мети аналізу ризиків проекту. Обчислення значень функцій приналежності консеквента у проводиться відповідно до продукційними правилами, які визначені в базі правил для конкретного у, -по матриці, наведеної в таблиці 5.2.1.

Таблиця 5.2.1

**Матриця залежностей цілей аналізу ризику і баз правил**

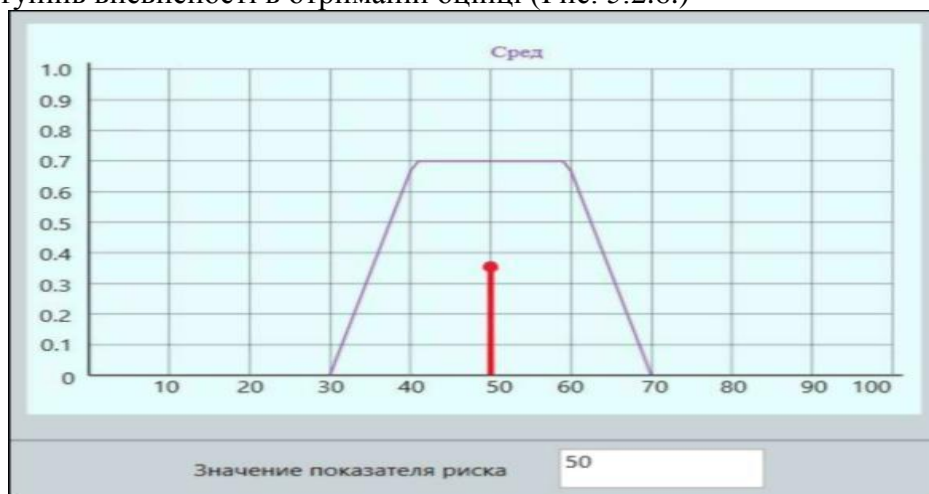
Вихідні лінгвістичні змінні		Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>
	БП01	1	0	0	0	0
	БП02	0	1	0	0	0
	БП03	0	0	1	0	0
	БП04	0	0	0	1	0
	БП05	0	0	0	0	1

Крок 4. Агрегування - побудова функції приналежності для вихідної лінгвістичної змінної. Для агрегування ступеня істинності передумов в розробленій СППР була використана Т-норма і min-кон'юнкція, для визначення ступеня істинності висновків по кожному правилу (імплікація) була використана операція min-активізація, а для акумулювання укладення за всіма правилами була використана операція тах-диз'юнкція..

*Крок 5.* дефазифікація - перетворення нечіткої множини в чітке число. СППР здійснює реалізацію нечіткого виведення на основі алгоритму Мамдані [3].

Виконуючи реалізацію система нечіткого виведення на етапі дефазифікації в СППР аналізу та управління ризиками проектів, ЛПР необхідно визначити мету аналізу, в якості якої може виступити будь-який показник ризику. Обрана мета визначає перелік вихідних факторів і необхідну для активізації базу правил. Вихідні фактори повинні знаходитися в робочій області продукційної мережі, а якщо вони там відсутні, їх необхідно ввести в систему або визначити по відповідній базі правил. З малюнка 3.2 видно, що для цілей ЛП03, ЛП06, ЛП09 і ЛП12 вихідні фактори ЛП01, ЛП02, ЛП04, ЛП05, ЛП07, ЛП08, ЛП10 і ЛП11 повинні бути задані ЛПР при аналізі проектних ризиків, а для мети ЛП 13 вхідні фактори повинні бути обчислені, так як вони є не вихідними, а цілями аналізу попередніх рівнів продукційної мережі, тобто підділі для основної мети аналізу ризиків.

Результатом нечіткого моделювання є якісна і кількісна оцінка показника ризику, а також ступінь впевненості в отриманій оцінці (Рис. 5.2.6.)



5.2.6. - Результат нечіткого моделювання

Розраховані дані використовуються СППР для визначення можливої шкоди від виникнення ризикової події, а також післядії його впливу на АТ. Після виконання всіх операцій система сформує детальний звіт про вихідний лінгвістичної змінної.

### 5.3. Реалізація нечіткої моделі підтримки гарантованого рівня безпеки польотів в програмному середовищі.

Існуючі методики аналізу та управління ризиками в основному базуються на застосуванні імовірнісних конструкцій, що використовує статистичні дані по раніше реалізованим проектам. Однак, з огляду на авіаційну діяльність, необхідні для цього статистично значущі оцінки виду і параметрів закону розподілу факторів, що впливають на проектний ризик, не можуть бути отримані через недостатність обсягів вибірки[189-192].

Застосовуються також методики ідентифікації проектних ризиків, що базуються на складній роботі з контрольними списками, які можуть включати в себе більше сотні позицій і вимагають додаткового залучення авіаційних експертів предметної області. Крім того, досить важко об'єднати в одній моделі кількісні і якісні фактори [3].

Для реалізації процесу нечіткого моделювання бази правил за допомогою пакета Fuzzy Logic Designer системи MATLAB особі, що приймає рішення, необхідно виконати наступні дії[1]:

*Крок 1.* Фазифікація- введення нечіткості. Даний крок передбачає завдання функцій належності для терм-множин вхідних і вихідних лінгвістичних змінних. У модель введено такі позначення:

X1 (ПАЗ) - ВхЛП «Програмно-апаратний рівень захисту»; x2 (ОргЗ) - ВхЛП «Рівень організаційної захисту»; x3 (ПравЗ) - ВхЛП «Рівень правового захисту»; y1



(Риск3) - ВихЛП «Ризик зниження ефективності захисту». Для змінної  $x_1$  використовується терм-множина, яка складається з трьох термів  $T = \{H, C, B\}$ . Вони визначають низький, середній і високий рівень програмно-апаратного захисту організації. ФП змінної  $x_1$  є трапецеїдальними і будуть виглядати наступним чином:

$$\mu_{\Delta}^H(x; 0; 0; 0,15; 0,45), \mu_{\Delta}^C(x; 0,1; 0,4; 0,6; 0,9), \mu_{\Delta}^B(x; 0,55; 0,85; 1,0; 1,0)$$

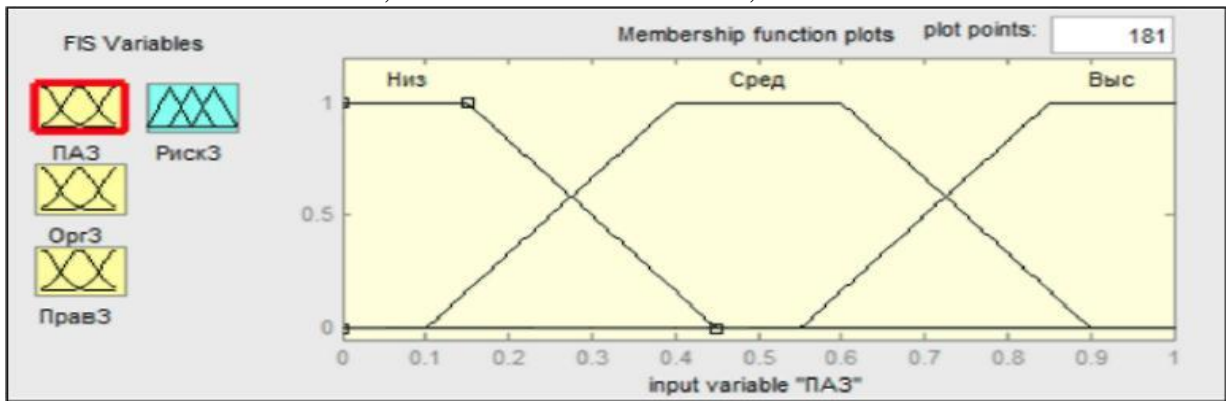


Рис. 5.2.7. – Функції належності для змінної «апаратного рівня захисту».

На малюнку 5.2.7. наведено графіки функцій належності терм-множеств лінгвістичної змінної «Програмно-апаратний рівень захисту»

Для змінної  $x_2$  використовується терм-множина, яка складається з трьох термів  $T = \{H, C, B\}$ . Вони визначають низький, середній і високий рівень організаційного захисту організації. Функції належності змінної  $x_2$  є трикутними і будуть виглядати наступним чином:

$$\mu_{\Delta}^H(x; 0; 0; 0,4), \mu_{\Delta}^C(x; 0,1; 0,5; 0,9), \mu_{\Delta}^B(x; 0,6; 1,0; 1,0)$$

На Мал. 5.2.8. показані графіки ФП терм-множин лінгвістичної змінної «Рівень організаційного захисту».

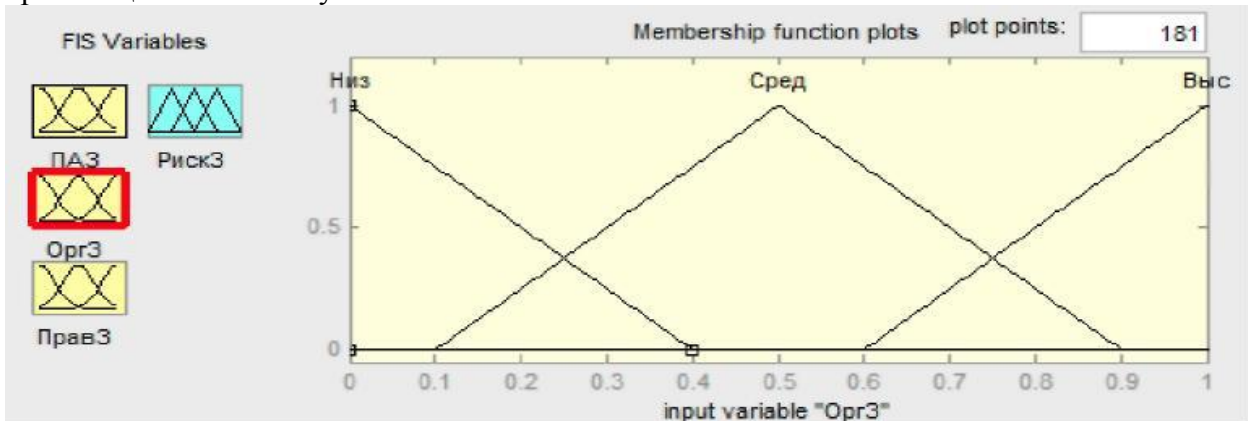


Рис. 5.2.8. - Функції належності для змінної Опр3

Для змінної  $x_3$  використовується терм-множина, яка складається з трьох термів  $T = \{H, C, B\}$ . Вони визначають низький, середній і високий рівень правового захисту організації. Функції належності змінної  $x_3$  є трапецеїдальними і будуть виглядати наступним чином:

$$\mu_{\Delta}^H(x; 0; 0; 0,15; 0,45), \mu_{\Delta}^C(x; 0,05; 0,45; 0,55; 0,99), \mu_{\Delta}^B(x; 0,55; 0,85; 1,0; 1,0)$$

На Рис. 5.2.9. показані графіки функції належності терм-множин лінгвістичної змінної «Рівень правового захисту».

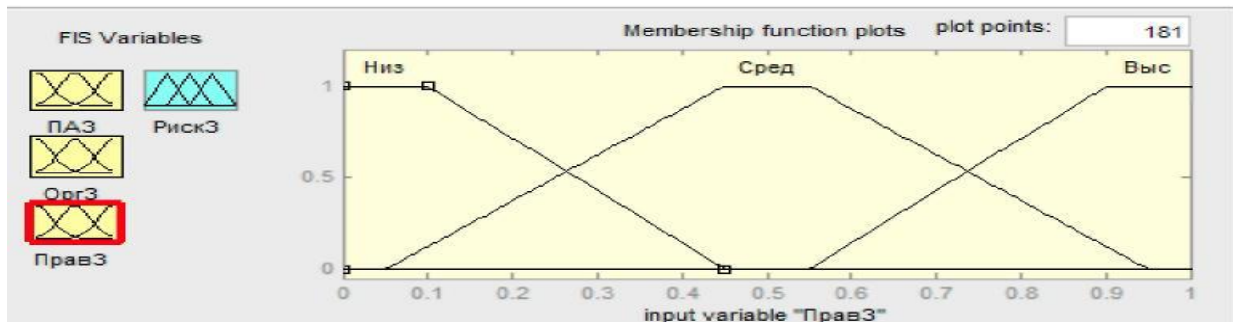


Рис. 5.2.9. - Функції належності для змінної Прав3

Для змінної  $u_1$  використовується терм-множина, яке складається з п'яти термів  $T = \{ОНОР, НОР, СОР, ВОР, ОВОР\}$ . Вони визначають рівні ризику зниження ефективності захисту. ФП змінної  $u_1$  є трапецеїдальними і будуть виглядати наступним чином:

$$\mu_{\Delta}^{ОНОР}(x;0;0;0,075;0,22), \mu_{\Delta}^{НОО}(x;0,02;0,2;0,3;0,48),$$

$$\mu_{\Delta}^{СОР}(x;0,28;0,45;0,55;0,72), \mu_{\Delta}^{ВОР}(x;0,52;0,7;0,8;0,98),$$

$$\mu_{\Delta}^{ОВОР}(x;0,78;0,925;1,0;1,0)$$

Крок 2. Введення нечітких правил. База правил задається у вигляді структури з трьома входами та одним виходом.

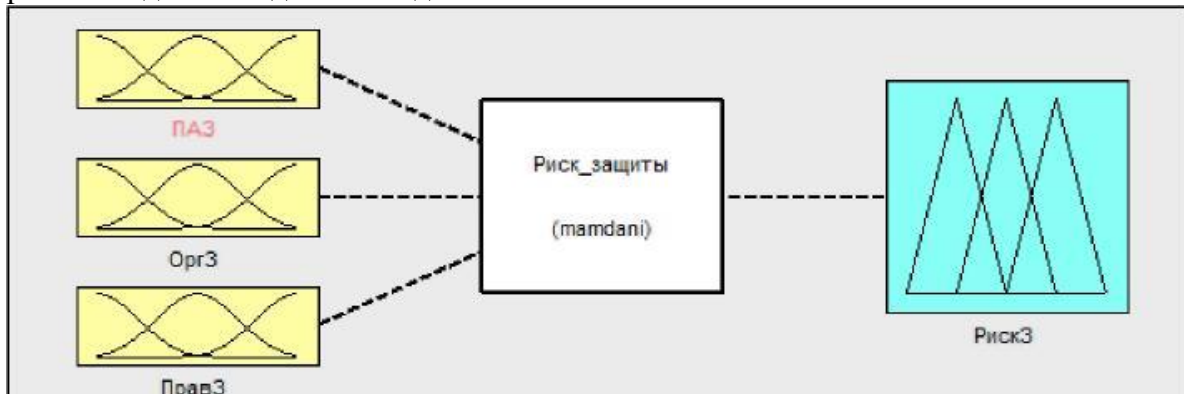


Рис 5.2.10. - Структура нечіткої моделі для бази правил П 1.

Фрагмент бази нечітких правил. Формування баз нечітких продукційних правил являє собою аналіз і дослідження вхідних і вихідних залежностей, а також обробку і формальне подання емпіричних знань експерта в досліджуваній області за схемою «Якщо ... То ...», наведено нижче [4,5]

Крок 3. Агрегація - побудова функції приналежності для вихідної лінгвістичної змінної, шляхом об'єднання «усічених» функцій належності вхідних змінних.

Для агрегування ступеня істинності передумов була використана Т-норма і  $\min$ -кон'юнкція:

$$T(\mu_A(X) \cap \mu_B(X)) = \min \{ \mu_A(X), \mu_B(X) \}$$

Для визначення ступеня істинності висновків по кожному правилу (імплікація) була використана операція  $\min$ -активізація:

$$\mu_R(x, y) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(y) \}$$

Для акумулювання укладення за всіма правилами була використана операція тах-диз'юнкція:

$$T(\mu_A(X) \cup \mu_B(X)) = \max \{ \mu_A(X), \mu_B(X) \}$$

Крок 4. дефазифікація - перетворення нечіткої множини в чітке число. Для цього був використаний метод центру тяжіння:

$$y' = \frac{\sum_{r=1}^{Y \max} y_r \mu_B(y_R)}{\sum_{r=1}^{Y \max} \mu_B(y_R)}$$

где  $Y_{\max}$  — число елементів,  $y_r$  в дискретизованій для обчислення «центру тяжести» області  $Y$ ;  $B'$  - нечетка множина, визначена на  $Y$ ;  $\mu_B(y_R) \in [0,1]$  функція належності нечіткої множини  $B'$ .

Припустимо, що після обстеження системи забезпечення безпеки польотів експлуатанта, експертами були отримані деякі оцінки рівнів факторів ризику, які були використані ЛПП у вікні механізму нечіткого виведення графічного інтерфейсу FuzzyLogicDesigner.

Значення ЛП - «Програмно апаратний рівень захисту» дорівнює 0,7 зі ступенем впевненості  $\mu_{x_1}^H = 0,65\mu$  що відповідає терму H - «досить, для базової інформаційного захисту». Значення ЛП  $x_2$  - «Рівень організаційної захисту» дорівнює 0,75 зі ступенем впевненості  $\mu_{x_2}^C = 0,7\mu$ , що відповідає терму C - «планування і моніторинг вразливостей проводяться нерегулярно». Значення ЛП  $x_3$  - «Рівень правового захисту» дорівнює 0,65 з

ступенем впевненості  $\mu_{x_3}^C = 1,0\mu$ , що відповідає терму C - «документація є, але недостатньо детальна».

Виходячи із заданих вихідних умов, Результуюче значення ЛП У1- «Ризик зниження ефективності захисту» дорівнює 0,386 зі ступенем впевненості  $\mu_{y_1}^{HOP} = 0,5\mu$ , що відповідає терму HOP - «Низька очевидність ризику».

Графічний інтерфейс пакета Fuzzy Logic Designer надає можливість отримання графіків залежності ВихЛП від будь-якої з ВхЛП при фіксованих значеннях двох інших вхідних змінних [30].

Графік, представлений на малюнку 6, показує зворотну залежність ВихЛП РискЗот ВхЛП ПАЗ, а також що значення ризику зниження ефективності захисту організації не опускається нижче 0,35 зі ступенем впевненості  $\mu_{y_1}^{HOP} = 0,57$ , що відповідає терму HOP - «Низька очевидність ризику», при значенні рівня програмно-апаратного захисту 0,85 зі ступенем впевненості  $\mu_{x_1}^B = 0,95\mu$ , що відповідає терму B - «повністю відповідає рівню конфіденційності інформації» і фіксованих значеннях рівня організаційної захисту 0,275 зі ступенем впевненості  $\mu_{x_2}^C = 0,5\mu$ , що відповідає терму C - «планування і моніторинг вразливостей проводяться нерегулярно» і рівня правового захисту 0,55 зі ступенем впевненості  $\mu_{x_3}^C = 1,0\mu$ , що відповідає терму C - «документація є, але недостатньо детальна».

Графік, представлений на малюнку 7, показує зворотну залежність ВихЛП РискЗот ВхЛП ОргЗ, а також що значення ризику зниження ефективності захисту організації не опускається нижче 0,5 зі ступенем впевненості  $\mu_{y_1}^{COP} = 1,0\mu$ , що відповідає терму COP - «Середня очевидність ризику», при значенні рівня організаційної захисту 0,4 зі ступенем впевненості  $\mu_{x_2}^C = 0,7\mu$ , що відповідає терму C - «планування і моніторинг

вразливостей проводяться нерегулярно» і фіксованих значеннях рівня програмно-апаратного захисту 0 зі ступенем впевненості  $\mu_{x_1}^H = 1,0\mu$ , що відповідає терму Н - «задовільна, для забезпечення начально рівня захисту» та рівня правового захисту 1 зі ступенем впевненості  $\mu_{x_3}^B = 1,0\mu$ , що відповідає терму В - «документація повна і синхронізована».

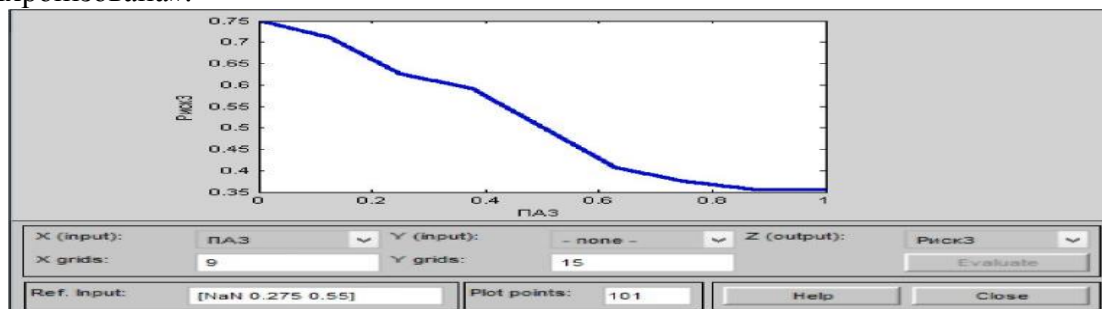


Рис 5.2.11 – Залежність змінної РискЗот ПАЗ 6

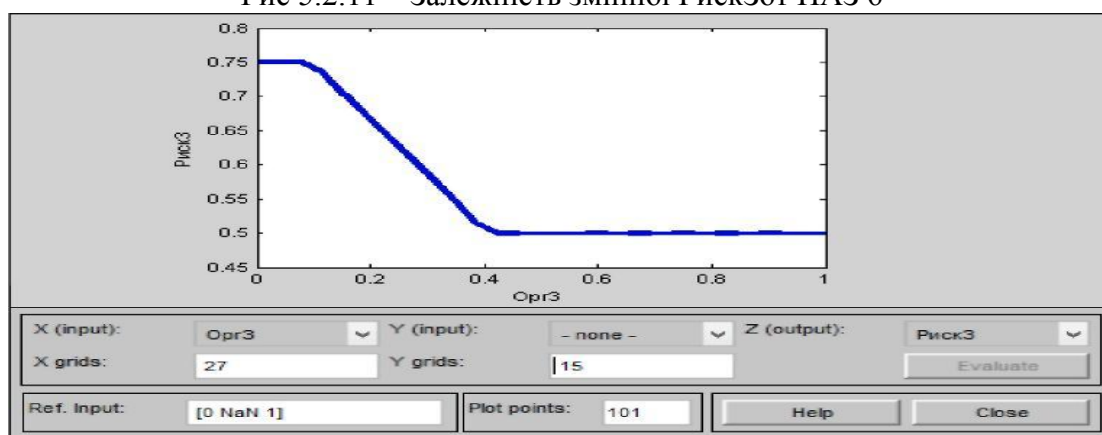


Рис 5.2.12. – Залежність змінної РискЗот ОргЗ

Графік, представлений на показує зворотну залежність ВихЛПРискЗот ВхЛПОргЗ, а також що значення ризику зниження ефективності захисту організації не опускається

нижче 0,25 зі ступенем впевненості  $\mu_{y_1}^{HOO} = 1,0\mu$ , що відповідає терму НОР - «Низька очевидність ризику», при значенні рівня правового захисту 1 зі ступенем впевненості

$\mu_{x_3}^B = 1,0\mu$ , що відповідає терму В - «документація повна і синхронізована» і фіксованих значеннях рівня програмно-апаратного захисту 0,5 зі ступенем впевненості

$\mu_{x_1}^C = 1,0\mu$ , що відповідаючи т терму С - «достатня, для базової інформаційного захисту» і рівня організаційної захисту 1 зі ступенем впевненості  $\mu_{x_2}^B = 1,0\mu$ , що відповідає терму В - «своєчасне планування і моніторинг вразливостей».

Наведені графіки, є проекцією «поверхні системи нечіткого виведення» на площину, утворену віссю ризику зниження ефективності захисту і відповідними вхідними лінгвістичними змінними. Вони дозволяють оцінити адекватність властивостей механізму виведення, гарантувати його якість і пояснюють поведінку механізму оцінки ризику зниження ефективності захисту, а також дозволяють прогнозувати зміну ризику при певних умовах. В даному випадку «криві виведення» свідчить про наявність «порогового» ефекту, який показує, що в кожному конкретному випадку необхідно забезпечити певний «пороговий» рівень програмно-апаратної, організаційної та правового захисту організації. Представлені графіки дозволяють обґрунтувати величину цього рівня[197].

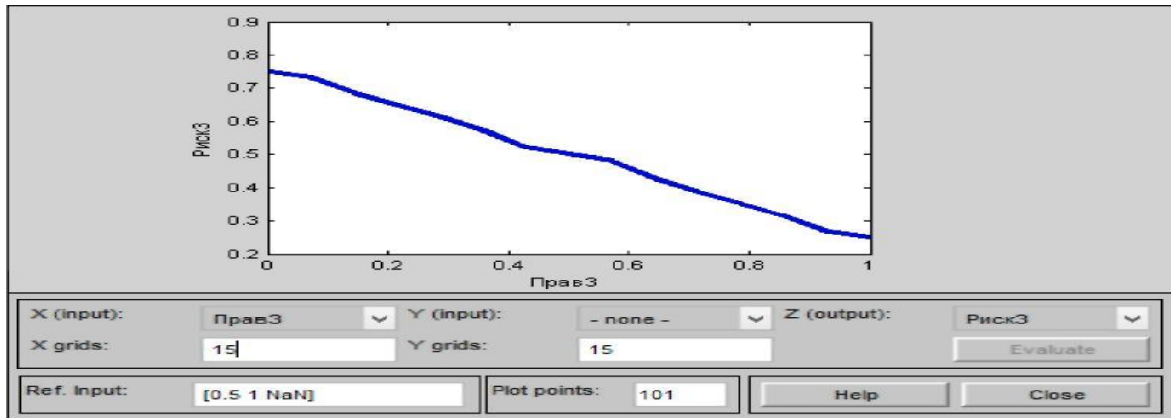


Рис 5.2.13. – Залежність змінної РискЗот ПравЗ

На малюнках 5.2.14, 5.2.15, 5.2.16 наведені поверхні нечіткої моделі, які показують, як вихідна лінгвістична змінна залежить від двох вхідних з фіксованим значенням третин змінної.

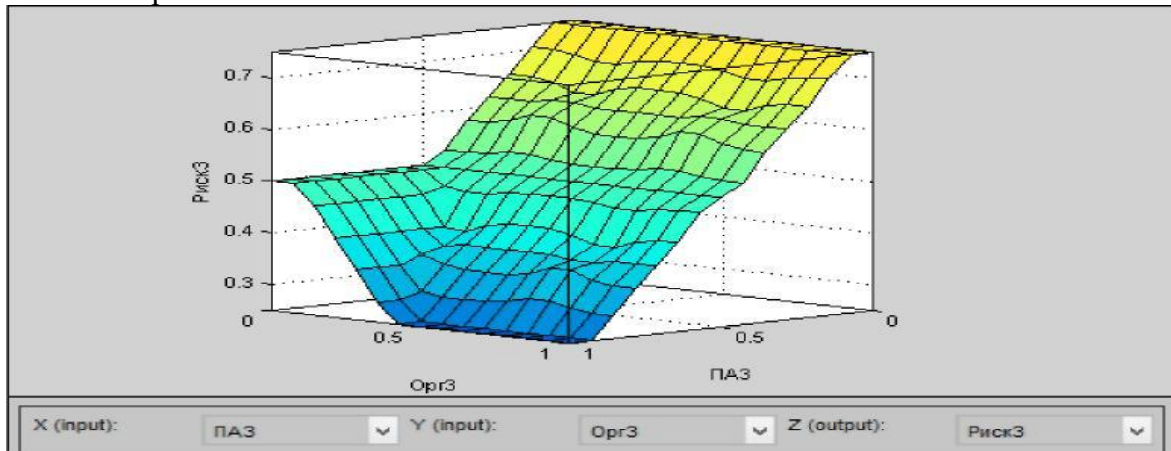


Рис.5.2.14– Поверхня виводу відносно ВхЛППАЗ и 9

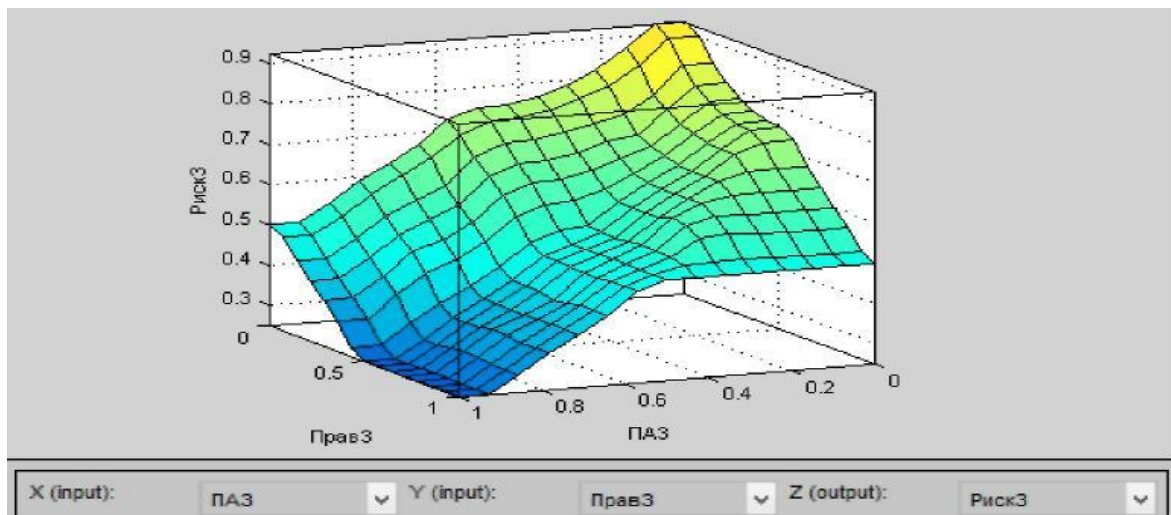


Рис. 5.2.15 – Поверхня виводу відносно ВхЛППАЗ

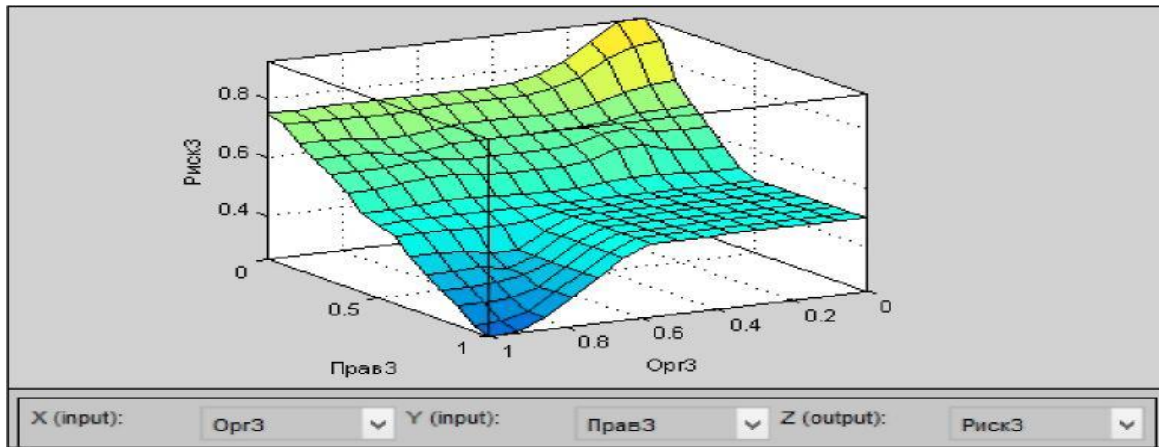


Рис 5.2.16 - Поверхня виводу відносно ВхЛПП ОргЗ

Наведені графіки залежностей «поверхонь виведення» і «кривих виведення» - гладкі і монотонні, це свідчать про те, що «якість» механізму виведення хороше, а використовувані правила виведення достатні і несуперечливі.

### 5.3.1. Визначення оптимального рішення в проекції мінімізації безкорисностей

Розглянемо колектив, який складається з  $n$  членів; його завдання – прийняти вектор-рішення  $x$ . Його  $i$ -тий член ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) віддає перевагу рішенню, що задовольняє умовам Фон Неймана-Моргенштерна з функцією корисності, що має максимум в  $x_i$ . З точки зору  $i$ -того члена рішення являється оптимальним. Асоційована функція безкорисності має вигляд

$$d_i(x) = u_i(x_i) - u_i(x) \quad (5.3.1.1)$$

і задовольняє умовам  $d_i(x_i) = 0$  і  $d_i(x) > 0$  для  $x \neq x_i$ ; вона єдина з точністю до лінійного однорідного перетворення.

#### Перегляд симетричного підходу

Харсані наклав умови Фон Неймана-Моргенштерна на побажання членів колективу, в результаті чого виходить функція корисності колективу, єдина з точністю до лінійного перетворення. Він довів, що якщо від колективу вимагати індивідуальності відносно двох пропозицій  $P_1$  і  $P_2$ , якщо всі члени колективу індивідуальні відносно  $P_1$  і  $P_2$ , функція корисності колективу повинна бути лінійною функцією від  $u_1(), \dots, u_n()$ . Це еквівалентно тому, що функція безкорисності колективу має вигляд

$$d(x) = \sum_{i=1}^n w_i d_i(x) \quad (5.3.1.2)$$

так що проблема рішення колективу зводиться до належного вибору значень  $w_i$ .

Харсані також довів, що величини  $w_i$  повинні бути додатними, якщо вимагати, щоб колектив віддавав перевагу  $P_1$  і  $P_2$  за умови, якщо один член колективу вибирає  $P_1$  і  $P_2$ , а інші індивідуальні по відношенню до цієї альтернативи. Так ми приходимо до граничної ситуації, допускаючи рівність всіх коефіцієнтів  $w_i$  нулю, крім одного. Якщо  $w_j = 1$  і  $w_i = 0$  для всіх  $i \neq j$  в (2),  $d(x) = d_j(x)$ , так що колектив приймає рішення  $x_j$  і заподіює безкорисність  $d_i(x_j)$  своєму  $i$ -тому, що являється  $(i, j)$ -тим елементом  $n \times n$  матриці  $[d_i(x_j)]$ . Необхідно, щоб величини  $w_i$  були визначені цією матрицею на тій підставі, що вони дають повний опис безкорисностей, які відчувають

всі  $n$  члени колективу під час прийняття рішення, за яке висловилися всі  $n$  членів. Це виражається наступним чином

$$w_i = f(d^i; d^1, \dots, d^{i-1}, d^{i+1}, \dots, d^n) \quad (5.3.1.3)$$

де  $d^i = [d_i(x_1) \dots d_i(x_n)]$  це  $i$ -тий рядок матриці  $[d_i(x_j)]$ .

Оскільки кожна функція безкорисності єдина з точністю до однорідного лінійного перетворення, ми можемо помножити  $d_i(x)$  на будь-який додатний скаляр  $c_i$ . Це залишить функцію безкорисності колективу (5.3.1.2) без змін. Також, це показує, що (5.3.1.3) повинно бути однорідним степені  $-1$  за першим аргументом і однорідною степені  $0$  за всіма іншими аргументами

$$f(c_i d^i; c_1 d^1, \dots, c_{i-1} d^{i-1}, c_{i+1} d^{i+1}, \dots, c_n d^n) \quad (5.3.1.4)$$

де  $c$  – всі додатні. Крім того, із (5.3.1.1) випливає, що матриця  $[d_i(x_j)]$  має нульові діагональні елементи. Якщо індивідуальні оптимальні рішення попарно різні ( $x_i \neq x_j$  при  $i \neq j$ ), всі недіагональні елементи додатні, оскільки всі  $x_i$  єдині за припущенням. Тейл [8, ст. 343-344] показав, що за цієї умови і за ще однієї (сформульованій у наступному параграфі)  $w_i$ , отримані з (5.3.1.3) та (5.3.1.4) повинні задовольняти

$$w_i d_i(x_j) = w_j d_j(x_i), \quad i, j = 1, \dots, n \quad (5.3.1.5)$$

Ліва частина – це безкорисність, відчутна  $i$  та викликана  $x_j$  після лінійного перетворення функції безкорисності  $i$ , де  $c_i$  в (5.3.1.4) вибрані як  $w_i$ . Якщо ця умова виконана, функція безкорисності колективу – це просто сума індивідуальних безкорисностей і (5.3.1.5) забезпечує симетричність  $n \times n$  матриці безкорисностей  $[w_i d_i(x_j)]$ .

Суттєва умова, що лежить в основі (5.3.1.5) полягає в тому, що  $w_i/w_j$  не повинне залежати від  $d_h(x_k)$  для всіх значень чотирьох індексів, які задовольняють наступним умовам:  $h \neq i \neq k$  і  $h \neq j \neq k$ . Цим забезпечується те, що  $w_i/w_j$  не змінюється, коли третій член колективу віддає перевагу іншому рішенням або залишає колектив.

Рівні суми у рядках і стовпцях матриці безкорисностей

Проблема з умовою (5.3.1.5) полягає у тому, що зазвичай майже неможливо задовольнити її, оскільки вона включає  $\frac{1}{2}n(n-1)$  умов, а є тільки  $n-1$  значень  $w_j$  (відіграють роль тільки їх відношення). Більш слабка версія має вигляд

$$\sum_{j=1}^n w_i d_i(x_j) = \sum_{j=1}^n w_j d_j(x_i), \quad i = 1, \dots, n \quad (5.3.1.6)$$

що рівноцінно попарній рівності сум у рядку  $i$  у стовпці матриці безкорисностей. Можна переписати (5.3.1.6) у матричному вигляді

$$w \begin{bmatrix} -\sum_j d_1(x_j) & d_1(x_2) & \dots & d_1(x_n) \\ d_2(x_1) & -\sum_j d_2(x_j) & \dots & d_2(x_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_n(x_1) & d_n(x_2) & \dots & -\sum_j d_n(x_j) \end{bmatrix} = 0 \quad (5.3.1.7)$$

де  $w = [w_1, \dots, w_n]$ . Звідси видно, що (5.3.1.6) означає те, що  $w$  – є власним вектором матриці елементів, нульовий корінь одиниць і  $w$  складається із елементів одного знаку, який без втрати спільності можна вважати додатним. Це узгоджується з умовою на знаки, сформульованою у попередньому параграфі (5.3.1.2). Крім того,  $w$  задовольняє умову однорідності (5.3.1.4) і умову симетрії (5.3.1.5), якщо існує вектор  $w$ , що задовольняє даним умовам.

**Випадкове рішення колективу.** Якщо немає вектора  $w$ , що задовольняє умову (5.3.1.5), умова (5.3.1.6) гарантує тільки «приблизну симетрію» матриці безкорисностей. Оскільки існує безкінечно багато способів апроксимувати симетрію, варто оглянути питання більш детально.

Ми називаємо випадковим рішенням колективу випадковий вектор  $x$ , який приймає значення  $x_1, \dots, x_n$  (індивідуальні оптимальні рішення) з ймовірністю  $\frac{1}{n}$ . Оскільки, за припущенням, рішення  $i$ -того члена колективу задовольняє умови Фон Немана-Моргенштерна, безкорисність випадкового рішення, яку відчуває цей член колективу, є арифметичною сумою елементів відповідного йому рядка матриці безкорисностей:

З іншої сторони, рішення, яке захищає  $i$ -тий член колективу, накликає на  $n$  членів середню безкорисність, що дорівнює

Порівнюючи (5.3.1.8) і (5.3.1.9) з (5.3.1.6), ми приходимо до висновку, що рівність сум у рядку і у стовпці матриці безкорисностей можна назвати слабкою умовою симетрії. В (5.3.1.5) ми маємо умову симетрії для кожної пари членів колективу. В (5.3.1.6) ми маємо умову симетрії для кожного члена і випадкового рішення колективу, коли безкорисність, яку відчуває  $i$ -тий член під час випадкового рішення колективу дорівнює середній безкорисності, яку відчуває  $n$  членів колективу під час прийняття рішення, якому  $i$ -тий член віддає перевагу.

Безкорисність колективу під час випадкового рішення дорівнює сумі  $n^2$  елементів матриці безкорисностей, поділеної на  $n$ , що випливає із (5.3.1.2), а також із того факту, що побажання членів колективу задовольняють умовам Фон Неймана-Моргенштерна.

#### **Матриця безкорисностей як матриця ймовірностей**

Оскільки має значення тільки відношення  $w_i$ , ми можемо провести нормалізацію, в результаті якої сума елементів матриці безкорисностей буде дорівнювати 1:

$$\boxed{1} \quad \text{Кожен елемент матриці безкорисностей,} \quad (5.3.1.11)$$

$$\pi_{ij} = w_i d_i(x_j), \quad i, j = 1, \dots, n, \quad (5.3.1.12)$$

може тепер розглядатися, як ймовірність із  $n \times n$  двовимірного розподілу, а (6) означає, що два маргінальні розподіли ідентичні:

$$\sum_{j=1}^n \pi_{ij} = \sum_{j=1}^n \pi_{ji} = \pi_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (5.3.1.13)$$

Двовимірні ймовірності задовольняють умову

$$\begin{aligned} \pi_{ij} &= 0 & \text{if } i = j, \\ \pi_{ij} &> 0 & \text{if } i \neq j. \end{aligned} \quad (5.3.1.14)$$



Крім того, із нормалізації (5.3.1.11) випливає, що безкорисність колективу під час випадкового рішення дорівнює  $\frac{1}{n}$

Ланцюг дебатів Маркова

Умови (5.3.1.13) і (5.3.1.14) означають, що  $[\pi_{ij}]$  можна розглядати, як матрицю переходів регулярного ланцюга Маркова. Для доказу цього ми визначимо

$$p_{ij} = \frac{\pi_{ij}}{\pi_j}, \quad i, j = 1, \dots, n, \quad (5.3.1.16)$$

як умовну ймовірність переходу в стан  $i$ , якщо система в даний час знаходиться у стані  $j$ .

Із (5.3.1.14) випливає, що недіагональні елементи  $[\pi_{ij}]$  додатні, тому  $\pi_j > 0$ , звідки слідує те, що  $[p_{ij}]$  існує, і також має додатні недіагональні елементи. Отже, ланцюг Маркова регулярний і  $\pi_1, \dots, \pi_n$  – додатні ймовірності стабільного стану. Якщо досягнуто стабільного стану, то  $\pi_{ij} = \pi_j p_{ij}$  є ймовірністю того, що стани  $j$  та  $i$  зміняться саме в цій послідовності (без проміжних станів між ними. Це типовий елемент матриці ймовірностей переходу, у якій суми по рядках і по стовпцях є ймовірностями стабільного стану у відповідності з (5.3.1.13).

Симетрія і оборотний ланцюг Маркова

Умова симетрії (5.3.1.5) набуває наступного вигляду в позначеннях (5.3.1.12)

$$\pi_{ij} = \pi_{ji}, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (5.3.1.17)$$

Це рівносильно симетрії нашої матриці переходів, що являється необхідною і достатньою умовою оберненості ланцюга Маркова. Іншими словами, якщо стабільний стан досягнутий, зворотна послідовність ораторів також являється ланцюгом Маркова, і матриця її ймовірностей переходу ідентична матриці ймовірностей переходу прямого ланцюга.

Якщо задоволено (5.3.1.17), ми можемо розглядати рекомендації  $n$  членів колективу як ідеально порівнянні, оскільки безкорисність  $i$ , заподіяна рекомендацією  $j$ , дорівнює безкорисності  $j$ , викликаною рекомендацією  $i$  для всіх пар  $(i, j)$ . (Зауважимо, що ідеальна порівнянність не виключає розбіжностей!). Якщо (5.3.1.17) порушується для деякої пари  $(i, j)$ , то рекомендації  $i$  та  $j$  порівнянні не ідеально.

**Ступінь непорівнянності**

Аналіз порівнянності побажань – цікавий побічний продукт ймовірнісного підходу. Те, що буде запропоновано нижче, є більш цікавим підходом до задачі, чим написане мною в (8, ст. 354-355).

Оскільки ми розглядаємо безкорисності як ймовірності, то ми можемо скористатися концепціями теорії інформації. Нехай  $[\widehat{\pi}_{ij}]$  довільна, але симетрична матриця ймовірностей. Тоді розглянемо

$$I = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \pi_{ij} \log \frac{\pi_{ij}}{\widehat{\pi}_{ij}} \quad (5.3.1.18)$$

що являється очікуваною інформацією повідомлення, яке переводить  $\widehat{\pi}_{ij}$  як апіорні ймовірності, в  $\pi_{ij}$  як апостеріорні ймовірності. Ця очікувана інформація зникає тоді, коли матриці  $[\widehat{\pi}_{ij}]$  та  $[\pi_{ij}]$  виявляються однаковими, але це, зрозуміло, можливо тільки тоді, коли  $[\pi_{ij}]$  симетрична, оскільки на  $[\widehat{\pi}_{ij}]$  накладена вимога

симетрії. Якщо  $[\pi_{ij}]$  не симетрична, то (5.3.1.18) дає додатне значення для будь-якої симетричної  $[\widehat{\pi}_{ij}]$ ; визначимо  $I$  як мінімум (5.3.1.18) по всіх симетричних  $[\widehat{\pi}_{ij}]$  при даній  $[\pi_{ij}]$ . Це еквівалентно максимізації

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \pi_{ij} \log \widehat{\pi}_{ij} &= \sum_{i < j} \sum \pi_{ij} \log \widehat{\pi}_{ij} + \sum_{i > j} \sum \pi_{ij} \log \widehat{\pi}_{ij} \\ &= \sum_{i < j} \sum [(\pi_{ij}] + \pi_{ji}) \log \widehat{\pi}_{ij} \end{aligned}$$

де перший знак рівності викликаний тим, що  $\pi_{ij} = 0$ , а другий – тим, що  $\pi_{ij} = \pi_{ji}$ . Легко перевірити, що коли максимізується вираз у другому рядку, за умови обмеження суми  $\widehat{\pi}_{ij}$ , результат виявляється рівним

$$\widehat{\pi}_{ij} = \frac{\pi_{ij} + \pi_{ji}}{2}, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (5.3.1.19)$$

Це найкраща симетрична апроксимація  $[\pi_{ij}]$  в теоретико-інформаційному сенсі. Із (5.3.1.13) витікає, що

$$\sum_{j=1}^n \widehat{\pi}_{ij} = \sum_{j=1}^n \widehat{\pi}_{ji} = \pi_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (5.3.1.20)$$

означає те, що симетрична апроксимація зберігає суми рядків і стовпців початкової матриці  $[\pi_{ij}]$ .

Підставляючи (5.3.1.19) в (5.3.1.18) ми отримаємо те, що може бути названо ступенем непорівнянності рекомендацій членів колективу. Це можна розповсюдити на індивідуальні суми рядків і стовпців  $[\pi_{ij}]$ . Ймовірності, що відповідають  $i$ -тому рядку та пропорційні безкорисності, яка відчувається  $i$ -тим членом, мають форму  $\frac{\pi_{ij}}{\pi_i}$ .

Симетрична апроксимація цього відношення має вигляд  $\frac{\widehat{\pi}_{ij}}{\pi_i}$ , маючи на увазі (5.3.1.20).

Поширення (5.3.1.18) на  $i$ -тий рядок має вигляд

$$I_i = \sum_{j=1}^n \frac{\pi_{ij}}{\pi_i} \log \frac{\pi_{ij}}{\frac{\widehat{\pi}_{ij}}{\pi_i}} = \frac{1}{\pi_i} \sum_{j=1}^n \pi_{ij} \log \frac{\pi_{ij}}{\widehat{\pi}_{ij}}. \quad (5.3.1.21)$$

Ймовірності, що асоціюються з  $j$ -тим стовпцем  $[\pi_{ij}]$  мають вигляд  $\frac{\pi_{ij}}{\pi_j}$ , що еквівалентно ймовірностям переходу  $P_{ij}$ , які визначені в (5.3.1.16). Звідси витікає

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{\pi_{ij}}{\pi_j} \log \frac{\pi_{ij}}{\frac{\widehat{\pi}_{ij}}{\pi_j}} = \frac{1}{\pi_j} \sum_{i=1}^n \pi_{ij} \log \frac{\pi_{ij}}{\widehat{\pi}_{ij}}. \quad (5.3.1.22)$$

Комбінуючи (5.3.1.21) і (5.3.1.22) з (5.3.1.18), ми знаходимо

$$I = \sum_{i=1}^n \dots \quad (5.3.1.23)$$

що показує те, що ступінь непорівнянності рекомендацій членів колективу – це зважене середнє ефектів рядків, по одному на кожного члена, що відчуває

безкорисність, а також зважена сума ефектів стовпців, по одному на кожного члена, що викликає безкорисність. Вважаючи, що в обидві суми входять одні і ті ж ваги.

### Застосування

Ми використаємо приклад, описаний в що заснований на квадратичних функціях безкорисності членів колективу,

$$d_i(x) = (x - x_i) K_i (x - x_i) \quad (5.3.1.24)$$

де  $K_i$  – це симетрична додатна визначена матриця. Якщо  $K_1 = K_2 = \dots = K_n$ , то матриця  $[d_i(x_j)]$  симетрична і (5.3.1.2) можна максимізувати для  $w_1 = \dots = w_n$ , що дає оптимальне рішення колективу, яке дорівнює арифметичному середньому векторів  $x_1, \dots, x_n$ . Це тривіально узагальнюється на випадок, коли всі  $K_i$  розрізняються скалярним множником.

Якщо  $K_i$  відрізняються більш суттєво, зазвичай не вдається отримати симетричну матрицю безкорисностей. У цьому випадку потрібно визначити  $w_i$  із (5.3.1.7), після чого максимізація (5.3.1.2) дає оптимальне рішення колективу,

$$x_o = \left( \sum_{i=1}^n w_i K_i \right)^{-1} \sum_{i=1}^n w_i K_i x_i \quad (5.3.1.25)$$

яке можна розглядати як матрично-зважене середнє індивідуальних оптимальних рішень.

У нашому випадку ми маємо три члени колективу, причому один із них представляє працю (L), другий представляє робочих (E) і третій – нейтральний член (N). Їхнє завдання – керувати економікою Данії, у тому сенсі, що вони повинні розпорядитися урядовими капіталовкладеннями, рівнем національної зарплати і трьома рівнями податків (п'ять елементів вектор-рішення  $x$ ). Члени колективу враховують також інші неконтрольовані змінні, але ці змінні виключаються за допомогою економетричної моделі, яка описує економіку Данії. У результаті отримано три функції безкорисності виду (5.3.1.24) з різними  $x_i$  та  $K_i$ , що приводить до наступної матриці безкорисностей:

$$[w_i d_i(x_j)] = \begin{bmatrix} \dots & 12.618w_1 & 9.082w_1 & (L) \\ 300.747w_2 & \dots & 18.822w_2 & (E) \\ 17.654w_3 & 1.608w_3 & \dots & (N) \\ (L) & (E) & (N) & \end{bmatrix}$$

Точки на діагоналі замінюють нулі. Застосовуючи (5.3.1.7) і нормалізацію (5.3.1.11), ми отримуємо матрицю безкорисностей у чисельному вигляді, причому підраховані суми стовпців і рядків  $[\pi_{ij}]$ :

$$\begin{array}{cccccc} \dots & 0.2802 & 0.2018 & \mathbf{0.4820} & (L) \\ 0.2810 & \dots & 0.0176 & \mathbf{0.2986} & (E) \\ 0.2010 & 0.0184 & \dots & \mathbf{0.2194} & (N) \\ \mathbf{0.4820} & \mathbf{0.2986} & \mathbf{0.2194} & \mathbf{1} & \end{array} \quad (5.3.1.26)$$

Ваги  $w_i$ , отримані із (5.3.1.7) підставляються в (5.3.1.25), що дає оптимальне рішення колективу  $x_o$ . Потім це  $x_o$  підставляється в (5.3.1.2), тому мінімальна безкорисність колективу виявляється 0.1423. Ця цифра суттєво менша безкорисності колективу 1/3, яка отримується під час випадкового рішення колективу, а також набагато менша безкорисностей колективу під час прийняття трьох індивідуальних оптимальних рішень, наведених в останньому рядку матриці (5.3.1.26). Із (5.3.1.2) витікає, що мінімальна безкорисність колективу складається із трьох компонент,  $w_i d_i(x_o), i = 1, 2$  і  $3$ , кожна з яких вимірює безкорисність, яку відчуває один із членів

колективу під час прийняття оптимального рішення. Ці три компоненти дорівнюють 0.0863 для L, 0.0289 для E і 0.0271 для N. Не дивно, що представник праці зайняв 50% часу у ланцюгу дебатів Маркова ( $\pi_1 = 0.4820$  у останньому стовпці (5.3.1.26).

Матриця безкорисностей (5.3.1.26) близька до симетрії. Коефіцієнт розходження (5.3.1.18) дорівнює в натуральних логарифмах

$$I = 10.3 \times 10^{-6} \quad (5.3.1.27)$$

і його компоненти (5.3.1.21) і (5.3.1.22) дорівнюють

$$\begin{aligned} I_1 &= 1.4 \times 10^{-6}, & I_1 &= 1.4 \times 10^{-6}, \\ I_2 &= 16.2 \times 10^{-6}, & I_2 &= 15.5 \times 10^{-6}, \\ I_3 &= 21.6 \times 10^{-6}, & I_3 &= 22.5 \times 10^{-6}. \end{aligned} \quad (5.3.1.28)$$

де індекси 1, 2 і 3 відносяться до L, E і N відповідно. Ми приходимо до висновку, що побажання представника праці більш порівняні з колективом, ніж побажання двох інших членів.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У монографії розв'язана наукова-технічна проблема, яка спрямована на створення єдиної методології забезпечення та підтримки гарантованого рівня безпеки польотів в процесі здійснення авіаційної діяльності.

В результаті знайшла подальший розвиток система управління ефективністю діяльності, яка передбачає наступну ієрархічну структуру оцінок:

1. загальні результати роботи системи, включаючи коефіцієнт аварійності і значні проблеми в області безпеки польотів (наприклад, зіткнення справного повітряного судна із землею (CFIT), втрата управління, несанкціоновані виїзди на ВПП);

2. поведінка систем постачальників авіаційного обслуговування (наприклад, ефективність роботи основних систем, таких як підготовка, технічне обслуговування, експлуатаційний контроль, безпека кабіни пілотів);

3. діяльність органів регулювання в сфері авіації (наприклад, сертифікація, забезпечення гарантованого рівня безпеки польотів та ін.).

4. Запропонований трирівневий підхід забезпечує основу для оцінки безпеки польотів шляхом зіставлення результатів і процесів на різних рівнях: результати гарантованого рівня в галузі забезпечення безпеки польотів, поведінка постачальників обслуговування і діяльність органів регулювання. Дані заходи являються засобом оцінки можливостей системи і управління факторами ризику при здійсненні авіаційної діяльності

Розроблені в рамках розвитку теорії безпеки польотів концепції, принципи та підходи дозволяють у всій повноті враховувати специфіку процесів здійснення авіаційної діяльності, щоб результати цієї теорії можна було успішно використовувати на всіх етапах життєвого циклу авіаційної системи. Аналіз показує, що в якості основної методології в теорії безпеки польотів слід вибрати методологію системного аналізу та сучасної теорії синтезу складних динамічних систем, теорію нечітких множин, теорію можливості, теорію ігор. Дана методологія знаходить своє відображення і реалізацію, насамперед у принципах, покладених в основу забезпечення безпеки польотів. Серед них, в першу чергу, слід виділити принцип програмно-цільового управління, відповідно до якого в першу чергу, орієнтуватися на кінцеві цілі, які стоять перед авіаційною системою в конкретних обставинах. Для цього повинна розроблятися відповідна комплексна програма безпеки польотів, на державному рівні що погоджує процеси функціонування окремих елементів, підсистем авіаційної діяльності в єдине ціле. Однак практичне використання зазначеного принципу в кожній конкретній ситуації вимагає розробки відповідних способів, методів і методик, в яких повинна враховуватися специфіка окремих елементів.

Основні наукові результати проведених у роботі досліджень, висновки й рекомендації полягають у наступному:

1. Розроблено логіко-інформаційна модель формування ризику, що відображає доцільність розуміння, як ймовірно-вартісного показника зниження якості інформації в результаті впливу факторів зовнішнього і внутрішнього середовища різної природи, що дозволило обґрунтувати вибір нечітких Байєсовських мереж для оцінки можливості виникнення ризиків, що дозволило підвищити обґрунтованість прийняття управлінських рішень щодо зниження ризиків.

2. Розроблена комплексна нечітка Байєсовська продукційна система оцінки ризиків, яка включає два етапи (розрахунок можливості виникнення ризиків і збитків від їх виникнення) і дозволяє виявити найбільш небезпечні ризики і напрямки розробки управлінських рішень по їх мінімізації.

3. Запропоновано структуру, методика побудови і процедура логічного висновку в комбінованій нечіткій байєсівській мережі для визначення можливості настання інформаційних ризиків, що дозволяє використовувати циклічність зв'язку між

показниками інформаційного ризику трьох видів, для кожного з яких запропонований свій спосіб опису, оптимальний для природи невизначеності відповідного вузла.

4. Запропоновано нечітко-продукційна процедура розрахунку збитку від настання ризиків промислових підприємств, яка базується на уявленні шкоди у вигляді ієрархічного дерева та використанні операцій нечітко-логічного висновку, що дозволяє визначати ризики з максимальним збитком і здійснювати оперативне управління ними.

5. Запропонована архітектура комп'ютеризованої системи управління інформаційними ризиками заснована на розроблених автором нечітко-продукційних і імовірнісних методах і інструментах, застосування якої забезпечує прийняття раціональних рішень щодо запобігання та зниження інформаційних ризиків підприємств.

6. За допомогою аналізу існуючих підходів щодо управління ризиками виявлені основні етапи, з яких повинен складатися процес управління ризиками. Обґрунтовано доцільність застосування нечітких моделей для управління ризиками в процесі реалізації проекту.

7. Розроблено нечітку модель управління ризиками з використанням математичного апарату операцій, визначених на нечітких множинах. Розглянуто загальний вигляд математичної моделі нечіткого виведення, розроблені набори лінгвістичних змінних нечіткої моделі, відповідної предметної області, визначені терм-множини для лінгвістичних змінних. Показано, що аналіз проектних ризиків заснований на механізмі нечіткої логіки має широкі можливості і дозволяє адаптувати його до наявних моделей управління ризиками, а також модифікувати з урахуванням реальних умов авіаційної діяльності.

8. Створено методику застосування СППР управління ризиками, яка дозволить ЛПР істотно підвищити ефективність прийняття рішень в умовах невизначеності і знизити витрати при виникненні несприятливих ситуацій. Для методу характерна легкість взаємодії з ЛПР. Даний метод може без особливих клопотів забезпечити потрібну інформацію. Метод відповідає тій задачі, в якій він використовується, тому ЛПР, що буде його використовувати, і відповідає тій організаційній структурі, в якій він буде застосовуватися. Потрібно представити важливе методологічне покращення способу Маргліна;

9. Розроблена методологія забезпечення та підтримки гарантованого рівня безпеки польотів впроваджена в процес підготовки авіаційних спеціалістів, проводимих по запитаві авіаційних адміністрацій держав-учасників угоди о цивільній авіації та використанні повітряного простору під егідою ІСАО.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акофф Р. Эмерри Ф. "О целеустремленных системах". /Р. Акофф, Ф.Эмери // Изд 2-е, доп., М.: 2008г.-272С.
2. Акперов Г.И., Долятовский В.А. Управление проектами: учебно-методический комплекс. Ростов-на-Дону: ИУБиП, 1999.
3. Алексеев О.Н. Бондарев Д.І. Перспективи розвитку безпілотного та муніципального авіаційного транспорту Системи обробки інформації Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил (випуск 8(145) 2016
4. Алексеев О.Н. Буцик И.М. О некоторых новых подходах к классификации авиационных событий Труды общества независимых исследователей авиационных происшествий. Москва 2014, 298с.
5. Алексеев О.Н. Деякі питання аеронавігаційного обслуговування України Всеукраїнська науково-практична конференція Проблеми навігації та управління рухом. Київ 2015
6. Алексеев О.Н. Некоторые аспекты гарантированного поддержания безопасности при реализации авиационной деятельности на всех ее стадиях, а также заданного уровня надежности Труды общества независимых исследователей авиационных происшествий. Москва 2017, Сборник №28 298с.
7. Алексеев О.Н. Перспектива развития авиационно-технической судебной экспертизы Криміналістика і судова експертиза. Юридичний Вісник Національного авіаційного університету «Повітряне і космічне право» №1(42)2017.
8. Алексеев О.Н. Проблеми розвитку аеронавігаційного обслуговування в Україні Науково-практична конференція Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM. Київ 2014
9. Алексеев О.Н., Бондарев Д.І., Шмельова Т.Ф., Седіна А.І. Ummanned Aircraft Usage in the Municipal Air Transport of Ukraine/ Proceeding The seventh world congress "Aviation in the XXI-st century" Safety in aviation and Spase Technologies/September 19-21,2016 Kyiv
10. Алексеев О.Н., Буцик И.М. Анализ факторов влияющих на принятие решения диспетчером при управлении воздушным движением Труды общества независимых исследователей авиационных происшествий, Москва 2011, 267с.
11. Алексеев О.Н., Буцик И.М. Мониторинг опасных факторов – эффективное средство управления безопасностью полетов Труды общества независимых исследователей авиационных происшествий, Москва 2013, 390с.
12. Алексеев О.Н., Волкогон В.А., Колеснік Т.А., Юрчик Р.І. Управляющие решения для снижения рисков возникновения авиационных происшествий до приемлемого уровня./Системи обробки інформації/Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил (вип..8(145) 2016.
13. Алексеев О.Н., Луппо О.Є., Колеснік Т.А Importance of the single european sky performance scheme implementation Norwegian journal of development of the international science № 2, 2017 Vol.1
14. Алексеев О.Н., Луппо О.Є., Колеснік Т.А. Деякі аспекти підтримки прийняття рішень при управлінні безпекою польотів
15. Алексеев О., Ушаков В. Безпека польотів./Методичні вказівки/ Кіровоградська льотна академія України Національного авіаційного університету/Кропивницький, 2017-27С.
16. Алексеев О.М. Автоматизація процесів управління безпекою польотів в аеронавігаційній системі. Дисертація на здобуття.....к.т.н. Київ, НАУ – 2009 – 270с.
17. Алексеев О.М. Розвиток муніципального авіаційного транспорту Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM, тези доповідей науково технічної конференції 28-30 листопада 2012р.
18. Алексеев О.М., Аргунов Г.Ф., Бабейчук Д.Г., Легерда Д.О. Підвищення

ефективності функціонування аеронавігаційної системи в умовах ризику /Системи озброєння і військова техніка. Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил (випуск 3(35) 2013

19. Алексеев О.М., Аргунов Г.Ф., Бабейчук Д.Г., Легерда Д.О. Приняття рішення в умовах ризику Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України – Харків, с 250 с.

20. Алексеев О.М., Задорожня А.О., Ходаківська Н.П., Принципи системного підходу в управлінні безпекою польотів при організації повітряного руху/ Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів Проблеми навігації і управління рухом 23-24 листопада 2010 року

21. Алексеев О.М., Кренденцар С.М., Скоробогата Х.Р. Дослідження прикладних застосувань інерціальної стабілізації інформаційно-вимірювальних систем Вісник НАУ. – К. : НАУ, 2011. – 103с

22. Алексеев О.М., Повознюк М.О., Лопатко Т.Б. Удосконалення навігаційної інфраструктури Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM, тези доповідей науково технічної конференції 21-23 листопада 2011р.

23. Аль-Аммори А. Выбор оптимальной загрузки микропроцессора в информационно-управляющих системах/А. Аль-Аммори, Х.А. Аль-Аммори, А.Е. Клочан, И.Н. Верховецкая // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2017. — № 3(62). – С. 258 – 262.

24. Аль-АммориАли, Харитонова Л.В. Исследование возможностей повышения эффективности применения микроконтроллера в информационно-управляющих системах/Аль-АммориАли,Харитонова Л.В.//Искусственный интеллект. – Донецк, 2014. – № 1. – С. 90–94.

25. Аль-АммориАли, Аль-Аммори Хасан. Методика оценки эффективности видов информационного резервирования информационно-управляющих систем / Аль-Аммори Али, Аль-Аммори Хасан // Искусственный интеллект. – Донецк, 2012. – № 4. – С. 4–7

26. Анисимова Г.Б., Долженко А.И. Система оценки риска потребительского качества проектов информационных систем // Вестник ИНЖЭКОНа. Серия: Экономика. Т. 36, № 1, 2010. С. 179-191.

27. Антипов СИ., Дементьев Ю.В., Калинин А.Е. Нечеткая логика и возможности ее применения в системах управления современного автомобиля // Материалы Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) "Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров", посвященной 145-летию МГТУ "МАМИ". Книга 1. Москва. 2010. 575 с.

28. Арнольд В.И, Афраймович В.С., Ильяшенко Ю.С, Шильников Л.П. Теория бифуркаций /В.И.Арнольд, В.С. Афраймович ,Ю.С..Ильяшенко, // М.: ВИНТИ, том 5, 1986г.

29. Арнольд В.И. Теория катастроф. /В.И.Ариольд // М.: Наука. 1990г.-129С.

30. Архангельский, Е.А. Методы структурного моделирования и расчета показателей эффективности и живучести корабельных технических средств. / Е.А.Архангельский// СПб.: ВМА. 2003г.

31. Архипенков С.А. Лекции по управлению программными проектами. Управление рисками проекта // НОУ «ИНТУИТ». URL: [http://citforum.ru/SE/project/arkhipenkov\\_lectures/9.shtml](http://citforum.ru/SE/project/arkhipenkov_lectures/9.shtml) (дата обращения: 15.02.2012).

32. Астахов, А.А. Искусство управления информационными рисками [Электронный ресурс] / А.А. Астахов // ISO 27000. Искусство управления информационной безопасностью. - 2006. - Режим доступа: <http://iso27000.ru/chitalnyi-zai/upravlenie-riskami-informacionnoi-bezopasnosti/kak-upravlyat-riskami-informacionnoi-bezopasnosti>



33. Балдин К.В. Риск-менеджмент / К.В. Балдин, С.Н. Воробьев. - М.: Гардарики, 2005.-285 с.
34. Безкоровайный,М.М. Инструментально-моделирующий комплекс оценки качества функционирования информационных систем "КОК". Руководство системного аналитика./М.М.Безкоровайный, А.И.Костокрызов,В.М. Львов //М.: Вооружение. Политика. Конверсия. 2002 г.
35. *Безпека авіації* /В.П. Бабак, В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін. – К.: Техніка, 2004. – 584 с.
36. Борисов А.Н., Алексеев А.Б., Крумберг О.А. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной. Рига: Зинатне, 1982. 256 с.
37. Борисов А.Н., Алексеев А.Б., Меркурьева Г.В. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М.: Радио и связь, 1989. 304 с.
38. Борисов В.В., Круглов А.С., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. -2-е изд., стереотип. М.: Горячая линия-Телеком, 2012. 284 с.
39. Бурков, В.Н. Введение в теорию активных систем. /В.Н.Бурков, Д.А.Новиков //М.: ИПУ РАН, 1996г. - 125 с.
40. Бусленко,В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем./В.Н.Бусленко// - М.: Наука, 1977г.
41. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Дело, 2008. 888 с.
42. Вяткин В.Н. Риск-менеджмент / В.Н. Вяткин, И.В. Вяткин, В.А. Гамза, Ю. Ю. Екатеринославский, Дж.Дж. Хэмптон. - М.: Дашков и Ко, 2003. - 512 с
43. Гаврилец Ю.Н. Изменение предпочтений индивидов в социальной среде. / Ю.Н.Гаврилец , Б.А. Ефимов ./ / Экономика и математические методы. 1997г. Том 33. Выпуск 2. с. 76-93.
44. Герасименко В.А. Защита информации в автоматизированных системах обработки данных: развитие, итоги, перспективы. /В.А.Герасименко // Зарубежная радиоэлектроника. 1993г. №3. с. 321.
45. *Гермейер Ю.Б.* Игры с непротивоположными интересами М., Наука – 1976, 326 с.
46. *Гермейер Ю.Б.*, Введение в теорию исследования операций, М. Наука 1971.
47. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф, в двух томах./ Р.М. Гилмор // М.: Мир, 1984г.
48. Глобальный план обеспечения безопасности полетов. - Монреаль, Канада, – июнь 2007
49. Глушенко С.А. Применение системы matlab для оценки рисков информационной безопасности организации // Междисциплинарный научно-практический журнал "БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА", Т. 26, № 4, 2013. С. 35-42.
50. Глушков,В.М. О диалоговом методе решения оптимизационных задач. / В.М.Глушков // Кибернетика, N4, 1975 г.
51. Голоушкина И. Как оценить риски проектов // Финансовый директор, № 4, 2008. С. 25-34.
52. Грабовый П.Г. Риски в современном бизнесе / П.Г. Грабовый, С.Н, Петрова, С.И. Полтавцев, К.Г. Романова, Б.Б.Хрусталева, С.М. Яровенко. М.: Изд-во «Алане», 1994.-200 с.
53. *Грачева, М.В.* Управление рисками в инновационной деятельности / М.В. Грачева, С.Ю. Ляпина. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010. - 351с.
54. Грекул В., Коровкина Н., Куприянов Ю. Методические основы управления ИТ-проектами. Планирование рисков проекта // НОУ «ИНТУИТ». URL: <http://www.intuit.ru/studies/courses/646/502/lecture/11396>.

55. Грекул В.И., Коровкина Н.Л., Денищенко Г.Н. Лекция 7: Управление рисками проекта. Управление внедрением информационных систем. // Интернет Университет Информационных Технологий. 2011. URL: <http://www.intuit.ru/departament/itmngt/isimman/7/>.
56. Д.А. Молодов Модель Гросса в случае непротивоположных интересов, ЖВМ и МФ 12,2, 1972, 309-320.
57. Дик В.В. Методология формирования решений в экономических системах и инструментальные среды их поддержки. М.: Финансы и Статистика, 2000. 300 с.
58. Дик В.В. Системы поддержки принятия решений: учебное пособие. М.: ЕАОИ, 2011. 368 с.
59. Дипроуз Д. Управление проектами. М.: ЭКСМО, 2008. 240 с.
60. Директива 2003/42/ЕС Европейского Парламенту та Ради від 13 червня 2003 року про звітність щодо подій у сфері цивільної авіації. Застосовні вимоги та стандарти: статті 1–11, Додатки I та II.
61. Директива 95/46/ЕС Европейського Парламенту та Ради від 24 жовтня 1995 року про захист осіб щодо обробки персональних даних та про вільний рух таких даних.
62. Директива Ради 89/391/ЕЕС від 12 червня 1989 року про запровадження заходів, які сприятимуть покращенню безпеки польотів та здоров'ю працівників на робочому місці.
63. Дисципліна управління ризиками Microsoft Solutions Framework. 11th-ed. 2002.
64. Долженко А.И. Методология анализа рисков при проектировании информационных систем с использованием нечетких сетей // Вестник Ростовского государственного экономического университета «РИНХ», Т. 24, № 2, 2007. С. 148-155.
65. Долженко А.И. Нечеткие модели - эффективный инструмент для анализа потребительского качества информационных систем: монография. Ростов н/Д: РГЭУ «РИНХ», 2008. 220 с.
66. Долятовский В.А., Долятовская В.Н. Управление проектами. Учебное пособие. Ростов-на-Дону: ИУБиП, 2003. 147 с.
67. Доронин, А.И. Бизнес-разведка. / А.И.Доронин // М.: Издательство "Ось-89" 2002г.
68. Дубров, А.М., Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе: учебное пособие. / А.М. Дубров, Б.А. Лагоша, Е.Ю. Хрусталеv - М.: Финансы и статистика, 1999. - 320 с.
69. Елисеева И.И. Юзбашев М.М.. Общая теория статистики. Под редакцией члена-корреспондента РАН И.И.Елисеевой Москва, Финансы и статистика, 1996г
70. Емельянов, А.А. Имитационное моделирование в управлении рисками/А.А. Емельянов. - Санкт-Петербург: Инжэкон, 2000. - 376 с.
71. Загадская, Л.С. Практическое применение ситуационной модели управления. / Л.С. Загадская, Ю.И.Клыков // Известия АН СССР. Техническая кибернетика №6, 1970 г.
72. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 168 с.
73. Заренков В.А. Управление проектами. СПб.: СПбГАСУ, 2005. 312 с.
74. Зегжда, Д.П. Основы безопасности информационных систем. / Д.П.Зегжда, А.М. Ивашко // - М.: "Горячая линия - Телеком". - 2000г.
75. Зегжда, П.Д. Способы защиты информации. / П.Д. Зегжда // - М.: Яхтсмен, 1996г.
76. Золотова, Т.В. Модели и методы управления риском и их применение к эколого-экономическим системам: дис. ... д-ра. физ.-мат. наук: 05.13.17/Золотова Татьяна Валерьяновна - М., 2010. - 330 с.

77. Искусственный интеллект. В 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы: справочник. - М.: Радио и связь, 1990г.
78. Кантор М. Управление программными проектами. Практическое руководство по разработке успешного программного обеспечения. М.: Изд. дом «Вильямс», 2002. 176 с.
79. Ковалев В.В. Финансовый анализ: Управление капиталом. Выбор инвестиций. Анализ отчетности. - 2 е изд., перераб. и доп. - М.: Финансы и статистика, 1998. - 512 с.
80. Кожохина О., Блага Л., Алексеев О.Н. Рудас С. Information Reliability of radar System Operator Science journal (Poland) 1/2016
81. *Королев, В.И.* Методологические вопросы оценки влияния информационных рисков на деятельность организацию [Электронный ресурс] / В.И. Королев // Информационно-аналитический журнал «Факт». - 2004. - №14. - Режим доступа: <http://www.fact.ru/www/arhiv/14an-kor.htm>
82. *Кофман, А.* Введение теории нечетких множеств в управлении предприятиями / А. Кофман, Х. Хил Алуха. - Минск: Высшая школа, 1992. - 216 с.
83. Курзенов, В.А. Вероятность и статистика в управлении (с примерами и задачами). / В.А.Курзенов // СПб.: СЗАГС. 1998г
84. Ландэ Д.В. Основы моделирования и оценки электронных информационных потоков. / Д.В.Ландэ, В.Н. Фурашев, С.М. Брайчевский // - К.: Инжиниринг, 2006г. - с. 176
85. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
86. Липаев В.В. Проблемы развития программной инженерии и некоторые фрагменты их решения // Бизнес-информатика. 2007. № 1 (1). С. 52-63.
87. Луппо О.Є, О.Н. Алексеев Богуненко М.М., Аргунов Г.Ф., Колесник Т.А. European airspace capacity forecasting and provision Системи обробки інформації Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил (випуск 1(26) 2017
88. Луппо О.Є, О.Н. Алексеев Богуненко М.М., Колесник Т.А. Implementation of the pilot common project into Ukrainian airspace Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил (випуск 3(149) 2017
89. Лэсден Л.С. Оптимизация больших систем./Л.С. Лэсден// - М.: Наука, 1975г. - 432 с.
90. Мазур, М. Качественная теория информации./М.Мазур//М.: Мир, 1974г. 240 с.
91. Малкин, И.Г. Теория устойчивости движения М.: Наука 1986г
92. Марцынковский Д.А., Владимирцев А.В. Руководство к интеграции систем менеджмента. Санкт-Петербург: Береста, 2008. 121 с.
93. Марцынковский Д.А., Марцынковский О.А., Владимирцев А.В. Управление рисками в современных системах менеджмента. Санкт-Петербург: Береста, 2010. 246 с.
94. Матвеева Л.Г.[и др.], Управление проектами: учебник. Ростов-на-Дону: Южный федеральный ун-т. - Сер. Высшее образование. Феникс, 2009.
95. Мацяшек Л.А. Анализ требований и проектирование систем. Разработка информационных систем с использованием UML. М.: Изд. дом «Вильямс», 2002. 432 с.
96. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой.М.:Наука. Гл. ред.физ.-мат. лит.,1990.272 с.
97. *Методы* и системы поддержки принятия решений / В.Г. Тоценко. – К.: Наукова думка, 2002. – 382 с.
98. Милошевич Д.З. Набор инструментов для управления проектами. М.: Академия АйТи, ДМК Пресс, 2006.
99. Моисеев, Н.Н. Универсум. Информация. Общество. / Н.Н.Моисеев // - М.: Устойчивый мир, 2001г. - 200с.

100. Молдовян, Н.А. Молдовян А.А. Введение в криптосистемы с открытым ключом. / Н.А.Молдовян, А.А.Молдовян // СПб.: 2005г. - 288с.: ил.
101. Недосекин А.О. Методологические основы моделирования финансовой деятельности с использованием нечётко-множественных описаний. Санкт-Петербург. 2003. 323 с.
102. Недосекин А.О. Оценка риска бизнеса на основе нечетких данных URL: [http://sedok.narod.ru/sc\\_group.html#2](http://sedok.narod.ru/sc_group.html#2).
103. Недосекин А.О. Финансовый менеджмент в условиях неопределенности: Вероятности или нечёткие множества. URL: <http://www.vmgrouppublications/public5.htm>.
104. Никольский, В.И. Развитие системного подхода к вопросам истории технических систем// Системный анализ при создании кораблей, комплексов вооружения и военной техники ВМФ: Тематический сборник./ В.И.Никольский // СПб.: ВМА. Вып. 10. 2000г.
105. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами. /Д.А.Новиков // М.:МПЦИ, 2005г.
106. Норвич А.М., Турксен И.Б. Построение функций принадлежности // В кн.: Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения.:Пер. с англ. М. 1986. С. 64-70.
107. Ньюэлл М.В. Управление проектами для профессионалов. Руководство по подготовке к сдаче сертификационного экзамена. 3-е изд.
108. О.М. Рева, В.П. Харченко, О.М. Алексеев, Є.А. Знаковська, Д.Г. Бабеичук Визначення дефекту /дефекту ризикова-ності рішень з профі-лактики авіаційних пригод Вестник Двигателестроения №2 2012, 150с.
109. Орлов, А.И. Задачи оптимизации и нечеткие переменные. /А.И.Орлов// М.: Знание, 1980г.
110. Орлов, А.И. Прикладная статистика /А.И. Орлов - М.: Издательство «Экзамен», 2004. - 656 с.
111. Острейковский, В.А. Теория систем. /В.А. Острейковский //М.: Издательство «Высшая школа». 1997г - 240 с.
112. Павлова С.В. Аналіз збурень, що впливають на ергатичну систему „пілот-літак” / С.В. Павлова, А.В. Скрипець, В.І. Чепіженко // Вісник НАУ. – 2001. – №2. – С. 224– 227. 10.
113. Павлова С.В. Аналіз сучасного рівня розвитку систем керування літальних апаратів / С.В. Павлова, А.В. Скрипець, В.І. Чепіженко // Автошляховик України. – 2001. – №4. – С. 58–60.
114. Павловский,Ю.Н. Имитационные системы и модели./ Ю.Н.Павловский// М: Знание. 1990г
115. Петренко С.А., Петренко А.А. Аудит безопасности Intranet. М.: ДМК Пресс, 2002. 416 с.
116. Петренко С.А., Симонов СВ. Управление информационными рисками. Экономически оправданная безопасность. М.: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2004. 384 с.
117. Пивкин В.Я., Бакулин Е.П., Кореньков Д.И. Нечеткие множества в системах управления. Пособие 1995. URL: <http://idisys.iae.nsk.su/fuzzybook/content.html>.
118. Плэтт, В. Стратегическая разведка. Основные принципы./ В.Плэтт //М.: Форум, 1997г. 376 с.
119. Положення про нагляд за безпекою польотів у системі організації повітряного руху. Наказ Мінтрансу №320 від 31.05.2010 р. – К.: Мінтранс, 2010. – 34 с.
120. Положення про систему управління безпекою польотів на авіаційному транспорті. Наказ Державіаслужби №895 від 25.11.2005 р. – К.: Державіаслужба, 2005. – 36 с.
121. Попова А.Ю. Оценка риска инвестиционного проекта //Научный журнал

КубГАУ, № 19, 2006. С. 73-98.

122. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений: Опыт анализа мыслительных актов. М.: Радио и связь, 1989. 184 с.

123. Поспелов ДА, редактор. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. М.: Наука, 1986. 311 с.

124. Программный продукт «@Risk Professional for Project» // Palisade Corporation Directory. URL: <http://www.palisade.com/>.

125. Программный продукт «Dekker TRAKKER» // Dekker Project Management Information System. URL: <http://www.dekkerltd.com>.

126. Программный продукт «Open Plan Professional»//AProject. URL: <http://www.aproject.ru>.

127. Программный продукт «Риск Менеджер Инфо» // Институт системного анализа РАН. URL: <http://www.srisks.ru/>.

128. Пузырев А., Алексеев О.Н. Волкогон В., Ушаков В. Development of airframe design elements control technique under operational conditions.

129. Расторгуев, С.П. Введение в теорию информационного противоборства. /С.П.Расторгуев//СПб.: Издательство СПбГТУ, 2000г. 74 с

130. Рева О.М., Алексеев О.М. Оптимізація управління рівнем безпеки польотів по критерію ефективності Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті, Херсон 2013.

131. Рева О.М. Прапори катастроф в етіології авіаційних подій/О.М. Рева, О.М. Медведенко, М.Ф. Михайлік//Вісник НАУЖ Наку. Ж. – К.: НАУ, 2008-№3.99-107с. Рева О.М. Проактивне управління ризик4ами за льдським фактором у цивільній авіації /О.М. Рева, С.І. Осадчий, О.М. Медведенко, Ю.М. Фоменко// Залізничний транспорт УкраїниЖ Наку-практ. Ж.ю, 2008№6-54-90с.

132. Регламент (ЕС) № 216/2008 Европейського Парламенту та Ради від 20 лютого 2008 року про спільні правила у сфері цивільної авіації і створення Європейського агентства з безпеки польотів.

133. Регламент (ЕС) № 551/2004 Європейського Парламенту та Ради від 10 березня 2004 року про організацію та використання повітряного простору в рамках «Єдиного європейського неба» (Регламент про повітряний прості).

134. Регламент (EU) № 996/2010 Європейського Парламенту та Ради від 20 жовтня 2010 року про розслідування та запобігання авіаційним подіям і інцидентам у сфері цивільної авіації.

135. Регламент Комісії (ЕС) № 1032/2006 від 6 липня 2006 року про визначення вимог до автоматизованих систем обміну польотними даними з метою повідомлення, координації та передачі польотів між пунктами диспетчерського обслуговування повітряного руху.

136. Регламент Комісії (ЕС) № 104/2004 від 22 січня 2004 року про визначення правил щодо організації та складу Апеляційної ради Європейського агентства з безпеки польотів..

137. Регламент Комісії (ЕС) № 1321/2007 від 12 листопада 2007 року про визначення імплементаційних правил для інтеграції до центральної бази даних інформації про події у сфері цивільної авіації.

138. Регламент Комісії (ЕС) № 482/2008 від 30 травня 2008 року про створення системи гарантування безпеки програмного забезпечення, яка має бути втілена постачальниками аеронавігаційних послуг.

**139.** Регламент Комісії (ЕС) № 80/2009 Європейського Парламенту та Ради від 14 січня 2009 року про Кодекс поведінки щодо комп'ютерних систем бронювання авіаквитків та скасування Регламенту Ради (ЕЕС) № 2299/89.

140. Регламент Комісії (EU) № 1034/2011 від 17 жовтня 2011 року про нагляд за безпекою польотів під час організації повітряного руху і надання аеронавігаційних послуг.

141. Регламент Комісії (EU) № 628/2013 від 28 червня 2013 року про робочі методи Європейського агентства з безпеки польотів для здійснення стандартизаційних перевірок та моніторингу.
142. Регламент Ради (EC) № 2027/97 від 9 жовтня 1997 року про відповідальність авіаперевізника у випадку авіаційних подій.
143. Родионов, А.С. Интеллектуальное моделирование - новое направление в системах имитации//Экспертные системы и анализ данных./ А.С.Родионов// Новосибирск: СО АН СССР, 1988г.
144. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) (Doc 9859 AN/460). ИКАО. 2006. – 355 с.
145. Руководство по управлению рисками в области информационных технологий (Risk Management Guide for Information Technology Systems). NIST, Special Publication 800-30.
146. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. 452 с.
147. Рухлінський В.М., Алексєєв О.М., Швець О.В., Задорожня А.О., Ходаківська Н. П. Розробка нового критерію оцінки рівня безпеки Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. 2010. Вип. №13
148. Рыжов А.П. Элементы теории нечетких множеств и измерения нечеткости. М.: Диалог-МГУ, 1998. 81 с.
149. Силлов, В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. / Силлов - М.: ИНПРО-РЕС, 1995. - 228 с.
150. Симонов С.В. Анализ рисков, управление рисками//Информационный бюллетень «Jet Info», Т. 68, № 1, 2003.
151. Симонов, С.В.. Современные концепции управления информационными рисками/С.В. Симонов//Известия Южного федерального университета. Технические науки. - 2003. - Т. 33. № 4. - С. 119-120.
152. Смоляк, С.А. Учет риска при установлении нормы дисконта / А. Смоляк// экономика и математические методы. 1992 - Т. 28. - Вып. 5-6. - С. 23-27
153. Ступаков, В.С. Риск-менеджмент /В.С. Ступаков, Г.С.Токаренко. - М.: Финансы и статистика, 2005. - 288 с.
154. Соколы И.И. Трансформационные процессы в гражданской авиации Украины. - Одесса.: НАН Украины, Институт проблем рынка и экономико-экологических исследований, 2005. - 232 с.
155. Тельнов Ю.Ф. Интеллектуальные информационные системы в экономике: учеб. пособие. М.: СИНТЕГ, 2006. 316 с.
156. Торокин, А. А. Основы инженерно-технической защиты информации. /А.А.Торокин // М.: Ось-89, 1998г. 336 с.
157. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений: Научно-практическое издание. Серия "Информатизация России на пороге XXI века". М.: СИНТЕГ, 1998. 376 с.
158. Тулупьева Т.В., Тулупьев А.Л., Азаров А.А., Пашенко А.Е. Психологическая защита как фактор уязвимости пользователя в контексте социоинженерных атак//Труды СПИИРАН. 2011. Вып. 18. С. 74-92.
159. Уокер Р. Управление проектами по созданию программного обеспечения. Унифицированный подход. М.: Лори, 2002. 424 с.
160. Ушаков В., Алексєєв О., Моделирование эксплуатационных процессов и систем воздушных судов/Методичні вказівки/ Кіровоградська льотна академія України Національного авіаційного університету/Кропивницький, 2017-27С.
161. Фролов Ю.В. Интеллектуальные системы и управленческие решения. М.: МГПУ, 2000. 294 с.
162. Харламенко Е.В. Количественный анализ рисков инвестиционного проекта//Российское предпринимательство, Т. 1, № 5, 2009.

163. Аверьянова Ю. А. Человеческий фактор в системе аэронавигационного обслуживания полетов// АВИА-2001: Матеріали 3 міжнародної науково-технічної конференції, Київ, 2001, Том 3 с.7.36-7.39.
164. Харченко В.П. Алексеев О.Н. Общие принципы обеспечения гарантированного поддержания безопасности выполнения предстоящих полетов Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил (випуск 3(48) 2016
165. Харченко В.П., Алексеев О.Н. Общие принципы обеспечения гарантированного уровня безопасности полетов./Науково-технічна конференція/Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження, та організації повітряного руху CNC/ATM
166. Харченко В.П., Алексеев О.М. Бабейчук Д.Г., Повознюк М.О. Підготовка льотного складу на сучасні повітряні судна Вісник НАУ. – К.: НАУ, 2011. – 103 с
167. Харченко, В.П. Алексеев О.М., Буцик І.М., Колотуша В.П., Бабейчук Д.Г. Принципи системного підходу до керування безпекою польотів під час організації повітряного руху /Вісник НАУ. – К.: НАУ, 2010. – 89 с.
168. Хохлов, Н.В. Управление риском / Н.В. Хохлов. - М.: ЮНИТИ- ДАТА, 2001.-239 с.
169. Хубаев Г.Н. Сложные системы: экспертные методы сравнения//Известия вузов. Северокавказский регион. Общественные науки, № 3, 1999. С. 7-24.
170. Хубаев Г.Н. Сравнение сложных программных систем по критерию функциональной полноты//Программные продукты и системы (SOFTWARE&SYSTEMS), № 2, 1998. С. 7-9.
171. Хубаев Г.Н. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов с информационными системами//Вопросы статистики, № 6, 1999. С. 78-83.
172. Чакроборти А., Кранти Ю., Сандху Р. А. Microsoft®.NET Framework: Разработка профессиональных проектов: Пер. с англ. СПб: БХВ-Петербург, 2003. 896 с.
173. Черноморов Г.А. Теория принятия решений: Учебное пособие. 3-е изд. Новочеркасск: Ред. Журн. «Изв. Вузов. Электромеханика», 2005. 448 с.
174. Четыркин Е.М. Финансовые риски: научно-практическое пособие. М.: Издательство «Дело» АНХ, 2008. 176 с.
175. Чепіженко В. І. Аналіз існуючих методів управління групою безпілотних повітряних суден / В. І. Чепіженко, І. І. Скирда // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. - 2017. - Вип. 13. - С. 130-135.
176. Шапиро ВД, редактор. Управление проектами. С-Пб.: Изд. «Два-Три», 1996. 304 с.
177. Шапкин А.С., Шапкин В.А. Теория риска и моделирование рисков ситуаций: учебник. М. 2005.
178. Шапкин А.С., Шапкин В.А. Экономические и финансовые риски. Оценка, управление, портфель инвестиций. 7-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2009. 544 с.
179. Шастико А.Е. Модель человека в экономической теории./ А.Е. Шастико// М.: 1998г.-142С.
180. Шафер Д.Ф., Фатрел Р.Т., Шафер Л.И. Управление программными проектами: достижение оптимального качества при минимуме затрат. М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. 1136 с.
181. Шнайер, Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. /Б.Шнайер//М.: Издательство ТРИУМФ, 2002г.
182. Шмельова Т.Ф. Ігровий підхід дослідження невизначеності в конфліктних задачах системи управління повітряним рухом. Проблеми аеронавігації // 36. наук. пр. - Кіровоград: ДЛАУ, 1996.
183. Шмельова Т.Ф. Моделювання процесу навчання за допомогою теорії катастроф//36. наук. пр. «Проблеми аеронавігації». Вип. Ш. Част. 11 – Кіровоград:

ДІАУ, 1997. – с. 56 - 59.

184. Шмельова Т.Ф., Іванов Е.С. Розрішення конфліктної ситуації в процесі навчання методами теорії ігор. // 36. наук. пр. «Проблеми аеронавігації». Вип. III. Част. II - Кіровоград: ДІАУ, 1997. - с. 103-106.

185. Эддоус М., Стэнсфилд Р. Методы принятия решений. М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. 590 с.

186. *Энциклопедия безопасности авиации* / М.С. Кулик, В.П. Харченко, Ю.В. Чинченко и др. – К.: Техника, 2008. – 1000 с.

187. Ягер Р.Р. Множества уровня для оценки принадлежности нечетких подмножеств//В кн.: Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1986. С. 71-78.

188. "Initial 4D Trajectory Management Concept Evaluation", *Laurence H. Mutuel, Erwan Paricaud, Pierre Neri*, Tenth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2013), June 10-13, 2013.

189. *Cir. 241*. Человеческий фактор при управлении воздушным движением. – Монреаль: ICAO, 1993. – 39 с.

190. COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 409/2013 of 3 May 2013 – on the definition of common projects, the establishment of governance and the identification of incentives supporting the implementation of the European Air Traffic Management Master Plan. Date: 3 May 2013.

191. COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 716/2014 of 27 June 2014 – on the establishment of the Pilot Common Project supporting the implementation of the European Air Traffic Management Master Plan. Date: 27 June 2014.

192. *DOC 9734*. Керівництво з організації контролю за забезпеченням безпеки польотів. – Монреаль: ICAO, 2006. – 51 с.

193. *DOC 9859*. Керівництво з керування безпекою польотів. – Монреаль: ICAO, 2009. – 318 с.

194. *ESARR 1*. Safety oversight in ATM. – Brussels: Eurocontrol, 2009. – 22 p.

195. *ESARR 4*. Risk assessment and mitigation in ATM. – Brussels: Eurocontrol, 2001. – 22 p.

196. EUROCONTROL – Single European Sky first legislative package (SES I). Date: March 2004.

197. *Ferat, S. A Baesian Network Approach to the Self-organization and Learning in Intelligent Agents* / S. Ferat //Dissertation submitted to the Faculty of Virginia Polytechnic and State University in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Electrical and Computer Engineering, 2000 - 251 p.

198. FLIGHTRADAR24–Flight Statistics Per Day <https://www.flightradar24.com/data/statistic>].

199. *Heckerman, D. A tutorial on learning with Bayesian networks* / D. Heckerman // Technical report MSR -TR-95-06. - Microsoft Research, Redmond, WA (USA). - 1995.-57p.

200. Hillson D. Using a risk breakdown structure in project management// *Journal of Facilities Management*, Vol. 2, No. 1, 2003. p. 77-85.

201. Kharchenko V. Alexeiev O.General principles of decision – making support in provision of guaranteed level of safety Proceeding The seventh world congress “Aviation in the XXI-st century” Safety in aviation and Spase Technologies/September 19-21,2016 Kyiv

202. Kharchenko V., Alexeiev O., Luppo, A. Jurchik R.The Principles to maintain an acceptable of air navigation safety in Ukraine Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил (випуск 3(52) 2017.

203. Kharchenko V., Alexeiev O., Rudas S., Kolohina O.Application of imprecise models in analysis of risk management of software systems/ PROCEEDING of the National Aviation University 2017 №2(71)

204. Kharchenko V., Alexeiev O., Yrchik R., Ali I.. Some aspects of municipal aviation functioning Proceeding of the National Aviation University 2017 (2(71)



205. Kharchenko V., Alexeiev O., Babeichuk D. Method analysis of management decisions making while air navigation functioning in emergency situations Proceedings of the National Aviation University – K. NAU, 2010 – 86p.
206. Kharchenko V., Alexeiev O., Tapia K. Collision probability of aircraft flying on parallel track Proceedings of the National Aviation University – K. NAU, 2013 – 86p.
207. Komlyk M., Alexeiev O. Flight safety: Development and problems./Исеукраїнська Науково-практична конференція молодих учених і студентів «Проблеми навігації ш управління рухом» 22-24 листопада 2017.
208. Lurpo A., Alexeiev O. Lohacheva K., Serhieieva H. Procedure of implementation of arrival and departure manager system in Ukrainian airspace./Системи обробкм інформації Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил (випуск 4(150) 2017.
209. *Murphy, K.P.* An introduction to graphical model [Электронные данные] / К.Р. Murphy // Computer Science. - 2001 - 19 p. - Режим доступа: [http://www.cs.ubc.ca/~murphyk/papers/intro\\_gm.pdf](http://www.cs.ubc.ca/~murphyk/papers/intro_gm.pdf)
210. OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION, L 190, 28 June 2014
211. Puzyrev A., Alexeiev O., Leftor V Monitoring device for operating climatic conductions light aircraft Electronic and control systems #1(51)2017
212. Raz T., Michael E. Use and benefits of tools for project risk management// International Journal of Project Management, Vol. 19, No. 1, 2001. p. 9-17.
213. SESAR JU, European ATM Master Plan, October 2012.
214. THE WORLD BANK OF DATA – Air transport, registered carrier departures worldwide. Registered carrier departures worldwide are domestic takeoffs and takeoffs abroad of air carriers registered in the country. [<http://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.DPRT>] Date: 18 April 2016.
215. *Zadeh, L.A.* Toward a perception-based theory of probabilistic reasoning with imprecise probabilities / L.A. Zadeh // Journal of Statistical Planning and Inference/- 2002.- 105.-P. 230-245.