

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

д-р техн. наук, проф.

_____ В.Ю. Ларін

«__» _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ
«ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯННОГО РУХУ»

Тема: «Метод прогнозування та попередження авіаційних подій на основі аналізу дерева ризиків»

Виконала: _____ **В. І. Водолазова**

Керівник: д-р. техн. наук, проф. _____ **В. П. Харченко**

Нормоконтролер _____ **Г. Ф. Аргунов**

Київ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Аеронавігації, Електроніки та Телекомунікацій

Кафедра Аеронавігаційних Систем

Спеціальність: 272 «Авіаційний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ларін В.Ю.

«__» _____ 2020р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Водолазової Віолетти Ігорівни

1. Тема дипломної роботи «Метод прогнозування та попередження авіаційних подій на основі аналізу дерева ризиків» затверджена наказом ректора від 29 вересня 2020 р. № 1815/ст.
2. Термін виконання роботи: з 05.10.2020 по 13.12.2020.
Дата видачі завдання: 05.10.2020
3. Вихідні дані до роботи: дані організацій EUROCONTROL, ICAO, УКРЕРОРУХ.
4. Зміст пояснювальної записки: Визначення ефективності методу прогнозування та попередження авіаційних подій на основі аналіз дерева ризиків.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: графіки результатів даних, таблиці, формули.

6. Календарний план-графік

№	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Підготовка та написання розділу 1 «Аналіз проблем управління безпекою польотів в аеронавігаційній системі»	10.10.20-20.10.20	Виконано
2	Підготовка та написання розділу 2 «Формування математичних моделей, які забезпечують процес автоматизації управління безпекою польотів»	21.10.20-29.10.20	Виконано
3	Підготовка та написання розділу 3 «Розробка методики та алгоритмів автоматизованого управління безпекою польотів»	30.10.20-14.11.20	Виконано
4	Підготовка та написання розділу 4 «Автоматизація прогнозування та управління безпекою польотів в аеронавігаційній	15.11.20-30.11.20	Виконано

	системі»		
--	----------	--	--

Керівник дипломної роботи Харченко Володимир Петрович

(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання Водолазова Віолетта Ігорівна

(підпис студента) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Метод прогнозування та попередження авіаційних подій на основі аналізу дерева ризиків» містить 115 сторінок, 13 рисунків, 24 таблиці, 37 використаних джерел.

Об'єкт дослідження – процес управління безпекою польотів в аеронавігаційній системі України.

Предмет дослідження – методи управління безпекою польотів.

Мета роботи – розробка методу, який включає моделі та алгоритми, на основі яких можливо створення АСУБП.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- здійснити аналіз, систематизацію, узагальнення проблем і методів УБП в аеронавігаційній системі;
 - розробити комплекс математичних моделей та алгоритмів УБП;
 - розробити математичну формалізацію автоматизованої системи УБП;
- показати програмну реалізацію складових АСУБП.

Методи дослідження – методи математичного та системного аналізу, теорії імовірності, теорії управління динамічними системами, теорії мережевих моделей, теорії прийняття рішень.

Аеронавігаційна система є джерелом підвищеної небезпеки для життя і здоров'я людей, незважаючи на суттєве збільшення надійності її технічних складових, тому має властивість небезпеки, а показники БП, фактично характеризує наскільки система небезпечна. Відповідний моніторинг реального стану системи, вдосконалення її ланок та забезпечення ефективності, у т.ч. за показником безпеки, неможливо здійснити без виявлення та аналізу певних кількісних характеристик – критеріїв рівня. Враховуючи системні особливості функціонування ергатичної системи "екіпаж – ПС- середовище дана задача набуває особливої значущості при виконанні польотів, однак дослідники приділяють недостатньо уваги характеристиці аеронавігаційної системи за

відповідними узагальненими показниками рівня БП[36,37].

АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ПОЛЬОТІВ В АЕРОНАВІГАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ.....	13
1.1. Загальний аналіз аварійності в аеронавігаційній системі України за період 2010–2020 рр.....	13
1.2. Аналіз методів прийняття управлінських рішень. Нейронно-мережевий підхід...16	16
1.3. Аналіз міжнародних керівних документів з управління безпекою польотів...24	24
1.4. Аналіз існуючих автоматизованих систем управління безпекою польотів..31	31
1.5. Висновки.....	34
РОЗДІЛ 2. ФОРМУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ, ЯКІ ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ПРОЦЕС АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ПОЛЬОТІВ.....	37
2.1. Метод моделювання імовірності виникнення особливих ситуацій у польоті.....	37
2.2. Багатофакторна модель ризику виникнення авіаційних подій.....42	42
2.3. Імовірнісна модель управління факторами ризику	45
2.4. Нейронно-мережева модель автоматизованого управління безпекою польотів.....	48
2.5. Висновки.....	52
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ТА АЛГОРИТМІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ПОЛЬОТІВ.....	55
3.1. Методика вибору об’єму допоміжної вибірки для визначення виникнення особливих ситуацій у польоті.....	55
3.2. Алгоритм побудови системи автоматизованої діагностики та	

прогнозування рівня безпеки польоті.....	63
3.3. Алгоритм роботи нейронних мереж.....	71
3.4. Висновки.....	76
РОЗДІЛ 4. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ПОЛЬОТІВ В АЕРОНАВІГАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ.....	78
4.1. Програмна реалізація штучної нейронної мережі автоматизованої системи управління безпекою польотів.....	78
4.2. Математична формалізація автоматизованої системи управління безпекою польотів.....	86
4.3. Структура та принципи роботи блоків діагностики, управління та прогнозування рівень безпеки польотів	94
4.4. Висновки	99
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	110
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	112

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БПЛА – Безпілотний літальний апарат

БПАК – Безпілотний авіаційний комплекс

ДСП – Держпродспоживслужба

ЗПС – Злітно-посадкова смуга

НАРП – Надлегкі літальні апарати

ПДП – Пункти дистанційного пілотування

ПС – Повітряне судно

ПП – Повітряний простір

УМО – Ультрамалооб'ємне оприскування

ЦА – Цивільна авіація

ВСТУП

Цивільна авіація України є однією з найважливіших складових як економіки, так і політичного зовнішнього іміджу нашої держави. Незважаючи на її малу частку (1-5% в середньому) в загальній кількості перевезених пасажирів і вантажів транспортними підприємствами України, значення і роль національної громадянської є надзвичайно високою. З чисто економічної точки зору цивільна авіація через високу вартість послуг і динамічного характеру їх продажу забезпечує швидкий і вагомий приплив фінансових коштів, особливо в іноземній валюті. З позицій користі даної галузі в соціальній сфері цивільна авіація також однозначно займає все лідируючі місця по комфортності і швидкості перевезення пасажирів, а також вантажів. Що ж стосується політично-іміджевої ролі національної цивільної авіації, то вона по суті грає роль візитної картки держави для широких верств громадськості в світовому співтоваристві.

На сьогоднішній день цивільна авіація України переживає дуже непрості часи. З одного боку, шлях цивільної авіації незалежної України відзначений низкою видатних успіхів, з іншого боку про себе з кожним роком все більше і більше дають знати помилки і прорахунки, допущені раніше. Перш ніж приступити до більш докладного опису діяльності цивільної авіації України, автором наводиться загальна коротка характеристика стану сфери цивільної авіації України на кінець 2002 р Ринку авіаперевезень України на сьогоднішній день «різношерстий і погано структурований, що викликає законне бажання у Мінтрансу найближчим часом ще більше активно зайнятися приведенням його "до тями" »[2].

Сьогодні в Україні зареєстровано понад 90 авіаційних організацій, що займаються транспортними перевезеннями або авіахімробіт. 64 авіакомпанії мають статус приватних, 27 - поки продовжують перебувати в держвласності. Майже третина перевізників (26 авіакомпаній) спеціалізуються виключно на пасажироперевозках. За оцінками ряду експертів, більше 85% пасажирських перевезень здійснюються на регулярних рейсах і тільки 15% - на чартерних, з вантажоперевезеннями ситуація зворотна - майже 90% припадає на чартерні рейси.

Частка українських авіакомпаній в регулярних міжнародних перевезеннях "в Україні, з України" становить лише близько 40%, що обумовлено тим, що іноземні авіакомпанії виконують рейси на більш сучасних літаках, ніж ті, які є у більшості українських компаній. В цілому самолітотно-вертолітний парк цивільної авіації України застарів, фахівці оцінюють вироблення ресурсу літаків, які перебувають в експлуатації в українських авіакомпаніях, в розмірі 70% [4], середній вік українських авіалайнерів становить 15-20, а то і більше, років. Дана обставина викликає серйозну загрозу, тому що найближчим часом дуже ймовірно прийняття заборони на польоти українських літаків в європейські країни, оскільки вони не відповідають вимогам безпеки, екології, шумостійкості і охорони навколишнього середовища [3].

Кількість аеропортів в Україні становить 40, з них 18 мають статус міжнародних. Однак, незважаючи на значний список діючих аеропортів, лівова частка обслуговування повітряних суден доводиться лише на 8 найбільших з них - київські "Бориспіль" і "Жуляни", а також аеропорти Донецька, Дніпропетровська, Львова, Одеси, Харкова та Сімферополя. За даними Держдепартаменту авіаційного транспорту, у 2000 році ці аеропорти обслужили понад 84% всіх пасажирських перевезень в Україні. Частка цих аеропортів в обслуговуванні вантажоперевезень у 2000 році склала 92% [6]. Статус власності аеропортів дуже різний: державні, приватні, і знаходяться в муніципальній власності. За невеликим винятком всі аеропорти юридично розділені з базуються на них авіакомпаніями [2]. Технічна забезпеченість українських аеропортів в цілому відповідає діючим вимогам, проте є і дуже серйозні успіхи в цій галузі: Злітно-посадкова смуга № 1 Державного міжнародного аеропорту "Бориспіль" вже об'єктивно визнана однією з кращих смуг в Європі [5].

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ПОЛЬОТІВ В АЕРОНАВІГАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

1.1. Загальний аналіз аварійності в аеронавігаційній системі України за період 2010-2020 рр.

Авіаційну діяльність в аеронавігаційній системі України за період 2010-2020 років здійснювали близько 90 сертифікованих в Авіаційній адміністрації України експлуатантів усіх форм власності. За цей період загальний наліт на ПС усіх типів склав близько 4120342 годин, мали місце 17 катастроф; 28 аварій; 77 серйозних інцидентів, що відображено на рис. 1.1.

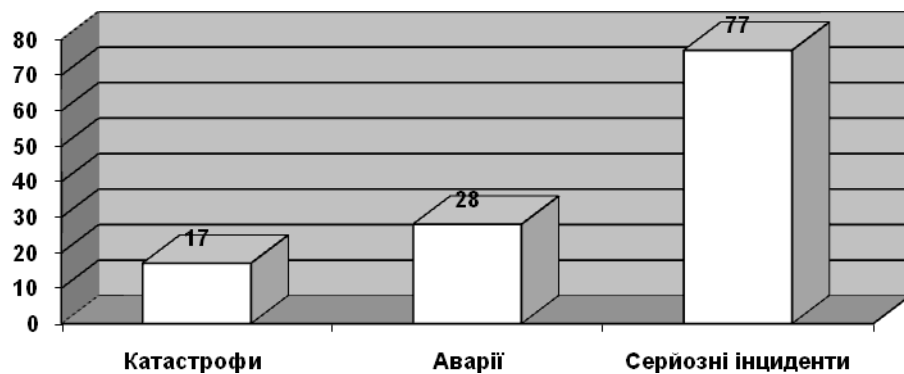


Рис. 1.1. Загальна кількість катастроф, аварій, серйозних інцидентів за 10-річний період

Значне зростання кількості інцидентів сталося через порушення технічного обслуговування літаків, що свідчить про недостатній рівень інженерного аналізу відмов авіатехніки, відсутність у експлуатантів необхідної кількості запасних частин і агрегатів, зниження вимог керівного складу авіакомпаній до якості виконання технічного обслуговування. Процентне співвідношення факторів показано на рис 1.2.

Стурбованість викликає фізичне старіння парку ПС і відсутність законодавчо врегульованих механізмів його оновлення в умовах низької

кредитоспроможності державних підприємств. У зв'язку з виробітком призначених ресурсів і загального терміну служби авіатехніки відбувається різке щорічне скорочення її сертифікованої кількості.

Особливу стурбованість викликають катастрофи, обумовлені зіткненням справних ПС із землею поверхнею в гірській місцевості через недостатню підготовку екіпажів ПС до виконання таких польотів [19].

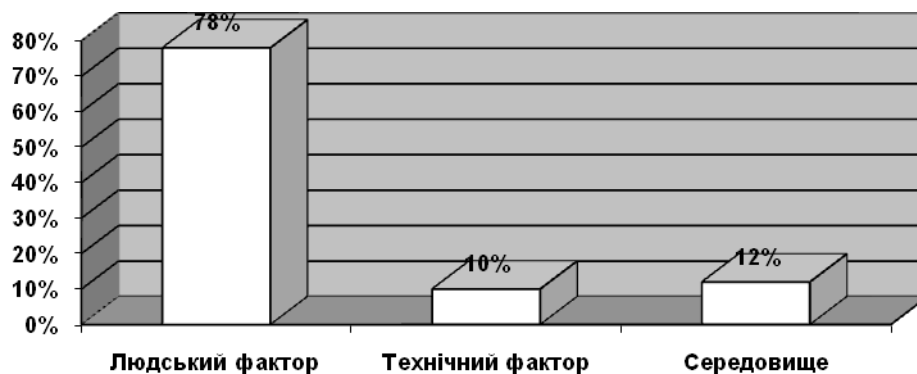


Рис. 1.2. Процентне співвідношення факторів за 10-річний період

Унаслідок АП гинуть і травмуються люди, авіакомпанії зазнають значних фінансових збитків, що негативно впливає на економічні показники їх діяльності [31]. За даними ІКАО, відносні показники РБП у вітчизняній авіаційній галузі значно гірші від загальносвітових показників.

Негативний внесок щорік вкладає постійно зростаючий сектор вантажних перевезень і авіаційних робіт в зонах підвищеного ризику - країнах Африки і Близького Сходу без належного державного регулювання і контролю. Частина керівників експлуатантів, переслідуючи комерційні інтереси і задоволення вимог і бажань замовників, ціною забезпечення БП, чинять тиск на підлеглі екіпажі ПС, які стають заручниками таких обставин і свідомо допускають порушення правил завантаження ПС і правил польотів, що приводить до трагічних наслідків [21, 28].

За результатами перевірки, експерти FAA USA рекомендують віднести Україну до категорії «European aviation safety agency (EASA) Category 2», поки не будуть прийняті заходи по виправленню положення. Інспекторським складом авіаційних адміністрацій Європи, що виконують перевірки українських експлуатантів за програмою Safety assessment of foreign aircraft (SAFA), в 2014 році виконано 22 перевірки з визначенням невідповідностей стандартам ІКАО по категоріях 2 і 3. Відсутність в більшості матеріалах розслідування АП, які були делеговані експлуатантам, даних бортових і наземних засобів об'єктивного контролю; фотографій пошкоджених частин авіатехніки; оцінки професійної підготовки екіпажа і виконання ним технології роботи і вимог керівництва льотної експлуатації; інженерно-штурманського розрахунку польоту, аналізу динаміки руху ПС; оцінки психоемоційного стану екіпажа; оцінки льотної придатності і якостей технічного обслуговування ПС не дає можливості своєчасного прийняття рішення щодо попередження АП в майбутньому по одних і тих же причинах [3,25,26].

Помилки, що постійно повторюються, у пілотуванні своєчасно не виявляються і належним чином не аналізуються, обробка інформації бортових самописців рейсових польотів в авіакомпаніях здійснюється формально. Деякі льотні фахівці авіакомпаній не дають належної оцінки якості виконання польотів, що, зрештою приводить до масових порушень вимог керівництва з льотної експлуатації [33,34]. Таким чином, порушена система вдосконалення організації льотної і льотно-методичної роботи, чому у колишньому СРСР, приділялася найпильніша увага. Методичне забезпечення тренувань льотних екіпажів до парування небезпечних відмов потребує серйозного поліпшення, оскільки програми тренувань не лише не повною мірою відображають порядок введення відмов, але часто і виключають найбільш критичні для безпеки етапи польоту. Тренування проводяться не комплексно, оскільки не містять елементів відбору взаємодії членів екіпажа. Програми перенавчання льотного складу,

курси навчально-льотної підготовки пілотів не переглядалися протягом багатьох років [31, 33]. Таким чином необхідно визначити теоретичний базис та підходи для прийняття ефективних управлінських рішень з метою мінімізації ризиків при застосуванні нейронно-мережових технологій УБП.

1.2. Аналіз методів прийняття управлінських рішень. Нейронно-мережовий підхід

1.3. цивільної авіації України.

1.4. Державні авіаційні влади України також протягом 1991-2000 рр. зазнавали змін. Створивши в 1992 р «Укравіацію» як відомчий підрозділ Міністерства транспорту України, через кілька років від такої схеми вирішили відмовитися на користь моделі окремо розташованих авіаційних властей, скопіювавши американську модель FAA - Federal Aviation Administration of the United States, Федеральної Авіаційної Адміністрації США, відомстві, що входить в структури Міністерства транспорту лише формально, і в питаннях регулювання авіаційної діяльності має статус самої верхньої ступені в ієрархії виконавчої влади в США, так як функціями, правами і обов'язками його наділив і узаконив вищий законодавчий орган держави, - керівник ФАА призначається Президентом і затверджується Конгресом США. ФАА виконує тільки ті вимоги Міністерства транспорту, які є обов'язковими для всіх видів транспорту в масштабах держави. «Укравіація» була фактично виділена з підпорядкування Мінтрансу, але повністю зберегла всю свою інфраструктуру, змінивши лише свою назву на «ДАА» - Державна авіаційна адміністрація України. Однак, дана модель не прижилася, і у 2000 році було прийнято рішення про повернення авіаційних властей України в лоно Міністерства транспорту. Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 29 березня 2000 року № 573 в складі Міністерства транспорту України було утворено Державний департамент авіаційного транспорту - правонаступник Державної авіаційної адміністрації України, який повинен забезпечувати безпечну діяльність авіаційної галузі та її

всбічний розвиток відповідно до національного законодавства та міжнародних стандартами, нагляд за їх дотриманням усіма експлуатантами, що працюють в Україні [8].

Його основними завданнями є:

організація та забезпечення виконання авіаційних перевезень, робіт і послуг;

реєстрація та сертифікація об'єктів і суб'єктів авіаційної діяльності;

здійснення нагляду за забезпеченням авіаційної безпеки і безпеки польотів;

ефективне використання повітряного простору України, в тому числі у військових цілях;

забезпечення функціонування об'єднаної цивільно-військової системи управління повітряним рухом та її удосконалення [33].

Особливу увагу також вимагає розгляд нормативної бази, що регламентує діяльність цивільної авіації України, оскільки дана нормативна база являє собою єдність кількох досить різних складових. З одного боку, це - нормативна база незалежної України, розроблена вже з урахуванням реалій ринкової економіки, з іншого боку - нормативна база ІКАО, положення якої Україна зобов'язана виконувати як член даної міжнародної організації, з третього боку - величезна нормативна база цивільної авіації СРСР, розроблена досконально і перевірена часом, прекрасно враховує наші реалії і менталітет, відмовлятися від якої або перейменовувати її заголовки немає ніякого сенсу. Основою державного регулювання діяльності цивільної авіації України є законодавча і нормативно-правова база, що складається з Конституції України, Закону України "Про транспорт", Повітряного кодексу України (Постанова Верховної Ради України від 04.05.93 № 3168-ХІІ зі змінами, внесеними Постановами Верховної Ради України від 21.10.97 № 590/97-ВР і від 15.12.99 № 1297-ХІV), Концепції розвитку цивільної авіації України (постанова КМУ 28.12.96 № 1 587), інших законодавчих актів, національних нормативно-правових актів, державних та галузевих стандартів, керівних документів по стандартизації, нормативно-правових актів колишнього МЦА СРСР, які не втратили своєї актуальності і не суперечать Конституції і чинному законодавству України, дійсних для України актів міжнародного повітряного права, документів міжнародних організацій, членом яких є Україна (рис. 2).

Станом на 12.05.2000 р [17] нормативно-правова база цивільної авіації України складається з:

- підписаних міжнародних угод про повітряне сполучення - 51;
- парафорованих Угод про повітряне сполучення - 15;
- галузевих стандартів - 64;
- керівних документів по стандартизації - 43;
- нормативних документів колишнього Міністерства цивільної авіації СРСР - 436;
- національних нормативно-правових актів - 71 (з них 45 зареєстровано в Міністерстві юстиції України, 26 введені в дію наказами Мінтрансу і Укрaviaції);
- Державних стандартів України - 190;

Реалізація стратегічного курсу України на інтеграцію в Європейський Союз (ЄС) здійснюється через адаптацію нормативно-правової бази, що регулює діяльність цивільної авіації України, до відповідних стандартів ЄС. Основою цієї діяльності є розробка і введення в дію в 2001 році:

- Повітряного кодексу України (друга редакція);

1.3. Аналіз міжнародних керівних документів з управління безпекою польотів

Забезпечення БП є пріоритетом діяльності авіаційного транспорту і невід'ємною складовою національної безпеки. Відповідно до [36] як член Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) Україна повинна чітко дотримуватись встановлених цією організацією стандартів, згідно з якими кожна держава – член ІКАО зобов'язана розробити і виконати національну програму БП, а суб'єкти авіаційної діяльності - впровадити систему УБП [31].

Важливо відзначити, що в 80-х роках минулого століття поняття «безпека польотів» розглядалася як властивість авіаційної транспортної системи, що полягає в її здатності здійснювати повітряні перевезення без загрози для життя й здоров'я людей [37].

Сьогодні доведена неспроможність підходу до розгляду питань БП в аеронавігаційній системі винятково з позиції комплексної протидії негативному впливу середовища на забезпечення БП. В [36] наведене наступне визначення безпеки, а саме: безпека являє собою стан, при якому ризик заподіяння шкоди особам або завдання збитків майну знижений до прийняттого рівня й підтримується на цьому або більше низькому рівні за допомогою безперервного процесу виявлення джерел небезпеки й контролю ФР. Отже, одним актуальних напрямків удосконалення методів УБП є визначення ризику, їх оцінка й управління ними.

Саме тому міжнародні авіаційні організації такі як Євроконтроль та ІКАО запропонували нову модель забезпечення БП, яка передбачає проактивний метод і полягає в активному зборі інформації про події з різноманітних джерел (система добровільних сповіщень; матеріали засобів об'єктивного контролю; результати розслідування АП і інцидентів; активний обмін інформацією [36, 37].

Система УБП це сукупність заходів із застосування єдиного підходу до УБП, що передбачає оптимізацію організаційної структури, розподіл відповідальності між органами державної влади та суб'єктами авіаційної діяльності, визначення політики та експлуатаційних процедур щодо забезпечення БП. В основі УБП лежить системний підхід до виявлення й усунення джерел небезпеки та здійснення контролю за ризиками для забезпечення БП з метою мінімізації людських втрат, матеріальних, фінансових, екологічних та соціальних збитків.

Спираючись на системний підхід УБП, існує можливість застосування характерних точок її оціночної функції, яка визначає ставлення до ризику в процесі ПР щодо розв'язання тої чи іншої конфліктної та небезпечної ситуації, для диференціації рівнів трикутника ризику. Використовуючи саме таку класифікацію ризиків за кількісним обчисленням, виникає можливість вдосконалювати інформаційно-методичне наповнення вже запропонованих системи підтримки ПР експертами з БП [20,21].

В усіх випадках, коли ФР не задовольняє критеріям прийнятності, що заздалегідь встановлені, необхідно спробувати знизити його до прийняттого рівня, використовуючи належні засоби задля зменшення ризику. Перед тим як той чи інший ризик буде класифіковано як прийнятний чи допустимий, необхідне виконання таких умов [20,21]:

- даний ризик нижче встановленої межі неприйняттого рівня;
- даний ризик був зменшений до найменшого практично можливого рівня;
- вигода від запропонованої системи достатньо значуща, щоб прийняти даний ризик.

Отримання кількісних оцінок для експертів, які здійснюють ПР дозволять одержати кількісну оцінку поточного ризику, і тим самим, оцінювати результати заходів щодо управління ризиком та ставлення до нього.

Для підвищення РБП органи державної влади та суб'єкти авіаційної діяльності повинні вжити ефективних заходів для впровадження СУБП згідно з вимогами ІКАО, Європейського агентства з БП та Європейської організації з безпеки аеронавігації (Євроконтроль) [31]. В умовах вступу України до СОТ та підготовки до укладення Угоди між Україною та ЄС про спільний авіаційний простір, розв'язання проблем БП, дасть змогу підвищити привабливість українського повітряного простору та конкурентоспроможність вітчизняних експлуатантів ПС. Безпека є відносним поняттям, і припускає, наявність природних ФР в «безпечній» системі. Саме тому УБП розглядається, як контроль над ФР, а управління ризиками, допускає прогнозування виникнення небезпек у рамках функціонування системи УБП [24, 25].

В ряді дестабілізуючих факторів для суб'єктів авіаційної діяльності (ризик, небезпека або погроза) первинним є ризик, а небезпека й погроза є різновидами виникнення ситуацій, які приводять до порушення БП у випадку ігнорування ризиків, тобто виступають як вторинні фактори. Тому сукупність параметрів, що представляють небезпеку або погрозу БП, можна класифікувати як сукупність ФР, виявленням і протидією якому повинен займатися весь

персонал суб'єкта авіаційної діяльності в умовах функціонування системи УБП. Рівень прийняттого ризику в більшій мірі залежить від ступеню корисності для людини, яка приймає рішення, остаточної мети її діяльності, рівно як і корисності проміжних результатів, яких вона може досягти, реалізуючи ту або іншу дію. Характеризувати поняття ризику можна лише як якісну категорію, яку не оцінюється кількісно за допомогою безпосередніх вимірювань. Це означає, що ризик треба оцінювати за деякими якісними ознаками стану досліджуваної системи, а вже при наявності якісних ознак знаходити кількісний еквівалент, який допоможе визначити рівень ризику [1]. Цей рівень необхідно обов'язково знати, щоб одержати методології для належної підготовки фахівців до кризових ситуацій в процесі управлінської діяльності.

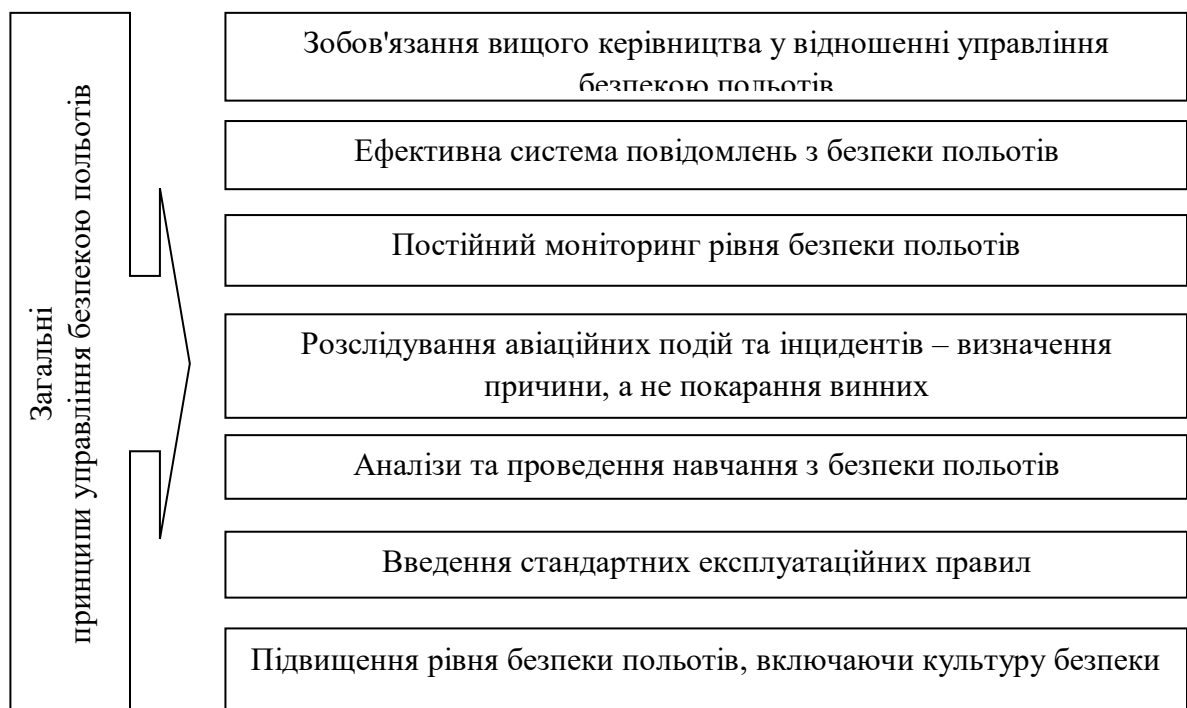


Рис 1.6. Загальні принципи управління безпекою польотів

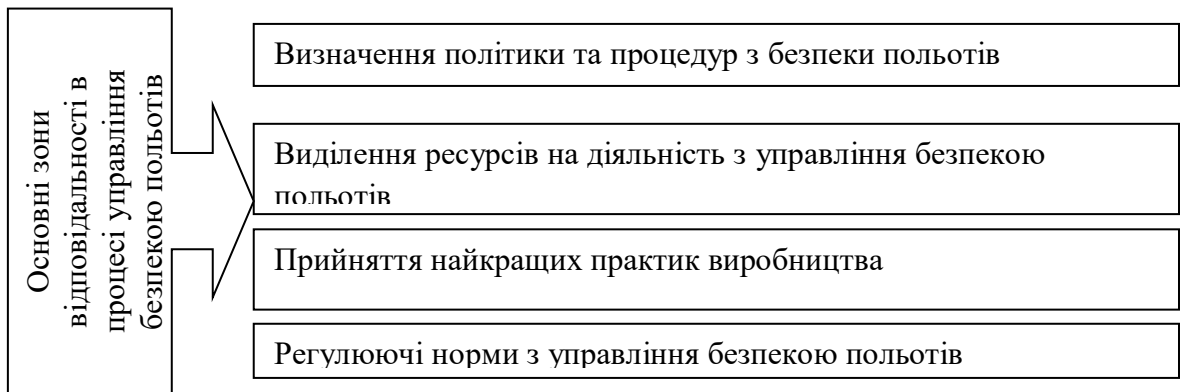


Рис 1.7. Принципи зони відповідальності в процесі управління безпекою польотів



Рис 1.8. Методи управління безпекою польотів

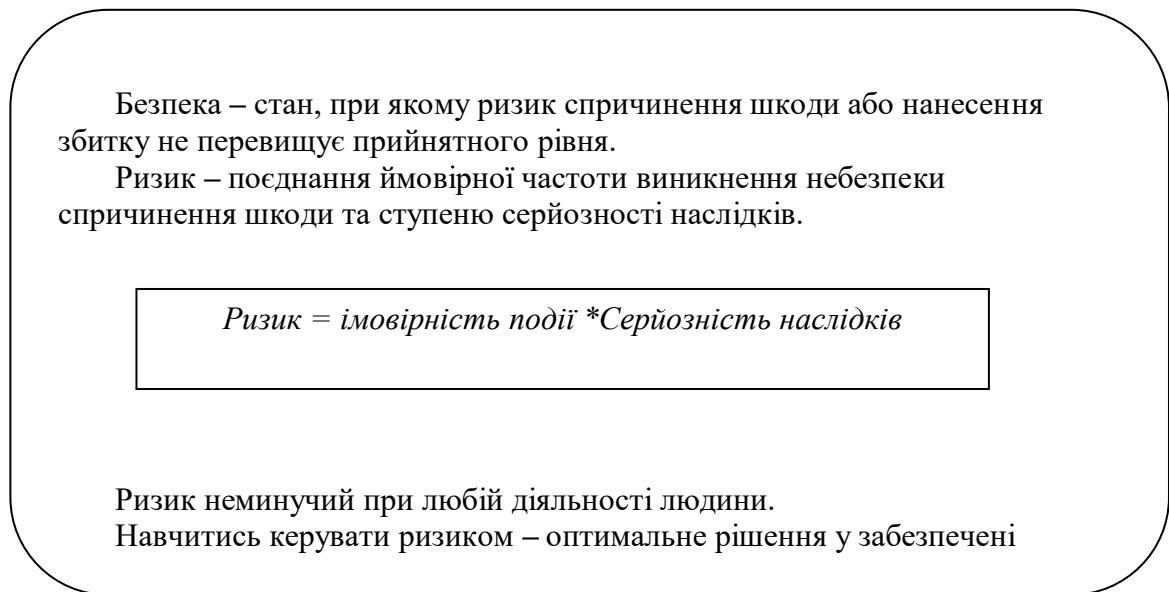


Рис. 1.9. Поняття безпеки та ризику

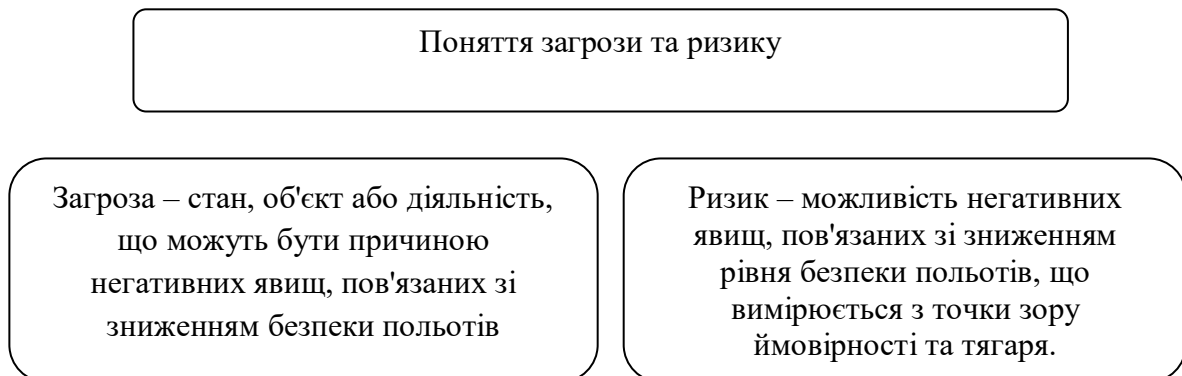


Рис. 1.10. Поняття загрози та ризику

Виявлення і оцінка ризиків дозволяє отримати інформацію, необхідну для ПР щодо методів управління ризиком. Таким чином, оцінка ризику служить основою для вироблення заходів управління ризиком.

Заключна фаза процедури оцінки ризику одночасно є першою ланкою процедури управління ризиком, тобто в результаті проведення аналізу ризику

виявляється картина можливих ризикових подій, імовірність їх настання і наслідків. Після порівняння отриманих значень ризиків з гранично допустимими виробляється стратегія управління ризиком, і на цій основі - заходи його їх запобігання і зменшення [11-12].

На цій основі запропонована методологія, [19] яка базується на узагальненні досвіду трьох основних шкіл експлуатації:

- радянської школи експлуатації літаків, що діє на основі національних авіаційних правил (наставляння по виробництву польотів й ін.);
- європейської школи експлуатації, що регулюється системою європейських обов'язкових правил: JAR-OPS-1 (комерційні літаки); JAR-OPS-3 (комерційні вертольоти); PART-M, PART-145, що регулюють збереження літної придатності літаків; JAR-OPS-2, JAR-FCL і т.д.
- школи, заснованої на дотриманні вимог стандартів і рекомендує практики, ІКАО (SARPs), у першу чергу Додатків 1, 6, 8 і 16, з урахуванням передового досвіду світового авіаційного співтовариства.

Розроблена методологія враховує наявність трьох видів власності – державна, приватна, приватно-державна, при цьому відбиті особливості експлуатації трьох станів парку літаків: розробки радянсько-російського виробництва; західного виробництва й змішаний парк (частково радянського й частково західного виробництва).

Національні авіаційні правила можна представити як трьохрівневу ієрархічну систему:

I рівень – Типовий повітряний кодекс, основний закон, що регулює діяльність цивільної авіації по всіх її напрямках, що враховує всі міжнародні конвенції, ратифіковані державою (затверджується Верховною радою і вводиться в дію Указом Президента).

II рівень – авіаційні правила, що включають державні вимоги до всіх експлуатантів, авіаційному персоналу й центрам технічного обслуговування й ремонту авіаційної техніки (розробляється Авіаційною адміністрацією).

III рівень – авіаційні правила є розвитком правил II-го рівня в умовах конкретної авіакомпанії, аеропорту і т.д. (розробляється авіакомпаніями, аеропортами й ін.).

На даний час згідно з вимогами ІКАО та ЄС впроваджується сучасний підхід до УБП як найбільш ефективна форма державного регулювання діяльності цивільної авіації шляхом проведення постійної роботи з виявлення та усунення ризиків для забезпечення БП в аеронавігаційній системі [31].

Підвищення РБП передбачається досягти шляхом упровадження всіма суб'єктами авіаційної діяльності АСУБП та поетапної модернізації інфраструктури аеронавігаційної системи [31].

1.4. Аналіз існуючих автоматизованих систем управління безпекою польотів

Поява на повітряних лініях нової, високо ефективною й у той же час усе більше складної авіатехніки закономірно обумовлює зростання обсягу інформації, обробка якої необхідна й для правильною й своєчасною оцінки РБП.

У зв'язку зі значним обсягом інформації, необхідним для достовірної оцінки тенденцій зміни РБП навіть в одному авіапідприємстві, не говорячи вже в цілому по галузі, збір цієї інформації, а в перспективі вироблення рекомендацій з формування УР, повинні бути автоматизовані із залученням сучасних засобів електронно-обчислювальної техніки [35, 37]. Основні принципи існуючих автоматизованих систем відображено на рис 1.11 – 1.14.

Розуміння впливу людського фактору на вдачі та невдачі в авіації можна краще забезпечити шляхом моніторингу дій екіпажу в нормальних умовах, чим шляхом розслідування АП та інцидентів [28, 30].

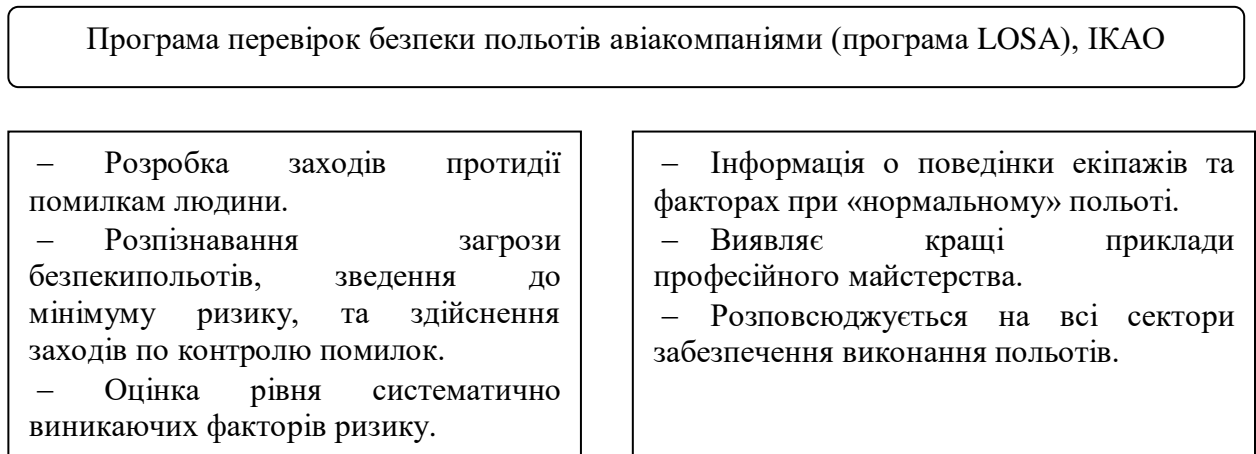


Рис. 1.11. Програма перевірки рівня безпеки польотів Російськими авіакомпаніями



Рис. 1.12 Стратегії управління безпекою польотів, засновані на різноманітних джерелах інформації

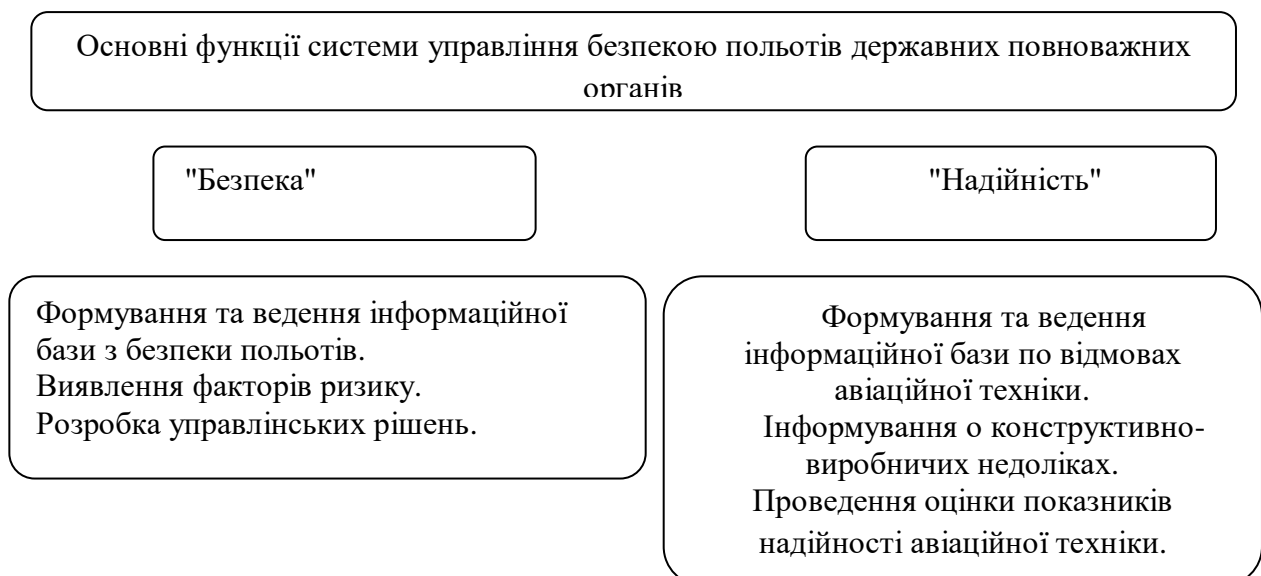


Рис 1.13. Основні функції системи управління безпекою польотів державних повноважних органів Російської Федерації

Розглядаючи наявні АСУБП з урахуванням нових умов авіаційної діяльності постає задача розвитку підсистем галузевого й територіального рівнів, що дозволяють накопичувати статичну інформацію в цілому по галузі [22]. Підсистеми рівня експлуатантів будуть призначені для цілей обґрунтованого рішення завдань, пов'язаних із забезпеченням БП [27,31]. При побудові системи УБП, заснованої на використанні інформаційно-управляючих систем, виникає задача розробки її оптимальної структури, а критерієм оптимальності при цьому можна прийняти деякий показник наприклад кількість одержуваної інформації [2, 4]. Така декомпозиція дає можливість послідовно розробляти й уводити в експлуатацію фрагменти АСУБП, що замикає керуючий контур і перетворює всю систему в систему керування зі зворотним зв'язком [19,20,27]. Інформаційне забезпечення функціонування системи УБП, повинно включати створення баз даних про АП, зокрема причини їх виникнення та ФР, які були встановлені за результатами розслідування, результати аналізу записів бортових реєстраторів та іншої польотної інформації, обов'язкові та добровільні сповіщення авіаційного персоналу про АП, інциденти та ризики, зауваження інспекторського складу авіаційної влади [24,25,26].



Рис. 1.14 Основні функції системи управління безпекою польотів регіональних державних повноважних органів Російської Федерації

1.5. ВИСНОВКИ

В першому розділі вирішено задачу щодо здійснення аналізу, систематизації й узагальнення проблем і методів УБП в аеронавігаційній системі України, а саме:

- проблем УБП в аеронавігаційній системі;
- методів прийняття управлінських рішень;
- методів використання мережевих моделей при УБП;
- міжнародних керівних документів та існуючих автоматизованих систем

по управлінню безпекою польотів. Так визначено:

1.1. Сучасний стан аеронавігаційної системи України по оцінках іноземних експертів вважається за критичний, і вимагає негайного втручання на найвищому державному рівні.

1.2. Результати аналізу причин виникнення АП та інцидентів за останні десять років свідчать:

- що приблизно 80% таких подій сталися через помилкові дії та порушення екіпажами ПС правил експлуатації (людський фактор);

- система підготовки та підвищення кваліфікації пілотів цивільної авіації є недосконалою і не відповідає вимогам ІКАО та ЄС;

- на даний час більшість авіакомпаній експлуатує парк морально, технічно та фізично застарілих повітряних суден. Відсутність достатньої кількості запасних частин та їх висока собівартість призводять до розукомплектування ПС та заміни агрегатів, систем, і обладнання деталями, узятими з інших ПС, а також до використання контрафактних деталей;

- придбання або експлуатація авіакомпаніями дешевої авіаційної техніки іноземного виробництва, яка вичерпала значний запас ресурсів і як наслідок морально, технічно і фізично застаріла та має низький рівень надійності;

- статус і структура авіаційної влади України не відповідають вимогам Міжнародної організації цивільної авіації ІКАО.

1.3. Розглянуті та проаналізовані класичні методи ПР, які дозволяють приймати обґрунтовані рішення при невизначеності даних і ситуацій, недоліку фактичної інформації і перспективних її змін. Однак розроблені, способи рішення задач в умовах ризику і невизначеності не обмежуються перерахованими методами. Залежно від конкретних обставин в процесі аналізу можуть бути використані й інші методи, сприяючі рішенню задач, пов'язаних з мінімізацією ризику.

1.4. Проаналізовано міжнародні керівні документи з УБП, з чого визначено, що з усіх існуючих систем авіаційних правил як основу потрібно

обрати європейську систему по ознаці новизни стосовно існуючої, а також по ознаці максимальних міжнародних перевезень авіакомпаніями, з урахуванням національного менталітету, що детально відображено в [31].

1.5. З аналізу існуючих АСУБП можна зазначити, що основна їх позиція зосереджена на накопичуванні статистичної інформації, однак відсутні методи аналізу, прогнозування та виробітки УР направлених на усунення ФР до того як наступне АП чи інцидент.

РОЗДІЛ 2. МОДЕЛІ, ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ПОЛЬОТІВ

2.1. Метод моделювання імовірності виникнення особливих ситуацій у польоті

2.1 Розробка методу аналізу дерева небезпек

Метод прогнозування та запобігання авіаційним аваріям заснований на оцінці ймовірності аварії певного типу в певних експлуатаційних умовах повітряного судна з використанням аналізу "дерева небезпек". Введено нове поняття - «дерево факторів небезпеки» (за аналогією з методом аналізу «дерева» несправностей [13]).

Тип події - безпосередньо спостерігаються наслідки особливої ситуації [1] з повітряним судном на землі або в повітрі [51]: екскурсії на злітно-посадочну смугу, втрата контролю в польоті та інші види подій.

„Дерево небезпек” (далі „дерево”) - це логічна схема, яка відображає можливі шляхи розвитку небезпек та їх поєднання через проміжні події та бар’єри безпеки в авіаційній аварії певного типу (визначення нових термінів будуть представлені далі в тексті). Іншими словами, “дерево” - це графічна модель причинно-наслідкових зв’язків подій, вершиною якої є аварія, а основою є небезпеки, які ініціюють та / або супроводжують розвиток аварії.

Можливі тисячі різних сценаріїв розвитку авіаційних подій, і неможливо змодельовати кожен із них, навіть вивчивши всю світову статистику авіаційних подій, оскільки все ще існують нереалізовані сценарії.

Побудова "дерева небезпек" необхідна для опису найбільш типових та визначення найкоротших шляхів розвитку факторів небезпеки в авіаційних аваріях, що становлять найбільшу загрозу безпеці польотів.

У традиційному підході до аналізу безпеки об’єктом дослідження вважається обмежена кількість факторів, пов’язаних з конкретною здійсненою

авіаційною подією. Розроблений метод орієнтований на аналіз усіх факторів небезпеки, потенційно здатних впливати на безпеку польотів.

Розробка «дерева» базується на комбінованій методології PMEA-RTA для дослідження відмов технічних систем [88]. Це інноваційна комбінація двох традиційних та широко використовуваних методів аналізу надійності: Аналіз режимів і ефектів потенційних відмов (PMEA) та Аналіз дерева несправностей (FTA).

Фактор небезпеки (FF) - це стан, стан або об'єкт, що може спричинити травмування персоналу, пошкодження обладнання чи конструкцій, спричинити їх руйнування або зменшити здатність системи повітряного транспорту виконувати встановлену функцію [58].

Прояв факторів небезпеки проаналізовано в моделі дерева.

Проявом FD є негативний вплив FO на безпеку польотів, що має певну кількісну та / або якісну характеристику. Фактори небезпеки постійно впливають на авіаційну транспортну систему, однак ці впливи можуть бути прийнятними (не мати негативних наслідків) або небезпечними (бути основною або супутньою причиною авіаційної аварії).

Наприклад, зсув вітру відповідно до вказівок [56] може бути:

- слабка (зміна швидкості вітру становить від 0 до 2 м / с включно для 30 метрів зміни висоти);
- помірний (зміна швидкості вітру становить від 2 до 4 м / с включно для 30 метрів зміни висоти);
- сильний (зміна швидкості вітру становить від 4 до 6 м / с включно для 30 метрів зміни висоти);
- дуже сильний (зміна швидкості вітру становить більше 6 м / с на 30 метрів зміни висоти).

Характеристика небезпеки зсуву вітру - це зміна швидкості вітру.

Слабкий зсув вітру не становить загрози безпеці польотів і може бути віднесений до допустимого прояву FD. Інші категорії зсуву вітру потрібно враховувати при прогнозуванні аварій.

Як правило, аварії передують проміжна подія, яка характеризує особливу ситуацію в польоті і є наслідком прояву небезпеки.

Проміжна подія - це етап розвитку аварії, коли її можна уникнути, лише якщо встановлені, активовані та ефективні бар'єри безпеки.

Запобіжні бар'єри призначені для запобігання небезпечним проявам небезпек (тобто для запобігання проміжній події), парирувальні бар'єри призначені для запобігання розвитку небезпечних проявів небезпеки до аварії (тобто для відбиття проміжної події).

Умовна подія A_0 - подія високого рівня, якій передують події A_1 та A_2 нижчого рівня:

Якщо події A_1 та A_2 пов'язані з подією A_0 через логічний знак "І", то ймовірність події A_0 обчислюється за формулою [13]:

$$P(A_0) = P(A_1) \cdot P(A_2) \quad (2.1)$$

Якщо події A_1 і A_2 пов'язані з подією A_0 через логічний знак "АБО", то ймовірність події A_0 обчислюється за формулою [13]:

$$R(L) = 1 - [1 - D_4] \cdot [1 - R(4)] \quad (2.2)$$

2.2 Розробка процедури побудови "дерева факторів небезпеки"

Першим кроком є визначення фаз польоту, на яких може статися аварія даного типу. На рис. 2.4 показана вершина "дерева" аварій, таких як "Зіткнення справного літака на землю в контрольованому польоті" (CFIT - Контрольований політ на місцевість), де розглядаються три етапи: зліт

(включаючи підйом), en -маршрут, спуск і підхід до посадки. «Дерево» було розроблено автором при створенні автоматизованої системи

прогнозування та запобігання авіаційним аваріям (ця система детальніше обговорюється в главі 4).

Інформація з різних джерел аналізується для опису причинно-наслідкових зв'язків "дерева":

Наступним кроком є визначення проміжних подій (рис. 2.8, рис. 2.9), на яких можна уникнути несприятливого закінчення польоту за рахунок бар'єрів безпеки.

При вивченні бар'єрів безпеки аналізуються небезпеки трьох основних груп: екіпаж, літак, навколишнє середовище. У цьому прикладі з CFIT, крім помилок екіпажу, розглядаються: неподання сигналу про загрозу зіткнення з землею Системою обізнаності та попередження про місцевість (TAWS) - фактором групи "Літаки"; не отримання екіпажем від диспетчера попередження про небезпечний підхід до землі (рис. 2.10).

Основа «дерева» повинна представляти «основні» події - прояви факторів небезпеки з якісною / кількісною характеристикою, що дозволяє оцінити ймовірність їх виникнення в польоті.

2.3 Апробація методу аналізу дерева небезпек

Актуальність проблеми зльоту злітно-посадочної смуги літака

За даними [81] ІКАО за період 2005-2010 рр. найбільша кількість аварій сталася на етапах польоту, пов'язаних із використанням злітно-посадкової смуги (рис. 2.11). До цієї групи належать події, пов'язані з вильотом літака із злітно-посадкової смуги.

2.3.2 Розробка "дерева небезпек" для одного зі сценаріїв виходу літака з злітно-посадкової смуги

Згідно з розробленою процедурою побудови "дерева небезпек", першим кроком є визначення етапів польоту, на яких літак може викочуватися із злітно-посадкової смуги, а також особливостей цього типу подій - може відбутися розгортання як у бічному, так і в поздовжньому напрямках (рис. 2.14).

Наступний крок описує причинно-наслідкові зв'язки подій на різних етапах (рис. 2.15, рис. 2.16, рис. 2.17, рис. 2.18).

Малюнок: 2.16. Верх бічного "дерева", що викочується під час зльоту

Австралійське бюро транспортної безпеки, проаналізувавши випадки вильоту літаків, виявило понад 300 факторів, які, так чи інакше, сприяють викиду літаків із злітно-посадкової смуги [99].

Тим часом багато з виявлених факторів надзвичайно рідкісні і лише за певних умов, а також у поєднанні з іншими факторами. У той же час існує група факторів небезпеки, які найчастіше проявляються в причинах скачування літаків із злітно-посадкової смуги і становлять найбільшу загрозу безпеці польотів.

На офіційному веб-сайті Національної аерокосмічної лабораторії Нідерландського інституту безпеки повітряного транспорту [94] наводяться основні фактори розгортання літаків поза злітно-посадковою смугою, а також значення частоти проявів у подіях, порівняно з іншими факторами (зазначається, що в одній події поєднання декількох факторів). Для поздовжнього розгортання при посадці наводяться такі дані (таблиця 2.2):

За іншим джерелом [100], принаймні 55 із 120 випадків розгортання літаків були пов'язані з нестабілізованим підходом.

Очевидно, що, зосередивши зусилля на мінімізації негативного впливу основних факторів небезпеки, можна досягти значного зменшення авіаційних аварій

В рамках дослідницької роботи [48] з вивчення випадків вильоту літаків із злітно-посадкової смуги, автомобіля

розроблений Державним центром безпеки польотів на повітряному транспорті в 2012 році, автор аналізує причини виведення російських літаків цивільної авіації на період 2007-2011 років. Було встановлено, що основною або супутньою причиною понад 50% подій була посадка із значним польотом розрахункової зони посадки через перевищення рекомендованих значень параметрів польоту - швидкості та висоти (рис.

У випадку, розглянутому на рис. 2.21, сценарії екскурсії злітно-посадкової смуги трапляються в результаті значного перевищення посадки. Використання максимального реверсу двигунів до повного зупинення літака розглядається як одна з можливих (але не використовується в даному випадку) перешкод для парирування значного польоту та запобігання викочуванню повітряного судна із злітно-посадкової смуги.

Обмеження у застосуванні реверсу двигуна до того, як літак повністю зупиниться, пов'язані з можливістю потрапляння сторонніх предметів у двигун із ЗПС, що може призвести до його пошкодження та необхідності дорогого ремонту.

Значний політ розглядається в "дереві" як наслідок тривалого вирівнювання екіпажу через недотримання рекомендованої швидкості та висоти порогу злітно-посадкової смуги та пропущений підхід при нестабілізованому заході. Таким чином, у розглянутому сценарії аварії враховуються три фактори з перелічених у таблиці 2.2: посадка з польотом

розрахункової зони посадки; неправильне рішення про землю; пізніє / неправильне застосування реверсу двигуна.

Щоб передбачити ймовірність викочування злітно-посадкової смуги, "дерево", показане на рис. 2.21, описується рівнянням. Вводяться позначення проміжних подій та фактори небезпеки "дерева", а також коефіцієнти k - умовні ймовірності подальшої реалізації події при настанні події нижчого рівня:

A0 - викочування злітно-посадкової смуги при посадці;

A01 - посадка зі значним польотом розрахункової зони

посадка;

A02 - невикористання максимального реверсу двигунів до повного зупинення літака;

A011 - тривале нівелювання літака екіпажем перед посадкою;

A012 - пропущений підхід з нестабілізованим заходом;

A0111- перевищення рекомендованого обмеження швидкості польоту порогу ЗПС;

A0112 - перевищення рекомендованої висоти шляху польоту порогу ЗПС;

k01 - умовна ймовірність розкочування при посадці зі значним польотом над зоною посадки;

k02 - умовна ймовірність запобігання викочуванню літака із злітно-посадкової смуги при використанні максимального реверсу двигунів до повної зупинки літака;

k011 - умовна ймовірність посадки при значному польоті зони посадки при тривалому нівелюванні літака екіпажем;

k012 - умовна ймовірність посадки зі значним польотом зони посадки у випадку пропуску підходу;

k0111 - умовна ймовірність тривалого вирівнювання повітряного судна екіпажем через перевищення рекомендованої швидкості польоту порогової смуги польоту;

k0112 - умовна ймовірність тривалого вирівнювання повітряного судна екіпажем через перевищення рекомендованого порогового значення злітно-посадкової смуги висоти польоту.

Коефіцієнти k відображають невизначеність і випадковість розвитку особливої ситуації в польоті, а також відрізняють розроблений метод аналізу "дерева небезпеки" від методу аналізу "дерева" відмов.

Наведені позначення використовуються далі в тексті цієї роботи.

З урахуванням математичного значення логічних знаків (формули 2.1; 2.2) модель прогнозування ймовірності розгортання була записана у вигляді рівняння:

Події в рівнянні (2.3) приймаються як незалежні на основі введення умовних ймовірностей реалізації причинно-наслідкових зв'язків "дерева" - коефіцієнтів k .

Для прогнозування ймовірності випуску літака необхідно обґрунтувати можливість практичної оцінки ймовірностей факторів небезпеки (подія A) та коефіцієнтів k , наведених у рівнянні (2.3), відповідно до об'єктивних даних авіакомпанії або статистики аварій.

Розроблений метод прогнозування та запобігання авіаційним аваріям полягає у послідовному вирішенні двох проблем:

Прогнозування ймовірності аварії певного типу в конкретних умовах (екіпаж і повітряне судно, призначене для польоту, очікувані погодні умови на маршруті польоту тощо) на основі аналізу "дерева небезпек".

Визначення гілок та вузлів "дерева", які вносять найбільший вклад у ймовірність аварії, при отриманні прогнозованої оцінки ймовірності аварії, що перевищує рівень попередження. Таким чином, визначено найбільш значимі фактори небезпеки. У цьому випадку дослідження базується на принципі "зверху - вниз", до рівня "основних" подій "дерева" (проявів факторів небезпеки в польоті).

де m_r та b_r , відповідно, математичні

Очікування та стандартне відхилення прогнозованої оцінки ймовірності аварії, визначеної із накопиченої статистики прогнозних оцінок.

Заходи, що розробляються для запобігання авіаційним аваріям, повинні бути спрямовані на зменшення вразливості системи "Екіпаж - Літак - Навколишнє середовище" до впливу факторів небезпеки:

зменшення ймовірності факторів небезпеки, що ініціюють та / або супроводжують розвиток авіаційної аварії; зменшення ймовірності збою захисних бар'єрів.

Імовірнісна модель управління факторами ризику

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. Строєні 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 (+) $P+$. 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 вагомих 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 взаємозалежностей. 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:

$$P_{уун} = F_1(P - 1_i, n_1, P + 1_j, m_1); \quad (2.19)$$

$$P_{cc} = F_2(P_{уун}, P_{2i}, n_1, P + 2_j, m_2); \quad (2.20)$$

$$P_{ac} = F_3(P_{уун}P_{cc}, P - 3_i, n_3, P + 3_j, m_3); \quad (2.21)$$

$$P_{kc} = F_4(P_{уун}P_{cc}, P_{ac}P - 4_i, n_4, P + 4_j, m_4) \quad (2.22)$$

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 – апріорні ймовірності розвитку відповідно УУП, СС, АС, КС в запланованому польоті по i -му фактору (-);

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

$P + 1_j, P + 2_j, P = 3_j, P = 4_j$ – априорні 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 (2.19) - (2.22) 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:

$$\frac{dF_1(P - 1_j, P + 1_j, m_1)}{d} = 0; \quad (2.23)$$

$$\frac{dF_2(P - 1_j, P + 2_j, m_2)}{d} = 0; \quad (2.24)$$

$$\frac{dF_3(P - 1_j, P + 3_j, m_3)}{d} = 0; \quad (2.25)$$

$$\frac{dF_4(P - 1_j, P + 4_j, m_4)}{d} = 0; \quad (2.26)$$

«Вузькі» місця (елементи першочергового додатку управляючих дій,) виявляються за параметрами, що відповідають умовам (2.23) - (2.26). 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 [29, 30]. 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.

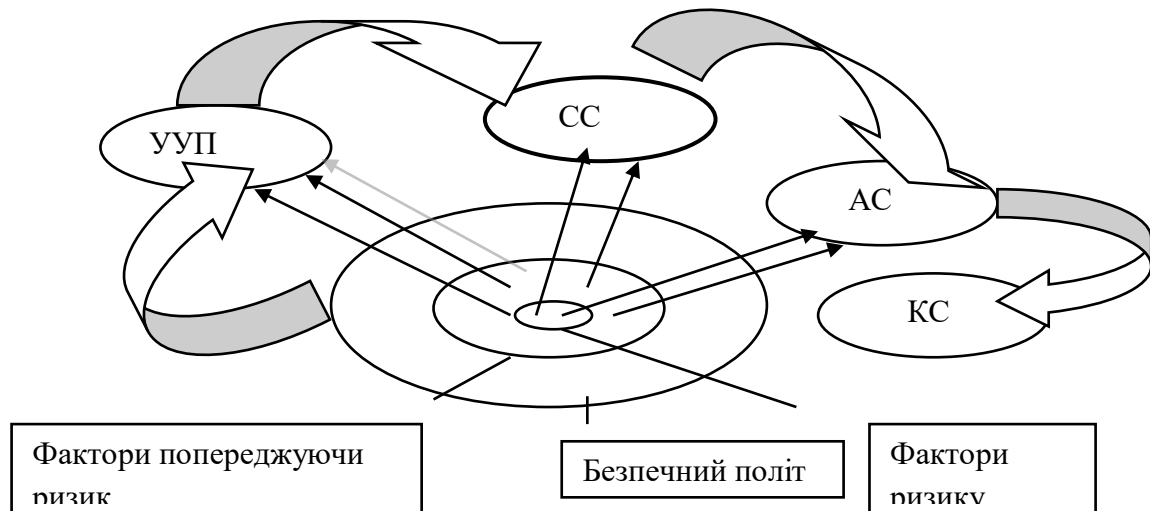


Рис. 2.1. Логіко-імовірнісна модель управління факторами ризику

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]. Логіко-імовірнісна модель варіантів розвитку ОС по сукупностям ФР за наявності факторів, що запобігають АП, відображена на рис. 2.1.

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 неповної та спотвореної інформації о явищах, подіях та процесах, які мають вплив на БП.

3. Сучасні теорії моделювання ризиків. Загальні підходи до моделювання ризиків.

4. В даний час спостерігається зростання кількості методик визначення ризиків та їх застосування, багато підходів 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 у таблиці 1.14.

5. Таблиця 1.14

6. Застосування інструментів, що використовуються для оцінки ризику

Інструменти та методики	Процес оцінки ризику				
	Ідентифікація ризику	Аналіз ризику			Обчислення ризику
		Наслідок	Імовірність	Рівень ризику	
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 критичних точок управління	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
Індексація ризиків	A	SA	SA	A	SA
Матриця	SA	SA	SA	SA	A

наслідків/ймовірності					
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					

7.

8. 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 [33, 38, 51, 52, 54, 85, 131, 137, 145, 177, 181, 199, 215]. 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].

9. 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: Ризик = ймовірність * 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 сформулювати 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.

10. Трифакторні моделі 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 ($R = p * Z * f$)
- Очевидно, що 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: Ризик = ймовірність виникнення * тяжкість наслідки * 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

трифакторну модель: Ризик = Загроза * Уразливість * Тяжкість наслідків ($R = Q * G * Z$). У цій моделі використовується такі додаткові поняття: Загроза - Можливі причини появи небезпечних подій, які можуть призвести до негативних наслідків для організації. Уразливість - Оцінка схильності безпеки. Це залежить, наприклад, від захищеності об'єкта, на який може подіяти небезпека, від можливості контролю і як наслідок - попередження дії безпеки 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 безпеки (наприклад, кількість небезпечних одиниць обладнання) однозначно впливає на загальну ймовірність її появи. Точно також і твір «Загрози» на «Уразливість» також визначає ймовірність прояву безпеки. 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 безпеки 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 принципових 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.

11. П'ятифакторна модель ризику.

$$12. \quad R = \frac{S_1 * S_2}{S_3} * p * Z \quad (1.15)$$

13. Існує п'ятифакторна модель ризику, де [76]:

14. 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 трехфакторної моделі, можна врахувати побічно через ймовірність появи небезпеки. Величини S оцінюється 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-якій узгодженій шкалою. Останні два чинники повністю збігаються з аналогічними в попередніх моделях.

15. Багатофакторні моделі ризику. У загальному випадку можна записати:

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

16.

(1.16)

17. - де r_i - певний фактор, оцінюваний за прийнятою 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 всі 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 сформулювати шкали і методи оцінок цих характеристик.

ВИСНОВКИ

1. В даному розділі вирішено задачу розробки комплексу математичних моделей УБП, а саме:

1.1. Проведена модернізація моделювання виникнення ОС у польоті, яка веде до уточнення результатів моделювання імовірності виникнення ОС. Запропонована методика веде до більш ефективним результатам для подвійного узагальненого розподілу Лапласу, ніж в попередніх дослідженнях. Для опису переходів станів ОС застосовано марківські процеси з дискретним часом, що розширяє можливість більш повно описати функціонування аеронавігаційної системи сумісно з системою забезпечення БП, а також, 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.

1.2. Розроблена багатофакторна модель ризику виникнення АП дозволяє виконати:

- моніторинг ризику по кожному типу ПС з урахуванням кількості виконаних польотів за оцінюваний період;
- за результатами льотної роботи, або після кожного розслідування АП кількісно оцінювати ступень зміни ризику АП;
- прогнозування ризику виникнення АП (або по вибраній статистиці АП, або за результатами експертного прогнозування АП на наступний період льотної роботи);
- періодичне уточнення результатів прогнозування ризику АП в процесі експлуатації по мірі накопичення нових статистичних даних або після кожного АП.

1.3. Розроблена імовірнісна модель управління ФР дозволяє синтезувати алгоритми оцінки РБП та визначити шляхи підвищення РБП через керування параметрами P_- та P_+ в тому числі:

- виключення факторів ризику АП або мінімізація їх прояву в польоті;
- включення факторів попереджуючих імовірність розвитку ОС.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ТА АЛГОРИТМІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ПОЛЬОТІВ

3.1. Залежність імовірності виникнення авіаційної пригоди від правильності та своєчасності прийняття рішень диспетчером та екіпажем повітряного судна.

Авіаційні пригоди та інциденти виникають у рамках певної сукупності обставин та умов. На них впливають характеристики повітряного судна та іншого обладнання з певними експлуатаційно-технічними можливостями, метеорологічні умови, обладнання аеродрому, органи обслуговування повітряним рухом, виробничий мікроклімат, який існує в органах управління, в галузі та авіапідприємстві. До них відносяться зміни та різні особливості характеру та поведінки особи.

Конструкція та експлуатаційно-технічні можливості обладнання мають важливі значення для безпечного виконання польоту.

З точки зору експлуатанта чи поставника обслуговування наявність належної допоміжної інфраструктури теж має важливе значення для безпечної експлуатації повітряного судна.

В авіації технічні засоби відіграють значну роль. При забезпеченні польотів людина (пілот та диспетчер) задіяна у найбільш відповідальних процесах - в аналізі та прийнятті рішень. Статистика підтверджує, що до 75% пригод є наслідками помилок персоналу.

Враховуючи той факт, що ризик виникнення авіаційної пригоди залежить від багатьох факторів, а складові функції ризику випадково змінюються у часі, аналітичне визначення ризику з урахуванням всіх факторів практично неможливе. З цієї метою використовуються ймовірнісні і статистичні методи прогнозування та оцінки ризику для ряду часткових задач. На рис. 2.1 зображена причинно-наслідкова модель функціонування частково вразливої

системи обслуговування повітряного руху в умовах дії загроз.

Система обслуговування повітряного руху має такі складові:

- суб'єкти (екіпаж та диспетчер на своїх робочих місцях);
- об'єкти управління (повітряне судно, аеронавігаційне обладнання на борту та на землі);
- процедури (правила, документація, рівень підготовки кадрів);
- середовище (експлуатаційні умови, в яких повинні взаємодіяти перелічені вище компоненти системи).

На роботі суб'єктів відбиваються:

- фізичні фактори індивідуума;
- фізіологічні фактори, які стосуються внутрішніх фізичних процесів людини (стан здоров'я, особистий стресовий стан, втомленість тощо);
- психологічні фактори (адекватність професійної підготовки, знання та досвід, робоче навантаження, мотивація, уміння оцінювати ситуацію, впевненість у собі, страх та інше);
- психосоціальні фактори (зовнішні фактори в соціальній системі індивідуума, мікроклімат в колективі, побутові умови, особисті сімейні та фінансові проблеми).

Помилки людини не є проявом аномальної поведінки, їх слід сприймати як нормальний, хоча і небажаний компонент системи, де взаємодіють людина та машина. Людині притаманно помилятися. Помилки можуть бути допущені на етапах планування та реалізації планів. Похибки планування можуть призводити до помилок. Промах як дія не за планом та упущення в результаті відмови пам'яті людини поряд з похибкою відносяться до типів помилок.

Цикл безпеки (рис. 2.1) спостерігається в ефективній роботі системи управління безпекою польотів. Виявлення джерел небезпеки є найважливішим першим кроком у системі управління безпекою польотів. Слід виявити кожне з джерел небезпеки і надати їм ступінь пріоритетності. Така оцінка вимагає узагальнення та аналізу всіх існуючих даних. Надалі ці дані оцінюються, щоб визначити

рівень небезпеки. Такий аналіз інформації вимагає використання відповідних методів та методик.

Суттєвими поняттями для встановлення причинності і визначення напрямків профілактичної діяльності у галузі безпеки польотів є поняття причини і фактора.

Фактори дозволяють описати суттєву обставину події і в загальному випадку відповідають на запитання: «що?». Рівень уточнень дозволяє конкретизувати приналежність факторів і дати відповідь на запитання: «чому виникли умови, при яких з'явився даний фактор?».

Авіаційній транспортній системі притаманні певні недоліки і вразливості. Частина з них відома і щодо них незмінно проводяться заходи для усунення та запобігання їх впливу. Як вже відзначалося, у такій складній системі, якою є авіатранспортна система, йснує багато напрямків усунення вразливостей і підвищення безпеки польотів. Існуюча система забезпечення безпеки польотів включає серед основних підсистему інформаційного забезпечення. Вона являє собою комплекс заходів та засобів, направлених на збирання, обробку та узагальнення інформації про стан безпеки польотів, на базі якої розробляються конкретні заходи щодо запобігання авіаподій і підвищення безпеки польотів.

Статистичні дослідження причин та факторів, які визначають рівень безпеки польотів, дозволяють усунути значну кількість вразливостей авіаційної транспортної системи та запобігти значним втратам. При цих дослідженнях важливими є повнота та представництво статистичного матеріалу щодо авіаційних пригод та інцидентів, вірогідність визначення показників безпеки, оперативність управління безпекою польотів.

На рис. 2.1 зображені можливі вразливості авіаційної транспортної системи.

Для більшості випадків рівень безпеки краще всього вимірювати відсутністю збитків в широкому (не тільки економічному) сенсі, які є наслідками авіаційних пригод. Безпека та прибутковість не є взаємовиключаючими поняттями.

Існують два основних типи збитків, пов'язаних з авіаподіями та серйозними інцидентами: прямі та побічні. Прямі збитки стосуються фізичних втрат і включають витрати на виправлення, заміну чи компенсацію за телесні пошкодження, пошкодження обладнання повітряного судна та матеріальні збитки. Висока вартість втрат від авіаційної пригоди може бути зменшена за рахунок страхування.

До побічних збитків відноситься все те, що безпосередньо не покривається страхуванням, хоча часто ці витрати в цілому значно перевищують прямі збитки, обумовлені авіаційною пригодою. Такі збитки не завжди очевидні і часто відстрочені у часі. Серед них:

- зменшення обсягу авіаперевезень як втрати репутації організації;
- неможливість використання авіаційного обладнання та персоналу до завершення процесу розслідування причин авіаційної пригоди;
- зменшення продуктивності праці персоналу, що постраждав від авіаподії;
- розслідування причин та наслідків пригоди;
- страхові відрахування;
- судові розбори та вимоги до компенсації втрат, штрафи тощо.

Серйозні авіаінциденти теж можуть викликати безпосередні та побічні витрати.

Авіапідприємства несуть великі збитки у зв'язку з необхідністю витрат на безпеку польотів. Вони не завжди піддаються розрахункам. Прикладом таких витрат є визначення вартості наслідків авіаційної пригоди, а також вартості втрат, яких вдається запобігти завдяки системі управління безпекою польотів.

Важливим питанням управління безпекою польотів є порівняльна класифікація ризиків авіаційних пригод. Вона здійснюється та використовується з метою, яка має декілька аспектів, що полягають у наступному:

- розслідування авіаподій для встановлення причин і наслідків, встановлення відповідальних за їх виникнення, для розробки заходів по запобіганню

виникнення у майбутньому пригод, зменшенню втрат від їх наслідків тощо;

- інформування громадськості, користувачів та причетних до авіаційної діяльності установ щодо причин та наслідків авіаподій;
- реалізація заходів щодо управління ризиками та безпекою польотів;
- підтримання іміджу та економічної ефективності авіаційного транспорту.

Проблема безпеки польотів стосується не тільки користувачів та перевізників авіаційного транспорту. Це проблема державного рівня, яка носить багатосторонній характер, що визначає складність класифікації як ризиків авіаційних пригод, так і самих пригод, що, на жаль, іноді виникають.

За масштабністю прояву авіаційні пригоди поділяються на події міжнародного, державного, галузевого, приватного характеру. За характером прояву вони можуть мати політичний, соціальний, військовий чи цивільний, економічний, екологічний, технічний, освітянський характер.

За соціальними наслідками розрізняють авіаційні пригоди з людськими жертвами та без них, враховуючи масштабність цих подій. В залежності від причин виникнення вони поділяються на пригоди природного, технічного, суб'єктивного характеру тощо. Авіаційні пригоди та їх ризики класифікуються також в залежності від інтенсивності (частоти) прояву та від конкретних причин прояву. Класифікація авіаційних пригод та ризиків їх виникнення необхідних для порівняльного аналізу їх наслідків та розробки заходів щодо попередження їх прояву. На рис. 2.2 наведені можливі наслідки порушення безпеки.

До основних показників роботи всіх видів транспорту відносяться показники безпеки перевезень. Проблема безпеки перевезень дуже важлива, тому що вона пов'язана із значними збитками соціального та економічного характеру. Моральні збитки у зв'язку з травматизмом чи загибеллю людей, втрата іміджу транспортних підприємств, втрата підготовлених фахівців і необхідність їх заміни в суспільстві, економічні збитки, пов'язані з необхідністю відшкодувань

наслідків пригод на транспорті, розробка та реалізація заходів із запобігання причин транспортних пригод та інше – являють собою складові цих втрат.

Безпека транспорту стосується не тільки безпеки пасажирів. Це поняття стосується і безпеки транспортників, населення в зоні можливих пригод, вантажів, транспортних засобів та споруд, які можуть постраждати внаслідок транспортних пригод.

З точки зору принципу причинності, який передбачає встановлення взаємозв'язку між причинами та наслідками подій та явищ, поняття безпеки транспортування має три складові: безпечне транспортування пасажирів та вантажів завдяки забезпеченню надійності транспортних засобів і споруд, виконанню всіх передбачених технологічних процесів, пов'язаних з роботою транспорту; захист процесу транспортування та транспортних підприємств від проявів протидії, провокацій та тероризму; захист довкілля у зв'язку із функціонуванням транспортних підприємств. Тобто безпека на транспорті – поняття широке, воно стосується не тільки безпеки перевезень, але і безпеки всіх технологічних процесів транспортної галузі, в тому числі і економічної, і

Виникнення пригод при транспортуванні пасажирів в залежності від важкості наслідків може бути пов'язане з травмуванням і навіть загибеллю людей. Це велика моральна втрата, яка не має економічного еквіваленту. При цьому суспільство терміново чи назавжди втрачає фахівців своєї справи, які внаслідок цього недодають певної кількості внутрішнього валового продукту. Цим людям необхідно підготувати заміну в суспільстві. У зв'язку з травматизмом чи загибеллю людей повинні бути виплачені страхові суми. В різних державах страхові виплати різні, в більш заможних державах вони більші.

Аварія чи катастрофа призводить до руйнування транспортних засобів та споруд, до тимчасового припинення перевезень для розслідування причин, до відволікання фахівців для розслідування причин та наслідків події, до можливої шкоди населенню та екології в зоні події та ін. При вантажних перевезеннях повинна бути відшкодована вартість пошкодженого чи втраченого вантажу. Все це вимагає певних витрат і повинно враховуватись при аналізі економічних

аспектів порушення безпеки транспортування. Іноді такі події призводять до дуже великих економічних втрат, точно визначити які буває складно і навіть неможливо. Наприклад, як оцінити шкоду природі внаслідок розлиття шкідливих хімічних речовин або пожежі, які можуть виникнути внаслідок катастрофи. Бували випадки, коли навіть відселяли населення з зони катастрофи.

Питаннями економічної оцінки наслідків аварій та катастроф займається відносно невелика кількість вчених та фахівців. Існує дуже багато невирішених питань. Мало з цього приводу публікацій.

Якщо оцінювати збитки від катастрофи, то вони повинні враховувати такі складові:

$$C_{зб} = C_{втр} + C_з + C_м + C_н + C_д + C_p + C_л , \quad (2.1)$$

де $C_{втр}$ - втрати суспільства з національного доходу на компенсацію довгострокової та постійної втрати працездатності постраждалим;

$C_з$ - втрати суспільства у зв'язку із загибеллю людей;

$C_м$ - матеріальні втрати від руйнування транспортних засобів, шляхів сполучення та навколишніх споруд;

$C_н$ - матеріальні втрати населення у зоні катастрофи;

$C_д$ - матеріальна шкода, нанесена катастрофою довкіллю;

C_p - витрати на розслідування катастрофи та її наслідків;

$C_л$ - витрати на медичне обслуговування постраждалих та виплату соціального страхування.

В [1] наведено вираз, згідно з яким пропонується визначати збитки, пов'язані з загибеллю людей:

$$C_з = q \left\{ \left[\left(\frac{D}{M} - 12 \frac{3}{z} \right) \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{r} \right)^{i-1} \right]^l + C_{II} \right\} , \quad (2.2)$$

де q – кількість загиблих у катастрофі людей;

M – кількість людей, зайнятих у матеріальному виробництві держави;

D – річний валовий національний дохід;

z – середньомісячний заробіток загиблого;

Z – середня кількість утриманців загиблого;

n – середнє число років, яких не дожив загиблий до пенсійного віку;

l – імовірність досягнення пасажиром пенсійного віку;

$r = (1+0,01\rho)$; ρ – річна процентна ставка банку;

C_{Π} – середні витрати на підготовку заміни робітника на виробництві.

Зрозуміло, що страхові виплати не можуть компенсувати моральних та матеріальних збитків постраждалих. Визначення вартості матеріальних втрат від порушення безпеки транспортування необхідне з точки зору визначення ефективності заходів, які спрямовані на підвищення безпеки перевезень.

Причин порушення безпеки перевезень може бути багато. Вони можуть мати об'єктивний і суб'єктивний характер. Іноді такими причинами є надзвичайні непередбачені обставини незборимої сили (шквали, грозові явища тощо). Все це - наслідки впливу навколишнього середовища, яке треба всебічно вивчати, передбачати можливість його впливу, запобігати його наслідкам.

Повітряний рух вважається безперебійним, поки не порушується встановлений нормативно інтервал ешелонування повітряних суден, поки відстань між ПС та наземними перешкодами не стане меншою мінімально допустимого значення, а також поки ПС не опиниться в зоні дії небезпечних природних явищ. При наявності хоча б однієї з цих подій як наслідок може виникнути авіаційна пригода чи продовжитися безпечний політ ПС в разі справних дій диспетчера та екіпажу.

Дії авіадиспетчера можуть бути правильними чи неправильними, своєчасними чи несвоєчасними. Екіпаж ПС своїми діями може парировати неправильні чи несвоєчасні рішення диспетчера, а може не знайти виході із складного становища,

що призведе до виникнення авіаційної пригоди. Командир ПС має справу остаточного рішення щодо здійснення польоту, окрім випадків, коли диспетчер забороняє виконувати певні дії, пов'язані з виконанням польоту. При розходженні думок екіпажу та диспетчера остаточне рішення і відповідальність приймає командир ПС.

На рис.2.3 наведена схема наслідків прийняття рішень диспетчером обслуговування повітряного руху та командира ПС.

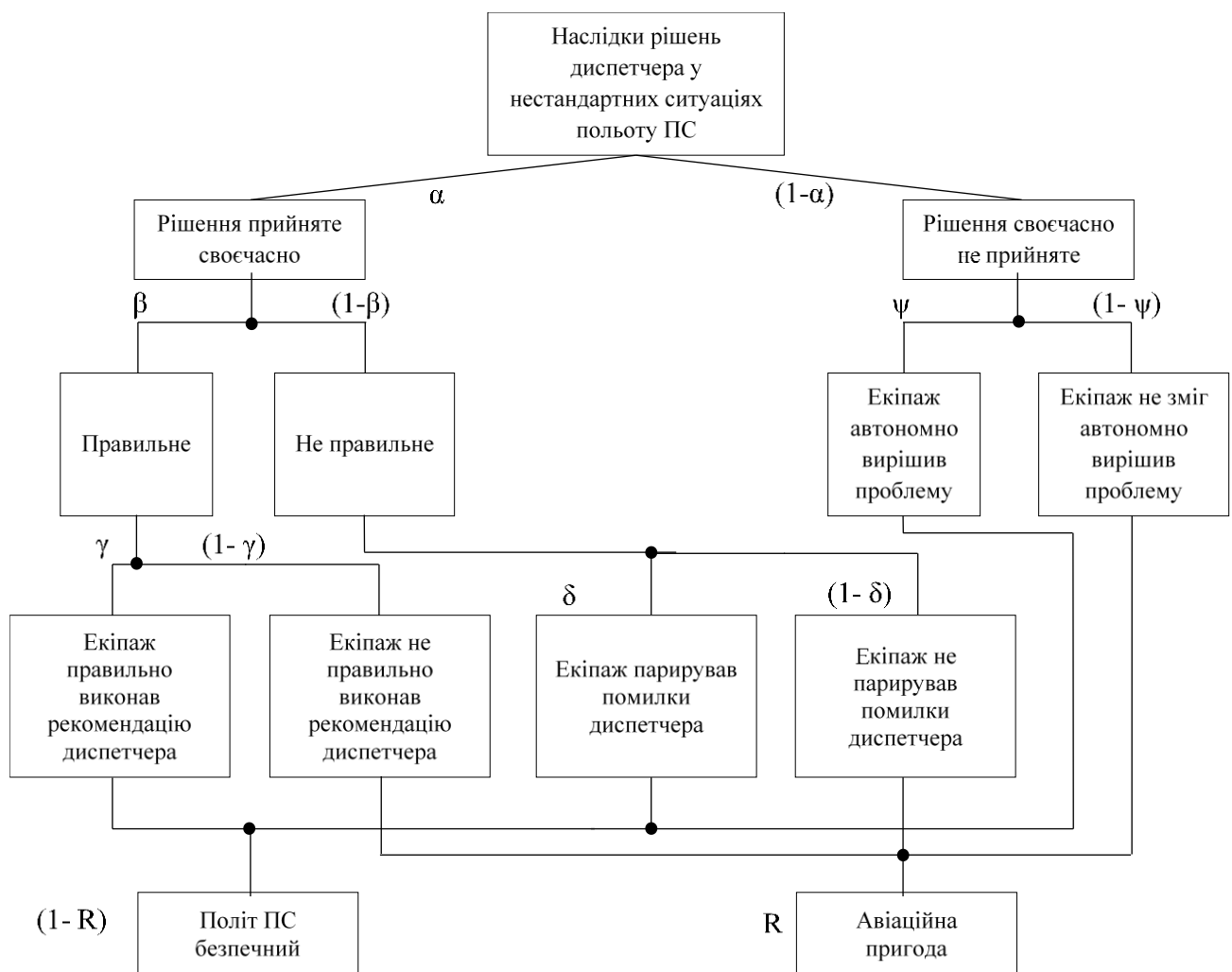


Рис. 2.3 Схема можливих наслідків прийнятого рішення диспетчера та екіпажу в нестандартних ситуаціях польоту ПС

На ній позначено:

α – імовірність прийняття своєчасного рішення диспетчером ОПР у нестандартних ситуаціях;

$(1-\alpha)$ – імовірність прийняття диспетчером несвоєчасного рішення;

β – імовірність прийняття диспетчером правильного рішення;

$(1-\beta)$ - імовірність прийняття диспетчером неправильного рішення;

γ – імовірність правильного виконання екіпажем ПС дій щодо рекомендацій диспетчера;

$(1-\gamma)$ – імовірність не правильного виконання екіпажем ПС дій щодо рекомендацій диспетчера;

δ – імовірність того, що екіпаж ПС парирує неправильні рекомендації диспетчера;

$(1-\delta)$ – імовірність того, що екіпаж ПС не в змозі парирувати неправильні рекомендації диспетчера;

ψ – імовірність того, що екіпаж ПС може автономно вирішувати задачу польоту;

$(1-\psi)$ - імовірність того, що екіпаж ПС не може автономно вирішувати задачу польоту.

Відповідно до цієї схеми імовірність виникнення авіаційної події становить:

(2.3)

Політ здійснюється без авіаційної події з імовірністю:

$$P_{\text{АП}} = \alpha\beta\gamma + (\alpha(1-\beta)\delta + (1-\alpha)\psi) \quad (2.4)$$

Імовірність того, що політ буде успішно здійснений навіть при виникненні подій дорівнюватиме:

(2.5)

де $P_{\text{вк}}$ – імовірність виникнення конфлікту під час польоту ПС.

Імовірність виникнення авіаційної події в наслідок існування конфліктної ситуації дорівнює:

(2.6)

Польоти повітряних суден завжди супроводжуються деякою невизначеністю, деяким ризиком у зв'язку з тим, що завжди з деякою ймовірністю можна очікувати виникнення авіаційної пригоди.

Повітряне судно саме по собі являє собою доволі складну систему, яка здійснює політ з участю екіпажу та органу керування повітряним рухом в умовах виділеного йому середовища у повітряному просторі. Стан цього середовища передбачити вдається не завжди, несприятливі погодні умови виникають випадково і в різній мірі загрозово.

Безпека польотів є функцією багатьох випадкових факторів. Окрім погоди, безпека польоту залежить від надійності авіатехніки, прояву людського фактору, ряду організаційних факторів, стану злітно-посадкової смуги, засобів контролю та управління польотами тощо. Абсолютно надійної технології польоту повітряного судна, абсолютно надійних транспортних засобів, безпечних умов польоту в середовищі не буває. Звідси і не буває абсолютної безпеки польоту і повної визначеності інформації. Хоча найчастіше ризик не значний і його можна очікувати. Навіть при дуже незначній імовірності появи авіаційної пригоди наслідки реалізації загроз можуть бути дуже значними. Добуток імовірності реалізації загроз та величини можливої шкоди (наслідку) визначають величину ризику як показника безпеки польоту ПС.

Точно визначити втрати від авіаційної події вдається не завжди, а при появі авіакатастроф – взагалі неможливо тому що моральна складова не має ціни. Шкоду від наслідків авіаційної події, що реалізується у вигляді авіакатастрофи, іноді прагнуть оцінити за допомогою страхових компаній шляхом домовленості сторін – страхової та постраждалої. Але цей акт домовленості нічого наукового не має. Угода між сторонами найчастіше зовсім не об'єктивна. Тому всі міркування щодо прийнятного рівня безпеки польотів в такому разі не припустимі. Можливий тільки умовно прийнятний рівень небезпеки польотів, який може умовно використовуватись у певних розрахунках, а фактичного рівня небезпеки він не відображає через свою неточність і необ'єктивність.

Ризик може визначатися не тільки у вартісній формі, а також у формі імовірності втрат деякої кількості транспортних засобів, втрат деякої кількості авіарейсів, повноти використання від виділеного для польотів повітряного простору, втрати продуктивності авіатранспорту за певний проміжок часу та ін. Практично не можливо дати прогноз імовірності реалізації загрози та виникнення авіа подій, не можливо визначити її прийнятний рівень. Прийнятним не може бути ніякий рівень небезпеки польоту, але при розрахунках можна скористатися таким показником. При порівняльних операціях щодо ефективності декількох заходів з підвищення безпеки. Ніякий рівень небезпеки при можливості авіакатастрофи не може бути прийнятним при її виникненні.

3.1. Алгоритми побудови системи автоматизованої діагностики та прогнозування рівня безпеки польотів

Одним з шляхів підвищення і контролю РБП є інтеграція усіх засобів та форм комплексних автоматизованих системах [1,6]. Запропоновані підходи щодо діагностики та прогнозуванню ФР повинні бути реалізовані з наступними перевагами: логічна гнучкість, універсальність, точність, стабільність та висока швидкість дії [23,26], проведення поглибленого аналізу результатів розслідування АП та прогнозування РБП.

Застосування автоматизації дозволяє вирішити такі взаємозв'язані задачі:

– Автоматизована діагностика УБП - отримання сукупності кількісно-якісних критеріїв РБП.

– Автоматизоване прогнозування РБП. - виявлення динаміки зміни РБП

Структура системи дозволяє віднести її до класу програмних комплексів з «відкритою» архітектурою [21,22], якій властивий ряд позитивних якостей: гнучке налагодження та модифікування модулів, підключення, видалення та

нарощування функцій, інформаційна та програмна сумісність, розширення можливостей налагодження, тестування та адміністрування системи.

Важливою якісною характеристикою системи є цілісність [36], яка представляє собою детермінованість та збалансованість режимів поведінки системи, закладених в алгоритмі інтеграції та взаємодії її окремих елементів.

АСУБП являє собою людино-машинний комплекс, що включає в себе сукупність програмних, інформаційних та технічних засобів, які дозволяють автоматизувати даний процес.

АСУБП складається із підсистеми профпідготовки та підсистеми управління ФР, в яку входять сукупність блоків, згрупованих та організованих по принципу функціонально-цільового призначення. У складі АСУБП окремі блоки функціонують незалежно один від одного та виконують конкретні цілі, та закладені в них алгоритми, в рамках незалежних (замкнених) під контурів інформаційних потоків. Інформаційний обмін, синхронізація роботи та взаємодія між блоками організовані по засобам централізованої бази даних [30,34,36] та представляє собою розподілену дворівневу систему, забезпечуючи зв'язок авіаційними властями та експлуатантами усіх форм власності по засобам інформаційних потоків від авіаційної влади до експлуатанта.

Верхнім рівнем є єдиний комплекс, в рамках якого здійснюється збір, обробка, поглиблений аналіз, інтерпретація та зберігання інформації про ФР, розробка ефективних УР для забезпечення профілактики АП. Даний компонент підсистеми виконує функції формування/відновлення УБП до цільових значень (Y_{ct}) шляхом призначення оптимального змісту, подовженості та періодичності заходів по попередженню АП.

Нижнім рівнем підсистеми є блоки, встановлені в органі, що здійснює нагляд за БП та на підприємствах експлуатантів для забезпечення функцій системи по підтримці РБП у заданому діапазоні значень. Процедура

діагностики на нижньому рівні системи дозволяє здійснювати введення в кількісній формі виявлених ФР, помилок, зауважень і виявлених професійно-небезпечних якостей. У результаті створюється масив даних, який характеризує готовність експлуатанта здійснити професійну діяльність в реальних умовах.

Реалізація гарантованого інтервалу проведення УР здійснюється у ході періодичного управління на групі й окремі фактори, при якому періодичні УР забезпечують підтримку РБП по всім факторам на нормативному рівні.

РБП розглянемо як часовий ряд, що є безліч значень деякої величини в послідовні моменти часу:

$$\{a_t\} = a_{t_1}; a_{t_2}; \dots; a_{(t_{i-1})}; a_{(t_i)}; a_{(t+1)}; \dots\}.$$

Застосування НМ обумовлено наявністю в більшості тимчасового ряду складних закономірностей, що не обчислюються лінійними методами. Одним з найважливіших етапів в рішенні задачі нейромережевого прогнозування - це формування навчальної вибірки. Саме від складу, повноти, якості навчальної вибірки істотно залежать час навчання НМ і достовірність одержуваних результатів.

Прогнозування тимчасового ряду - обчислення величини його майбутніх значень або характеристик, що дозволяють визначити цю величину, на підставі аналізу відомих значень. При прогнозуванні передбачається, що значення прогнозованої величини залежить від визначальних факторів. Один з підходів до задачі прогнозування заснований на припущенні залежності прогнозованої величини від попередніх значень часового ряду, теоретичним обґрунтуванням такого підходу є теорема Такенса [12, 13].

Якщо часовий ряд породжується динамічною системою, тобто значення $\{a(t)\}$ є довільна функція стану такої системи, існує таке число d (приблизно рівне ефективному числу ступенів свободи даної динамічної системи), що d попередніх значень часовий ряд однозначно визначають наступне значення.

Визначимо схему рішення задачі прогнозування:

1. Етап попередніх перетворень (рис. 3.1.). На практиці більшість прогнозованих часовий ряд породжується складними динамічними системами, з безліччю ступенів свободи, тому d для них велике. Крім того, в самому тимчасовому ряді може бути присутній випадкова складова. Тому на даному етапі виконуються попередні перетворення початкових даних [15, 21] дозволяючи зменшити помилку прогнозування. Попереднім перетворенням називатимемо отримання для моменту часу t_i , набору з визначальних чинників і відповідного їм значення прогнозованої величини. Визначальні фактори є якоюсь функцією від минулих (по відношенню до моменту t_i ;) значень часового ряду. Назвемо набір визначальних факторів вектором ознак $\{X\}$, або описом ситуації.

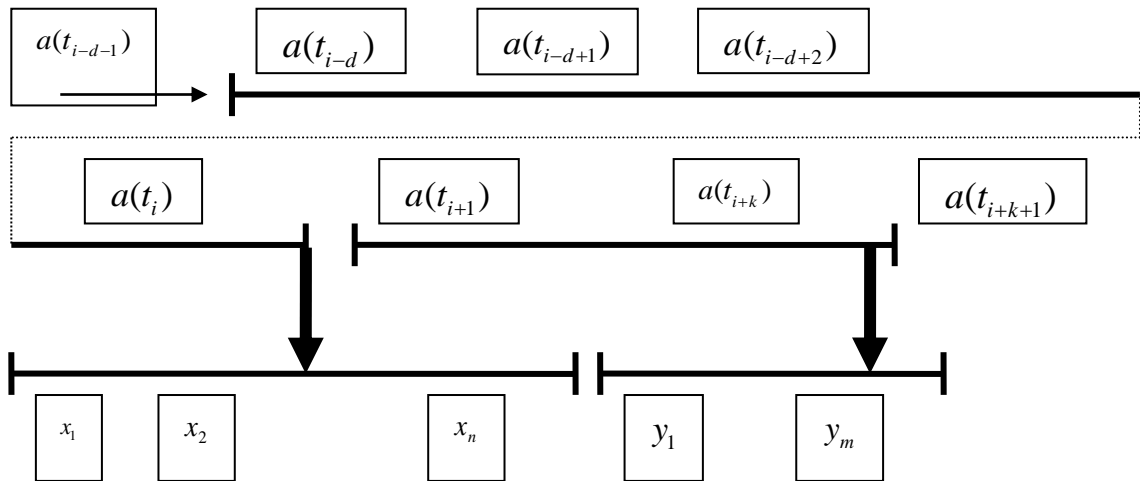
$$\{X\} = x_1; x_2; \dots; x_n ; \{X\} = \Phi(a(t_i), a(t_{i-1}), \dots, a(t_{i-d}))$$

Опису ситуації відповідає прогнозна величина $\{Y\}$, яка може бути як самими майбутніми значеннями часовий ряд, так і характеристиками, що дозволяють їх визначити з необхідною точністю. Існуюча схема рішення задачі прогнозування показано на рис. 3.2.

$$\{Y\} = y_1; y_2; \dots; y_m ;$$

$$\{Y\} = \psi(a(t_{i+1}), a(t_{i+2}), \dots, a(t_{i+k})) .$$

Вихідний часовий ряд $a(t_i)$



Множина формуючих наборів $\{\{X\}, \{Y\}\}$

Рис 3.1. Етап попередніх перетворювань

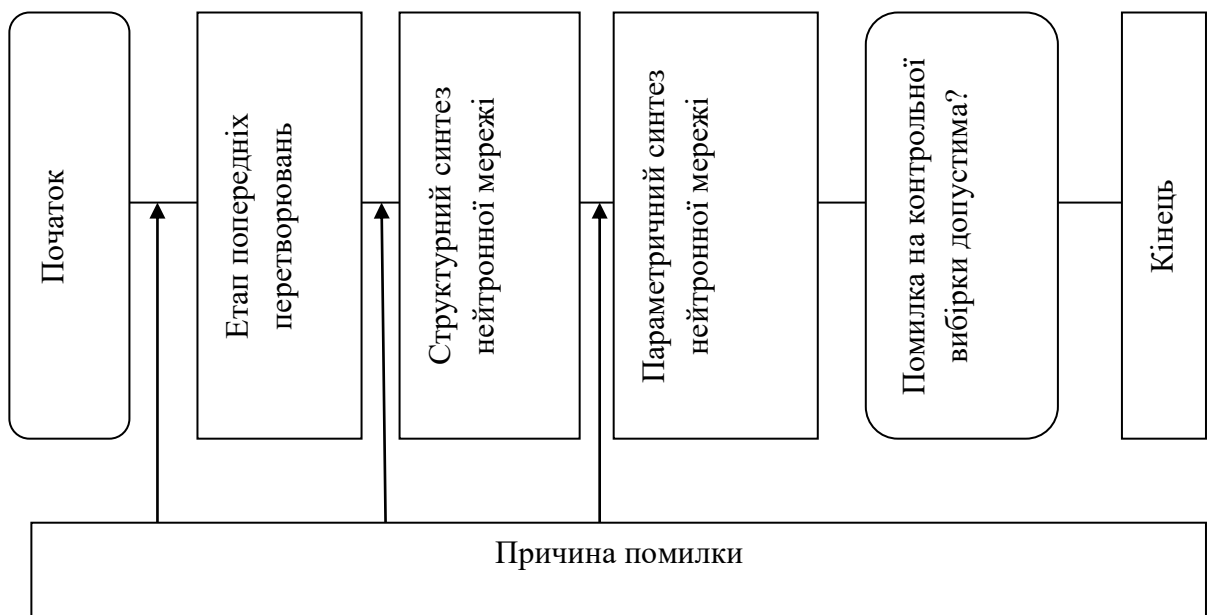


Рис.3.2. Існуюча схема рішення задачі прогнозування

Після виконання попередніх перетворювань для різних моментів часу t , часового ряду являються у вигляді безлічі значень функції залежності прогнозованої величини від визначальних факторів (або у вигляді безлічі наборів). Далі з безлічі отриманих наборів виділяються дві непересічні підмножини (як правило, хронологічно наступних одне за іншим). Одне з них є навчальна вибірка, на якій виконується навчання НМ. Інша підмножина є контрольною вибіркою, яка не пред'являється НМ в процесі навчання і використовується для перевірки якості прогнозу. Таким чином прогнозування часового ряду зводиться до задачі інтерполяції функції багатьох змінних. НМ використовується для відновлення цієї функції по безлічі наборів, що входять до складу навчальної вибірки.

2. Етап структурного синтезу НМ. На даному етапі проводиться вибір архітектури нейрона і структури зв'язків між нейронами.

3. Параметричний синтез НМ. Виконується навчання НМ. Як правило, використовуються методи градієнтного спуску, зокрема алгоритм зворотного розповсюдження помилки і його модифікації [28, 30]. Слід зазначити що даний етап найбільш вимогливий до обчислювальних ресурсів і займає 50-90% часу рішення задачі.

4. Перевірка помилки прогнозу на контрольну вибірку. Якщо значення помилки знаходиться в допустимих межах, то задача вважається вирішеною, і навчена НМ використовується для отримання прогнозу. В протилежному випадку в залежності від передбачуваної причини помилки проводиться повернення до етапів 1, 2 або 3.

5. Етап попередніх перетворень. Як правило приводиться опис певного типу попередніх перетворювань і результатів, отриманих від його використання в тій або іншій області, а порівняльного аналізу з іншими типами попередніх перетворювань і критеріїв, по яких можна було б їх

порівняти, не приводиться. Проте етап попередніх перетворювань впливає на результат рішення задачі прогнозування не менше, ніж структура і спосіб навчання НМ, оскільки результат попередніх перетворювань є початковими даними для цих двох етапів. Тому доцільно більш детально зупинитися на етапі попередніх перетворювань і спробувати сформулювати і обґрунтувати основні вимоги до попередніх перетворювань, необхідні для зменшення помилки прогнозу. Автор, використовує нижче перераховані вимоги неявно, вибираючи такі типи попередніх перетворювань, які вже задовольняють їх [15,26].

Основна вимога до прогнозовної величини - це можливість відновлення майбутніх значень тимчасового ряду з необхідною точністю. Використання як попереднє перетворення згорток початкових даних дозволяють описати ситуацію меншою кількістю ознак без втрати або з допустимою втратою точності. Це приводить до скорочення часу навчання НМ.

Взаємозалежність входів може привести до зниження інформативності опису ситуації, і, отже, до погіршення якості навчання. Слід зазначити, що використання згорток дозволяє частково розв'язати цю проблему, оскільки більшість методів стиснення інформації заснована на виключенні надмірності.

Зважаючи на відсутність формальних критеріїв оцінки якості проведення попередніх перетворювань доцільно ввести вимоги, необхідні для зменшення помилки прогнозу, а також критерії їх виконання.

Як вже було відзначене, на етапі навчання НМ відновлює цільову функцію по безлічі наборів навчальної вибірки тобто вирішує задачу інтерполяції. На етапі використання навченої НМ (отриманні прогнозу) мережа вирішуватиме задачу екстраполяції. Для коректного вирішення задачі екстраполяції як задачі інтерполяції необхідно забезпечити стаціонарність ряду ознак $\{X\}$.

Щодо характеристики стаціонарності для двох вибірок побудованих в різні моменти часу закон розподілу залишається тим же.

$$s = \int_{-\infty}^{\infty} \min [p_{HB}(\{X\}); p_{KB}(\{X\})] \{dX\}.$$

Але зважаючи на багатомірність $\{X\}$ і з урахуванням незалежності ознак охарактеризуємо стаціонарність кожного з компонент x .

$$s = \int_{-\infty}^{\infty} \min [p_{HB}(\{x_i\}); p_{KB}(\{x_i\})] \{dx_i\}.$$

Крім того, вважаючи, що закон розподілу рівномірний на ділянці $m_i - \delta_i; m_i + \delta_i$ де m_i – середнє значення, а δ_i – стандартне відхилення i -ої ознаки, отримаємо:

$$s_1 = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\delta_i^{OB} + \delta_i^{KB} - |m_i^{HB} - m_i^{KB}|}{\max(\delta_i^{HB}; \delta_i^{KB})}, \text{ якщо } (\delta_i^{OB} + \delta_i^{KB} - |m_i^{OB} - m_i^{KB}|) \geq 0 \\ 0, \text{ якщо } (\delta_i^{OB} + \delta_i^{KB} - |m_i^{OB} - m_i^{KB}|) < 0 \end{array} \right\}$$

Слід зазначити, що припущення про рівномірність закону розподілу вносить деяку погрішність в обчислення величини S_j , і для деяких розподілів із значною асиметрією може виявитися неприпустимим. Проте, таке спрощення цілком підходить як оцінка. Загальну характеристику стаціонарності отримаємо усереднюванням по всіх ознаках:

$$s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i.$$

Якщо для навчальної вибірки і контрольної вибірки має місце $s = 1$, вважатимемо, що умова стаціонарності виконується. Для коректного відновлення функціональної залежності необхідно, щоб набори, що входять в склад як навчальної вибірки, так і контрольної, не суперечили один одному [31]. Проте на практиці імовірність того, що у двох наборів опис ситуації $\{X\}$ буде однаковим, вельми мала, оскільки кількість наборів обмежена, а $\{X\}$ -

багатовимірна величина з великим або нескінченною безліччю значень, що приймаються. Тому вважатимемо однаковим вектори ознак $X^{(1)}$ та $X^{(2)}$ для яких виконується умова:

$$\{X^1 \in O(\{X^2\})\}.$$

Межі околиці вибираються так, щоб ця умова виконувалася для 50-100% наборів. Тоді суперечність двох наборів визначимо як:

$$\Delta\{Y^{(1,2)}\} = \left\{ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |y_i^{(1)} - y_i^{(2)}|, \text{ якщо } \{X^{(1)}\} \in (\{X^{(2)}\}_0, \text{ інакше}), \right.$$

загальна суперечність буде дорівнювати:

$$\Delta = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \Delta\{Y^{(i,j)}\},$$

де N- загальна кількість наборів в навчальній вибірці і контрольної вибірки.

Отримане значення загальної суперечності не повинне перевищувати необхідної точності рішення.

Так як застосування НМ обумовлено наявністю в більшості часового ряду складних закономірностей, що не обчислюються лінійними методами від складу, повноти, якості навчальної вибірки істотно залежать час навчання НМ і достовірність одержуваних результатів. Запропонована схема рішення задачі прогнозування показана на рис. 3.3.

Прогнозування часового ряду - обчислення величини його майбутніх значень або характеристик, що дозволяють визначити цю величину, на підставі аналізу відомих значень. При прогнозуванні передбачається, що значення прогнозованої величини залежить від визначальних факторів.

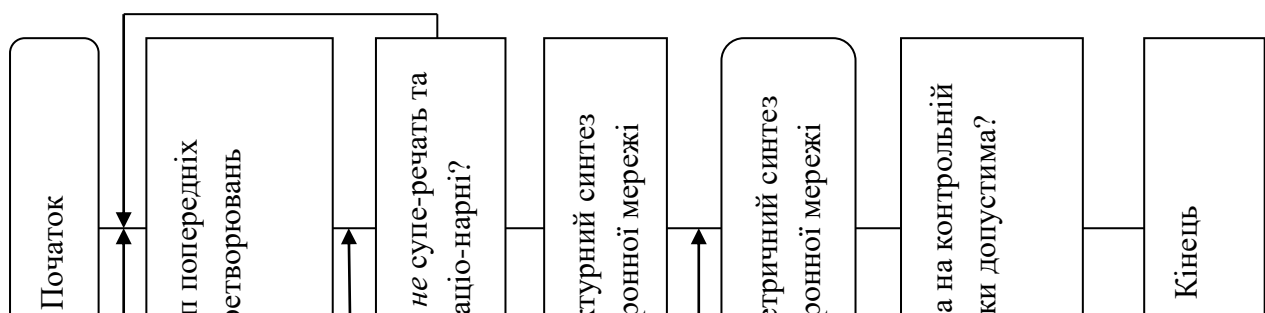


Рис 3.3. Запропонована схема рішення задачі прогнозування

Таким чином необхідно визначити властивості алгоритму роботи НМ, які в значній ступені залежать від вибору параметра, оптимальне значення якого забезпечує максимальну швидкість навчання.

3.2. Алгоритм роботи нейронних мереж

Використання диференційних базисних функцій та ієрархічної структури дозволяє застосувати градієнтний алгоритм для настройки параметрів НМ. Для одержання алгоритму навчання мережі в схованому шарі, вибирається функціонал помилки наступного вигляду:

$$E = \frac{1}{2} (y(s) - \hat{y}(s))^2,$$

де, $y(s)$ - бажаний вихідний сигнал, для вхідного сигналу s , й $\hat{y}(s)$ - реальний вихідний сигнал для мережі для сигналу s .

НМ складається з двомірних блоків (N), де вхідні сигнали позначені S_i , де $S_i (i = 1, 2, \dots, m)$ позначає i -й вхід в НМ N , $y_j (j = 1, n)$ - j -ий вихід скритого шару, й $\hat{y}(s)$ - вихідний сигнал N для вхідного сигналу S .

В даному випадку, бажаний та реальний вихідні сигнали різняться, і спочатку настроюються параметрами N_a вихідного шару L , потім помилка розповсюджується в зворотному напрямку від L -го шару до $L1$ -го скритого

шару для настройки параметрів N_b, N_c, N_d .

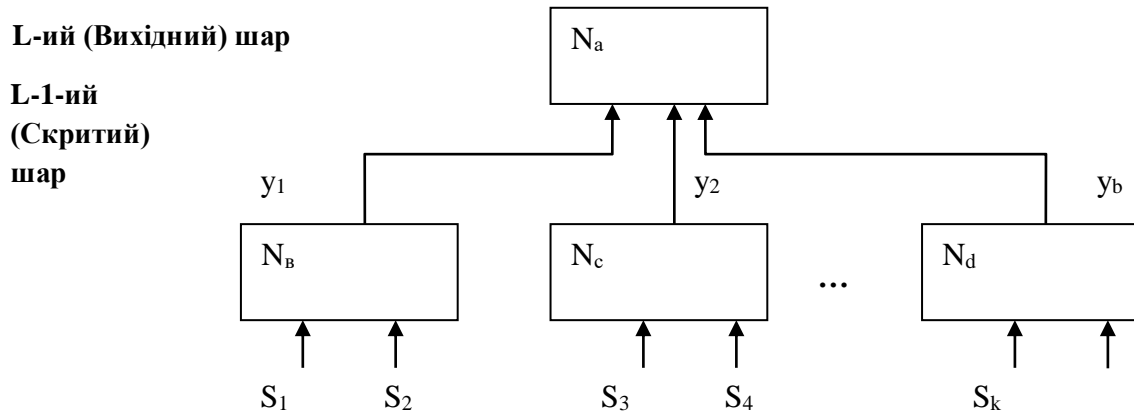


Рис.3.4. Складові нейронної мережі застосованої для створення автоматизованої системи управління безпекою польотів

Виходячи з цього алгоритм налаштування НМ виконується так.

Налаштування вихідного шару практично не відрізняється від настройки ієрархічних НМ, за виключенням того, що вхідними будуть сигнали передані з попередніх шарів. Навчання НМ полягає в налаштуванні вектора її вагових параметрів w , й розмірності $N \times 1$. В даному випадку використовуються прямокутні базисні функції, на кожному такті навчання мережі виявляються навчаючі пари $\{x(k), y(k)\}$, де $y(k)$ - значення функції, відповідні до $x(k)$, й коректуються лише ті її p вісів, які відповідають одиничним компонентам вектору асоціацій для даного вектору $x(k)$. При цьому правило навчання для всіх i, j для яких $a_i(k) = a_j(k) = 1$ має вид:

$$w_j(k+1) = w_j(k) + y \left(y(k) - \frac{1}{\rho} \sum_{i=1}^n \omega_i(k) \right).$$

При використанні функцій належності з формою, відмінною від прямокутної, даний алгоритм може бути записаний у такий спосіб:

$$w(k+1) = w(k) + y(k) \left(\frac{y(k) - a^T(k) \Phi(x) w(k)}{\|\Phi(x) a(k)\|^2} \right).$$

Властивості алгоритму в значній ступені залежать від вибору параметра, оптимальне значення якого забезпечує максимальну швидкість навчання, і при відсутності перешкод буде дорівнювати 1, при наявності перешкод, ефективним виявляється вибір виду:

$$y(k) = y^{ok}$$

Настройка НМ в скритому шарі. Для отримання алгоритму навчання N_b , N_c в скритому шарі з використанням алгоритму зворотнього розповсюдження помилки, спочатку необхідно отримати інформацію про частинні похідні за допомогою виразу:

$$\frac{\partial y(s)}{\partial y_k} = \sum_{i=1}^{Nh} a_i(s) \cdot w_i \left[\prod_{j=1}^N f_{ij}(y_j) \right] \cdot \frac{\partial f_{ik}(y_k)}{\partial y_k}, k = 1, m, \quad (3.11)$$

де w_i значення ваги в j -й комірці пам'яті N_a .

Далі, алгоритм навчання N_b в скритому шарі:

$$w(k+1) = w(k) + \gamma(k) \left(\frac{y(k) - a^T(k) \Phi(s) w(k)}{\|\Phi(x) a(k)\|^2} \right) \frac{\partial y(s)}{\partial y_1}, \quad (3.12)$$

де w значення ваги в j -й вітці пам'яті N_a, \dots , коефіцієнт навчання S - вхідний сигнал. Аналогічно, можуть бути отримані алгоритми навчання мереж N_c, N_n в скритому шарі $L-1$. Вирази показують, що різниця між реальними й бажаними сигналами назад поширюється від вихідного шару N до N скритого шару:

$$\partial y(s) / \partial y_k (k = \bar{1}, \bar{m}).$$

Навчання НМ може проводитись з вчителем або без нього. В першому випадку НМ пред'являються значення як вхідних, так і бажаних вихідних сигналів, і вона по деякому внутрішньому алгоритму підстроює ваги своїх

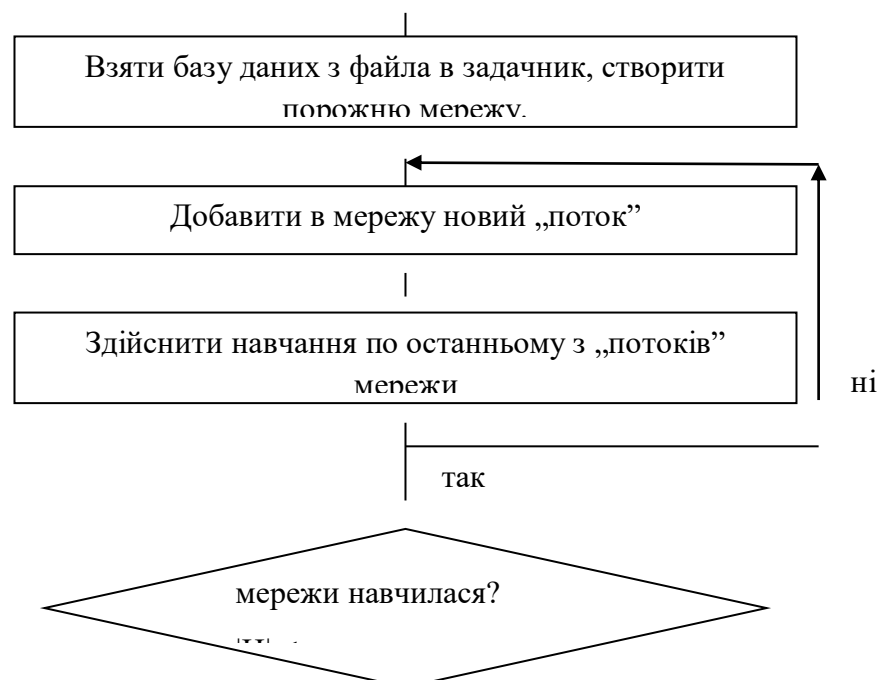
синоптичних зв'язків. В другому випадку виходи НМ формуються самостійно, а ваги змінюються по алгоритму, враховуючому тільки вхідні та створені від них сигнали [11]. Навчання НМ, яка складається з „потоків” обчислюється згідно з алгоритмом, відображеному на Рис.3.5, де H - значення оцінки НМ, накопичене по всьому задачнику, ε – константа малості помилки. Для навчання використаємо процедуру, де N_{ϕ} – загальна кількість функцій, по котрим йде навчання, α_0 – карта параметрів НМ, h_0 – шаг оптимізації на початку циклу, s – градієнт функції оцінки по навчаючим параметрам. Кількість кроків

оптимізації, під час яких $\left(\frac{H_p - H_s}{\|H_p\|} \right) \leq T = \varepsilon$ перевищило раніш задану величину

(при навчанні використано значення $N_{sh}=15$), т.е. мережа в зазначеній конфігурації не має можливості покращити оцінку. Використана в алгоритмі умова зупинки формується з двох підумов, скомбінованих через „або”:

1. Кількість кроків оптимізації, під час яких $\left(\frac{H_p - H_s}{\|H_p\|} \right) \leq T = \varepsilon$

перевищило раніш задану величину (при навчанні використовувалось значення $N_{sh}=15$), т.е. мережа в зазначеній конфігурації не має можливості покращити оцінку.



I

Рис. 3.5. Блок схема навчання „поточної” мережі

2. Досягнуто задане значення функції оцінки $|H| \leq \varepsilon$, т.е. мережа вже пройшла навчання. При навчанні одного потоку використовуються процедури підбору шагу оптимізації – „Increase» (рис 3.6), *Decrease* (рис. 3.7) та *Parabola* (пошук оптимального шагу по формулам параболічного пошуку, що відображене на блок схемі), де, H – функція оцінки мережі, накопичена по всьому задачнику; h_1, h_2, h_3 – різні значення шагу оптимізації, які використовуються при її підборі; W – шаг в вершині параболи, який проходить через точки $(h_1, H_1), (h_2, H_2), (h_3, H_3)$, яка обчислюється за допомогою формули:

$$W = \left(\frac{h_3 + h_1}{2} \right) - \frac{H_3 - H_1}{\frac{H_3 - H_2}{h_3 - h_2} - \frac{H_2 - H_1}{h_2 - h_1}}, \quad (3.55)$$

де H_1, H_2, H_3 , - значення функції помилки, відповідно зміщенню навчаючих параметрів по напрямленню градієнту на величину шагу h_1, h_2, h_3 .

Умова випуклості комбінації $h_{1,2,3}, H_{1,2,3}$ визначається формулою:

$$H_2 < \frac{h_3 - h_2}{h_3 - h_1} H_1 + \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_1} H_1 .$$

Серед різних конфігурацій НМ, при класифікації яких за принципом навчання, не підходить навчання з вчителем, ні навчання без нього. У таких мережах вагові коефіцієнти синапсів розраховуються лише один раз перед початком функціонування мережі на основі інформації про оброблювані дані, і все навчання мережі зводиться саме до цього розрахунку.

З одного боку, пред'явлення апріорної інформації можна розцінювати, як допомога вчителя, але з іншої – мережа фактично просто запам'ятовує зразки до того, як на її вхід поступають реальні дані, і не може змінювати свою

поведінку, тому говорити про ланку зворотного зв'язку з вчителем не є можливим. Збільшення числа і складності розпізнаваних образів обмежується фактично лише об'ємом оперативної пам'ятовуючої пристрою.

3.3. ВИСНОВКИ

1. В даному розділі вирішено задачу розробки алгоритмів автоматизованого УБП, а саме:

1.1 На основі розробленої моделі виникнення ОС у польоті, розроблено методику вибору об'єму допоміжної вибірки яка веде до уточнення результатів моделювання імовірнісного виникнення ОС.

1.2 Алгоритми побудови системи автоматизованої діагностики та прогнозування РБП і прийняття УР дозволяють здійснювати:

- вибір УР направлених на усунення типових помилок, недоліків та упущення в роботі;
- вибір форм УР профпідготовки, направлених на гарантоване досягнення нормативного РБП;
- призначення строку чергових УР;
- визначення підтримки РБП у заданому діапазоні значень.
- поточне управління вибором УР для формування дій, направлених на усунення виявлених у ході розслідувань АП ФР та підтримка РБП в нормативному діапазоні значень до моменту чергової інспекторської перевірки.
- Прогнозування РБП на потрібний період часу – аналіз ефективності вибраної стратегії управління УБП.

1.3. Визначено властивості алгоритму НМ, які в значній мірі залежать від вибору параметра, оптимальне значення якого забезпечує максимальну швидкість навчання. Використання диференційних базисних функцій та ієрархічної структури дозволяє застосувати градієнтний алгоритм для настроювання параметрів НМ.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ БЕЗПЕКОЮ ПОЛЬТІВ

4.1 Математичні аналітико-статистичні моделі визначення пропускної спроможності аеродромної та районної зон диспетчерського управління

Система організації повітряного руху (АТМ-система) складається з середовища її функціонування (неорганізованого повітряного простору), потоку повітряних суден, які рухаються по певним маршрутам в зонах аеродромних та трасових польотів (об'єктів організацій), та суто організаційної системи, яка складається з авіадиспетчерського персоналу оперативного управління повітряним рухом, підсистеми організації повітряного простору та підсистеми організації потоків повітряних суден. В системі організації ПП значну роль відіграють програмно-технічні та радіотехнічні засоби збирання, розповсюдження та відображення інформації, автоматизації процесів управління (засоби CNS/АТМ).

В принципі польоти повітряних суден можливі і в неорганізованому повітряному просторі. Але при цьому вони можуть бути дуже обмеженими з метеорологічних причин, з причин низької пропускної спроможності зон ПП

(збільшених інтервалів просторового ешелонування повітряних суден), недостатньої безпеки польотів тощо. Задоволення сучасних вимог до обсягу перевезень, їх безпеки та економічних показників використання авіації та ПП можливе тільки при високому рівні організації повітряного руху.

Збільшення пропускної спроможності організованого ПП сприяє збільшенню обсягу перевезень, тобто економічній ефективності використання ПП.

Під пропускною спроможністю зони організованого ПП (системи АТМ) розуміють максимальну кількість повітряних суден у потоці, яких система спроможна обслужити в одиницю часу. Це одна з найважливіших характеристик АТМ-системи, яка повинна визначатися кількісно при її прогнозуванні та оцінці фактичного рівня. Задачі прогнозування та визначення фактичного рівня пропускної спроможності достатньо складні, але вони необхідні для визначення провізних можливостей авіаційного транспорту в конкретних зонах організованого ПП.

Проблема оцінки пропускної спроможності повітряного простору розглядалася в ряді робіт, наприклад, в [1-6]. Однак запропоновані методи не мають достатньої спільності, оскільки вони базуються на оцінці окремих факторів, які впливають на пропускну спроможність. Для комплексної оцінки пропускної спроможності АТМ-системи насамперед необхідно виходити із системного аналізу цього поняття.

Як вже відзначалося, до складу АТМ-системи в певному повітряному просторі входять: об'єкти обслуговування (повітряні судна), органи обслуговування, включаючи авіадиспетчерів, які реалізують прийнятну операційну концепцію, правила й процедури обслуговування повітряного руху; середовище обслуговування (організований повітряний простір певної конфігурації й структуризації, розділений на елементи: зони (сектори), маршрути (траси), ешелони польоту та інш., де встановлені певні мінімуми ешелонування; спеціальні технічні засоби (засоби спостереження, навігації, зв'язку й автоматизації - це засоби збору, обробки, відображення польотної інформації й

керування повітряним рухом, які використовуються органами обслуговування в процесі виконання заданих функцій).

Польоти ПС здійснюються в межах певних маршрутів, прокладених у виділеному повітряному просторі. АТМ-система повинна забезпечувати контроль польотів у всій зоні обслуговування, де прокладені маршрути польотів. Оскільки існуюча АТМ-система є цивільно-військовою, то на практиці здійснюється спостереження у всьому повітряному просторі зон обслуговування, хоча польоти ПС транспортної авіації (цивільної і військової) здійснюються тільки в межах прокладених маршрутів.

Практично завжди потік ПС, що надходить у зону АТМ-системи, випадковий або з елементами випадковості моментів часу надходження й часу обслуговування в ній. Диспетчерське обслуговування цього потоку ПС носить груповий характер, якщо кількість ПС, які одночасно перебувають у зоні обслуговування, більше одного.

Завдяки унікальним особливостям органів зору й слуху, мозку людини, спроможності багаторазового швидкого перемикання уваги з одного ПС на інше, авіадиспетчер спроможний працювати як багатоканальна система майже паралельного обслуговування групи ПС у зоні. Повітряні судна, як правило, надходять у зону обслуговування по черзі, а іноді з дуже невеликим часовим інтервалом при наявності декількох траєкторій їхнього польоту. Якщо навіть іноді має місце неординарність надходження ПС для обслуговування в зону, то це в незначній мері впливає на результат, тому що в каналі зв'язку обслуговування їх при входженні в зону й при виході з неї обов'язково почергове й ординарне, а наявність групового обслуговування в зоні майже не впливає на характер потоку ПС.

Якщо ПС входять у зону й виходять із неї по одному, а одночасно в зоні обслуговування перебуває деяка максимально припустима кількість ПС, то можна вважати, що з приходом кожного нового ПС у зоні обслуговування починає обслуговуватися щораз нова група ПС. При цьому здійснюється

групове обслуговування ПС, інтенсивність надходження груп дорівнює інтенсивності ПС у потоці, а тривалість часу обслуговування одного ПС чисельно дорівнює тривалості часу обслуговування групи ПС, які одночасно перебувають у зоні диспетчерського керування завдяки наявності у диспетчера резерву часу.

Стан повітряного руху в певному повітряному просторі може змінюватися залежно від інтенсивності й траєкторій польотів, взаємного розташування сукупності ПС у повітряному просторі, швидкості їхніх польотів, маневрених характеристик і технічного стану ПС, метеорологічних умов, наявності й технічного стану АТМ-засобів.

Повітряний простір - компонента АТМ-системи - має певну ємність, що характеризує максимальні спроможності АТМ-системи у вирішенні завдань обслуговування повітряного руху. Ємність повітряного простору оцінюється максимальною кількістю ПС N_{\max} , які одночасно й безпечно здійснюють у ній польоти згідно заданих маршрутів у будь-який момент часу. Це статична характеристика АТМ-системи. Повітряний простір певної ємності може характеризуватися ще однією, але вже динамічною, характеристикою – щільністю повітряного руху в певний момент часу $\rho(t)$. Ця фактична кількість ПС, які в певний момент часу t перебувають у зоні обслуговування, становить величину:

$$N(t) = V\rho(t), \quad (4.1.)$$

де V - об'єм зони повітряного простору.

Фактична кількість ПС у повітряному просторі завжди не перевищує його ємності, тобто $N(t) \leq N_{\max}$.

Максимальна (потенційна, теоретична) пропускна спроможність повітряного простору також є статичною характеристикою, що впливає на рівень безпеки, економічності й регулярності польотів і визначається як:

$$n_{\max} = \frac{N_{\max}}{T}, \quad (4.2)$$

де T - середній час прольоту повітряним судном зони повітряного простору.

Щільність повітряного руху обмежена ємністю зони обслуговування:

$$\rho(t) = \frac{N(t)}{V} \leq \frac{N_{\max}}{V} = \frac{n_{\max} T}{V} \quad (4.3)$$

У процесі аналізу при декомпозиції пропускної спроможності варто розрізняти потенційну (теоретичну), розрахункову (нормативну) і фактичну пропускну спроможність АТМ-системи (рис. Д.1.1).

Якщо виключити з розгляду технічні засоби й авіадиспетчера, а сконцентрувати увагу тільки на характеристиках повітряного простору й потоку ПС, то можна вести мову тільки про потенційну пропускну спроможність зони повітряного простору в ідеальних метеорологічних умовах, під якою розуміють максимальну кількість ПС, що може бути обслужена в певній мірі організованому повітряному просторі в одиницю часу при заданому рівні безпеки руху з урахуванням типів ПС і виконанні вимог економічності польотів.

На відміну від потенційної (теоретичної), розрахункова пропускну спроможність АТМ-системи - це гранично можлива кількість ПС, що може бути обслужена АТМ-системою в ідеальних погодних умовах із заданим рівнем безпеки повітряного руху при певних психофізіологічних характеристиках авіадиспетчера, того ж рівня кваліфікації й тренованості авіадиспетчерів, з використанням наявних технічних засобів АТМ-системи й навігації й при наявній організації повітряного руху.

При збільшенні інтенсивності повітряного руху заходи щодо вдосконалювання систем організації повітряного руху повинні передбачати відповідність рівнів пропускної спроможності організованого повітряного простору, технічних засобів і авіадиспетчерів, тобто передбачати збалансованість пропускної спроможності всіх компонентів АТМ-системи в цілому.

Очевидно, що з точки зору витрат найменш обмежуючим компонентом для пропускної спроможності АТМ-системи є сам організований повітряний простір, тому що витрати на вдосконалення даного компонента (його структуризація з урахуванням зменшених мінімумів ешелонування, відкриття нових трас відповідно до вимог трафіка й т.п.) завжди виявляються меншими, ніж подібні витрати на інші компоненти АТМ-системи. Це обумовлюється тим, що дані витрати, на відміну від витрат, наприклад, на підготовку авіадиспетчерських кадрів, на вдосконалення технічних компонентів системи (у зв'язку з підвищенням вимог щодо необхідних характеристик засобів зв'язку, навігації, спостереження, автоматизації), не пов'язані з інвестиціями на навчання кадрів, на розробку, виробництво, впровадження й експлуатацію високотехнологічних зразків нової техніки.

При визначенні потенційної пропускної спроможності організованого повітряного простору необхідно враховувати:

розміри повітряного простору й параметри його структури, які включають число пунктів і кути сходження й перетинання трас у секторі, число дозволених для польотів ешелонів на трасах і їхню сумарну протяжність, мінімуми поздовжнього, бічного й вертикального ешелонування на трасах;

параметри потоку ПС у районі обслуговування, льотно-технічні характеристики ПС, їх кількість за типами у горизонтальному польоті, з набором висоти й зниженням і т.п.

До основних факторів, які визначають фактичну пропускну спроможність АТМ-системи, відносяться:

об'єм організованого повітряного простору й кількість прокладених трас;

встановлені мінімуми ешелонування ПС;

складність структури повітряного простору;

характер потоків ПС на маршрутах (переривчастість потоку у часі, типи ПС у потоці);

рівень технічного забезпечення засобами АТМ-системи (зв'язку, навігації; спостереження, автоматизації);

психофізіологічні спроможності авіадиспетчера;

льотно-технічні характеристики ПС;

вимоги безпеки й економічності польотів;

метеорологічні умови й т.п.

Як і у випадку організованого повітряного простору, максимальна (потенційна) пропускна спроможність його частини - зони (сектора) АТМ-системи також визначається виразом (4.2) і залежить від ємності зони й середнього часу прольоту зони повітряними суднами.

На практиці пропускна спроможність АТМ-системи залежить від ряду об'єктивних і суб'єктивних, систематичних і випадкових факторів.

Об'єктивні фактори характеризуються показниками організації АТМ-системи (структуризацією повітряного простору, якістю оперативного обслуговування повітряного руху, технологією роботи авіадиспетчера, параметрами потоку ПС у секторі), оснащеністю пунктів АТМ-системи технічними засобами, рівнем автоматизації процесів обслуговування повітряного руху, алгоритмами взаємодії авіадиспетчера з технічними засобами, режимом роботи авіадиспетчерів (їх завантаженістю, змінністю роботи, кількістю сеансів зв'язку й характером взаємодії з іншими службами й органами АТМ-системи).

Суб'єктивні фактори, які впливають на пропускну спроможність АТМ-системи, можуть бути зв'язані, наприклад, з особистими якостями авіадиспетчера. Вони характеризуються кваліфікацією, досвідом роботи авіадиспетчера, його психофізіологічними показниками (мислення, пам'ять, уважність і ін.) і показниками функціонального стану (професійна придатність, працездатність, стан здоров'я, продуктивність, безпомилковість роботи). Для оцінки реальної пропускної спроможності АТМ-системи необхідне комплексне врахування цих факторів.

4.3. Методологічні засади оцінки пропускної спроможності

Як вже зазначалося, пропускна спроможність організованого ПП має декілька основних обмежуючих факторів:

просторові обмеження, які визначають максимальну кількість повітряних суден певних типів, які можуть пролетіти зону управління за одиницю часу (годину), виходячи з встановлених мінімумів їх просторового ешелонування та швидкості польоту;

принцип ведення авіаційного повітряного радіозв'язку, який передбачає ведення обов'язкових сеансів зв'язку та сеансів зв'язку, викликаних ситуаційною необхідністю здійснення польотів, при одночасному веденні зв'язку тільки з одним абонентом та використанні стандартної фразеології;

максимальна можлива кількість радіолокаційних відміток від повітряних суден разом з їх формулярами, яка може бути відображена на індикаторах повітряної обстановки при здійсненні їх автоматичного супроводу;

фізичні (психофізіологічні) обмеження можливостей авіадиспетчера та пілотів;

структура потоку повітряних суден, які надходять на обслуговування у зону ПП;

технічні можливості оперативної обробки планової інформації в автоматизованих системах керування повітряним рухом;

метеорологічні умови в зоні управління;

складність існуючої організації повітряного руху в зоні управління та ін.

На практиці найчастіше ставиться задача визначення пропускної спроможності певної зони ОПР при заданій структурі, організації повітряного руху (складності організації повітряного руху), при наявності певних технічних засобів, які використовуються в зоні та в процесі управління, при нормальних для польотів метеорологічних умовах.

Принцип ведення авіаційного повітряного зв'язку передбачає здійснення

екіпажами повітряних суден обов'язкових донесень про проліт певних існуючих рубежів, дотримання дозволів на здійснення польоту в зоні та на вихід із цієї зони управління, отримання необхідної екіпажам та авіадиспетчеру аеронавігаційної інформації. Сумарна тривалість сеансів одноканального радіозв'язку обмежена і обмежує кількість повітряних суден в зоні, тобто пропускну спроможність зони.

Завантаженість каналу повітряного радіозв'язку залежить від кількості ПС у зоні, якості сигналів, складності організації повітряного руху в зоні управління, стану метеорологічних умов в ній, психофізіологічного стану авіадиспетчера та пілотів тощо.

Встановлені мінімуми повздожнього ешелонування повітряних суден є першим обмежуючим фактором пропускну спроможності на певному вертикальному ешелоні. При розгляді пропускну спроможності зони управління (наприклад, сектору) слід також враховувати наявну кількість вертикальних ешелонів у цій зоні.

Якщо мінімум повздожнього ешелонування становить R_{\min} , то за одну годину ($t = 1$ год) через зону сектора на одному ешелоні може пролетіти не більше

$$n_{\max} = \frac{Vt}{R_{\min}} = \frac{V}{R_{\min}} \quad (4.9)$$

повітряних суден. При швидкості польоту $V = 900$ км/год, мінімумі ешелонування $R_{\min} = 20$ км отримаємо $n_{\max} = 45$ повітряних суден за годину.

Якщо існують декілька k факторів, які обмежують пропускну спроможність сектора, то остання визначається за формулою:

$$\frac{1}{n_{\max}} = \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} + \dots + \frac{1}{n_i} + \dots + \frac{1}{n_k} = \sum_{i=1}^k \frac{1}{n_i}, \quad (4.10)$$

де n_i – пропускну спроможність сектора, обмежена впливом тільки i -го фактора, $i = \overline{1, k}$

звідси отримаємо

$$n_{\max} = \left[\sum_{i=1}^k \frac{1}{n_i} \right]^{-1} \quad (4.11)$$

Звідси при $k = 3$ отримаємо

$$n_{\max} = \frac{n_1 n_2 n_3}{n_1 n_2 + n_2 n_3 + n_1 n_3} \quad (4.12)$$

У разі, коли $n_1 \ll n_2$, $n_1 \ll n_3$, з виразу (Д.1.7) отримаємо

$$n_{\max} = \frac{n_1}{1 + \frac{n_1}{n_2} + \frac{n_1}{n_3}} \approx n_1 \quad (4.13)$$

При високій інтенсивності польотів, яка наближається до нормативного чи гранично можливого значення, всі перелічені обмежуючі фактори в певній мірі впливають на пропускну спроможність зони і повинні враховуватись у відповідності з виразом (4.12). Чим більша інтенсивність польотів, тим більший вплив цих факторів на обмеження пропускну спроможності.

Тобто, при наявності декількох обмежуючих пропускну спроможність факторів при великій різниці впливу цих факторів пропускну спроможність практично визначається впливом фактору, який є в найбільшій мірі обмежуючим.

У разі, коли слід враховувати три обмежуючих фактори, в процесі оцінки пропускну спроможності слід користуватися виразом (4.13).

Дослідження показують, що пропускну спроможність сектора ОПР в найбільшій мірі залежить від психофізіологічних можливостей авіадиспетчера, які обмежуються рівнем його завантаженості в процесі виконання технологічних операцій з ОПР.

Завантаженість авіадиспетчера виконанням технологічних операцій з ОПР характеризується коефіцієнтом завантаженості:

$$K_z = T_z/T, \quad (4.14)$$

де K_3 – коефіцієнт зайнятості (завантаженості) авіадиспетчера;

T_3 - сумарний час, який авіадиспетчер витрачає на обслуговування всієї сукупності повітряних суден у зоні за час його роботи T .

Показник робочого завантаження авіадиспетчера є мірою, яка залежить від інтенсивності та організації повітряного руху в зоні управління, кваліфікації авіадиспетчера та ін.

Під час роботи авіадиспетчер зайнятий процесами збирання необхідної інформації про політ кожного з повітряних суден у зоні, узгодження питань з ОПР з диспетчерами суміжних зон та служб, осмислення отриманої інформації та прийняття рішень, передачі прийнятих рішень чи інформації екіпажам повітряних суден.

В той час, коли операції збирання та передачі інформації каналами повітряного та наземного мовного зв'язку піддаються хронометражу, тривалість операцій прийняття рішень авіадиспетчером та екіпажем зареєструвати складно. Тому загальна завантаженість авіадиспетчера дещо більша, ніж сумарна тривалість ведення операцій зв'язку:

$$T_3 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \alpha_{ij} t_{звij}, \quad (4.15)$$

де α_{ij} – коефіцієнт, який враховує збільшення завантаженості авіадиспетчера у зв'язку з прийняттям рішення відносно тривалості ведення j -го сеансу зв'язку i -тим повітряним судном,

$$i \in n; j \in m_i; \quad (4.16)$$

t_{ij} – тривалість j -го сеансу зв'язку з i -м повітряним судном;

m_i – кількість сеансів повітряного та наземного зв'язку при обслуговуванні польоту i -го повітряного судна;

n – кількість повітряних суден, які обслуговуються авіадиспетчером в зоні управління за час його роботи T , що розглядається.

Як визначається, при неавтоматизованому управлінні диспетчер витрачає на отримання інформації у середньому 36% робочого часу, на фіксацію інформації – 6%, на аналіз повітряної обстановки та прийняття рішень – 35%, на передачу команд управління – 23% загального часу.

Автоматизація керування повітряним рухом дозволяє скоротити витрати часу на отримання та представлення диспетчеру необхідної інформації про стан повітряного руху, про метеорологічні умови, що збільшує бюджет часу авіадиспетчера для аналізу стану повітряної обстановки та прийняття рішень, підвищує їх оперативність та якість за рахунок автоматизації обробки інформації. Це сприяє підвищенню безпеки повітряного руху.

За даними висококваліфікованих фахівців вважається, що можна приблизно вважати, $\alpha_{ij} = \alpha = \text{const} = 1,7$. Тоді

$$T_3 = 1,7 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} t_{3\&ij} \quad (4.17)$$

При цьому тривалість зайнятості авіадиспетчера визначається часом, який витрачається на операції, які піддаються безпосередньому контролю та хронометражу, з урахуванням коефіцієнту, що враховує витрати часу на аналіз повітряної обстановки та прийняття рішень.

Робота авіадиспетчера впродовж тривалого часу (тривалості зміни) при максимальній завантаженості може призвести до небажаних збоїв та помилок в оцінці ситуацій та прийнятті управлінських рішень. Тому при оцінці нормативної (максимально допустимої з точки зору безпеки польотів) пропускної спроможності сектора, яка обмежується пропускною спроможністю диспетчера, вважається доцільним дещо полегшений режим роботи авіадиспетчера, коли коефіцієнт його завантаженості становить $K_{\text{норм}}^{\text{зав}} = 0,55$.

Коефіцієнт завантаженості $K_{\text{норм}}^{\text{зав}} = 0,55$ був рекомендований ще у 70-ті роки минулого століття. З тих пір значно змінився рівень автоматизації управління

повітряним рухом, якість інформаційного забезпечення польотів, що ставить питання про можливість переглянути цей рівень, дещо збільшити допустимий рівень завантаженості авіадиспетчера.

Коефіцієнт завантаженості має декілька складових, кожна з яких є функцією інтенсивності польотів λ у зоні:

$$K_z = K_{пз}(\lambda) + K_{кз}(\lambda) + K_{нз}(\lambda), \quad (4.18)$$

де $K_{пз}(\lambda)$ – складова коефіцієнта завантаженості, яка характеризує міру зайнятості авіадиспетчера операціями повітряного зв'язку при обслуговуванні безконфліктного повітряного руху і залежить від інтенсивності польотів:

$$K_{пз} = \frac{1,7}{T} \left[\sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{m_i} t_{звij} \right]_{пз}; \quad (4.19)$$

$K_{кз}(\lambda)$ – складова коефіцієнта завантаженості, яка характеризує міру зайнятості авіадиспетчера операціями повітряного зв'язку та іншими операціями з виявлення та вирішення конфліктних ситуацій при ОПР в разі їх виникнення:

$$K_{кз} = \frac{1,7}{T} \left[\sum_{i=1}^{n_2} \sum_{j=1}^{m_i} t_{звij} \right]_{кз}; \quad (4.20)$$

$K_{нз}(\lambda)$ – складова коефіцієнта завантаженості, яка характеризує міру зайнятості авіадиспетчера операціями наземного радіозв'язку та роботою зі стріпами:

$$K_{нз} = \frac{1,7}{T} \left[\sum_{i=1}^{n_3} \sum_{j=1}^{m_i} t_{звij} \right]_{нз}; \quad (4.21)$$

n_1, n_2, n_3 – відповідно кількість повітряних суден, стосовно яких приходится вести повітряний радіозв'язок, виявляти конфліктні ситуації, вести наземний зв'язок;

λ – інтенсивність повітряного руху, яка визначається кількістю повітряних суден, що обслуговуються авіадиспетчером за одиницю часу впродовж інтервалу його роботи.

Допустима кількість повітряних суден, які можуть одночасно перебувати на обслуговуванні авіадиспетчера на всіх вертикальних ешелонах в секторі, становить

$$N = nT_{0\text{сер}}, \quad (4.22)$$

де $T_{0\text{сер}}$ – середній час перебування повітряного судна у секторі ОПР, $T_{0\text{сер}} = L/V$ (L – довжина маршруту у межах сектору, V – швидкість польоту повітряного судна в секторі).

Нормативна пропускна спроможність зони повітряного простору (сектора) чисельно дорівнює максимальній інтенсивності потоку повітряних суден, обслуговування якого в цій зоні може бути забезпечене з виконанням встановлених вимог безпеки польотів без створення черги на обслуговування ($n_{\text{тахнорм}} = \lambda_{\text{тахнорм}}$).

З метою забезпечення вимог безпеки повітряного руху при визначенні нормативної пропускної спроможності на практиці використовуються значення коефіцієнта завантаженості авіадиспетчера $K_{\text{норм}}^{\text{зав}} = 0,55$.

З урахуванням виразу (4.17) вираз (4.14) матиме вигляд:

$$K_3 = \frac{1,7}{T} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} t_{3\text{в}ij} \quad (4.23)$$

Якщо мова йде про нормативний коефіцієнт завантаженості, то з виразів (4.19) та (4.20) отримаємо:

$$K_{\text{нз}} = \frac{1,7}{T} \sum_{i=1}^{n_{\text{max}}} \sum_{j=1}^{m_i} t_{3\text{в}ij} = 0,55 \quad (4.24)$$

Максимальна нормативна кількість повітряних суден, які можуть одночасно перебувати у зоні управління, становить:

$$N_{\text{тахнорм}} = n_{\text{тахнорм}} T_{0\text{сер}} \quad (4.25)$$

Якщо інтенсивність потоку повітряних суден λ на вході зони перевищує $\lambda > \lambda$

$\lambda_{\text{тахнорм}} = n\lambda_{\text{тахнорм}}$, то можлива поява інцидентів та черги на ОПП внаслідок перевантаженості авіадиспетчера. Якщо $\lambda < \lambda_{\text{тахнорм}} = n\lambda_{\text{тахнорм}}$ матиме місце деяка недостатня завантаженість авіадиспетчера.

Вирази (4.18) та (4.19) дозволяють визначити допустимі нормативні характеристики зони повітряного руху: її нормативну пропускну спроможність $n\lambda_{\text{тахнорм}}$ та максимальну кількість N повітряних суден, що одночасно можуть знаходитися на обслуговуванні авіадиспетчера.

При управлінні повітряним рухом використовуються такі методи контролю повітряного руху: за доповідями екіпажів, за допомогою наземних засобів спостереження, графоаналітичний метод (диспетчерський графік), за допомогою бланків програм польотів (стрипів), за допомогою автоматизованої системи керування повітряним рухом, комплексний метод.

Під поняттям «конфліктна ситуація» розуміється прогнозоване зближення повітряних суден у просторі та часі, при якому порушуються встановлені мінімуми ешелонування.

Пропускна спроможність зони організованого ПП залежить від організації повітряного простору, яка визначає складність повітряного руху, і від структури потоку повітряних суден, що надходять на обслуговування в певну зону ПП. Дослідження показують, що найкращі показники пропускну спроможності зони ПП можуть бути при регулярному потоці повітряних суден і постійному часі їх обслуговування. Наявність випадковості надходження повітряних суден та переривчастості цього потоку призводять до зменшення пропускну спроможності. Найгірші показники пропускну спроможності мають місце при показниковому законі розподілення інтервалів часу між моментами надходження повітряних суден. Тому організація потоків повітряних суден практично дуже важлива.

Як вже відзначалося вище, пропускна спроможність сектора диспетчерського управління повітряним рухом в значній мірі обмежується тривалістю зайнятості авіадиспетчера операціями, пов'язаними з обслуговуванням всіх ПС,

що виконують політ через сектор ОПР за певний час T . Це час, який витрачається авіадиспетчером на ведення радіозв'язку при прольоті рубежів прийому-передавання ПС, пунктів обов'язкового донесення в зоні сектора. Ці витрати часу можуть вимірюватися у реальних ситуаціях на робочому місці авіадиспетчера або при використанні диспетчерського тренажеру, де певний стан повітряного руху та динаміка управління ним моделюються напівнатурно з певним наближенням до реальних (адекватно реальних) умов. Процес вимірювань та реєстрацій часових витрат фіксуються багатократно з тим, щоб обсяг статистичного матеріалу забезпечував необхідну точність визначення параметрів. Чим більший обсяг статистики, тим менший довірчий інтервал вимірювань параметру, тобто тим ближче середнє значення параметру його математичному сподіванню. Але ж при цьому збільшуються витрати часу на збирання необхідної інформації.

Проведення такого експерименту на робочому місці авіадиспетчера більш доцільно, ніж на тренажері, де умови роботи авіадиспетчера та пілота-інструктора відрізняються від реальних і ця відмінність змінюється у часі за випадковими законами, встановлення яких ускладнене. Але при проведенні такого експерименту у деякій мірі створюються завади роботі авіадиспетчера. Тому в подальшому розглянемо варіант експерименту при напівнатурному моделюванні роботи авіадиспетчера на диспетчерському тренажері.

Визначення K_z здійснюється шляхом вимірювання сумарних реальних витрат часу на ведення сеансів повітряного радіозв'язку, на вирішення конфліктних ситуацій та ведення сеансів наземного зв'язку за певний відрізок часу T .

Моделюючи на тренажері потоки ПС змінної інтенсивності q , шляхом послідовних наближень до нормативного показника завантаженості K_{zn} , отримують гранично допустиму інтенсивність польотів, тобто нормативну пропускну спроможність сектора ОПР.

Допустимі нормативи інтенсивності повітряного руху визначаються як середні величини для різних категорій авіадиспетчерів за віком, стажем роботи на

конкретному робочому місці, в залежності від рівня володіння англійською мовою, рівня професійної кваліфікації тощо.

Як вже відзначалося вище, при високій інтенсивності повітряного руху, яка відповідає рівню нормативної пропускної спроможності, обов'язково слід враховувати і інші обмежуючі фактори, а саме: просторові обмеження з урахуванням прийнятих мінімумів ешелонування повітряних суден в зоні, обмеження технічних та функціональних можливостей каналу повітряного радіозв'язку, обмежених можливостей кількості відображуваних на індикаторах повітряної обстановки відміток від повітряних суден та їх автоматичного супроводження тощо.

Пропускна спроможність зони (теоретична та нормативна) характеризується саме максимальними та високими нормативними значеннями допустимої інтенсивності польотів. У таких умовах слід враховувати вплив всіх суттєвих обмежуючих факторів.

4.4. Пропускна спроможність аеродромної зони підходу системи диспетчерського управління повітряним рухом

Пропускна спроможність (ПрС) системи диспетчерського управління в зоні аеродрому практично визначається пропускною спроможністю злітно-посадкової смуги (ЗПС) чи комплексу ЗПС, якщо використовуються декілька ЗПС на аеродромі.

Це означає, що практично ПрС в цьому випадку залежить від:

довжини ЗПС;

схеми розміщення рульових доріжок відносно ЗПС;

метеорологічних умов у зоні аеродрому;

типів повітряних суден (ПС), які здійснюють зліт та посадку на аеродромі (частки кожного з типів ПС в їх загальному потоці на певному відрізку часу; швидкості їх польоту на етапі посадки, можливостей гасіння швидкості переміщення ПС на ЗПС, швидкості зльоту ПС, довжини пробігу ПС при зльоті

від виконавчого старту до точки відриву від ЗПС, довжини пробігу ПС від точки приземлення до зупинки на ЗПС, часу руління ПС від попереднього до виконавчого старту);

стану ЗПС (коефіцієнта зчеплення, наявності води, льоду снігового покриву);

тривалості зайнятості ЗПС сторонніми об'єктами;

кваліфікації екіпажів ПС та авіадиспетчерів;

якості роботи системи інструментального заходу на посадку;

особливостей конструкції ЗПС;

кількості ЗПС на аеродромі, взаємного їх розташування, режиму використання тощо.

Тобто ПрС системи диспетчерського управління в зоні аеродрому для кожного аеродрому може мати своє значення в залежності від ряду обставин.

Якщо в систему ОПР надходить випадковий потік повітряних суден, розподілений у часі за законом Пуассона з параметром q , а тривалість часу обслуговування кожного з ПС розподілена показниково з параметром γ , то при почерговому їх обслуговуванні одноканальна система ОПР може знаходитись у таких станах:

0 – в системі на обслуговуванні знаходиться одне ПС;

1 – в системі на обслуговуванні знаходиться одне ПС, а у черзі – ще одне ПС;

2 – в системі на обслуговуванні знаходиться одне ПС, а в зоні очікування у черзі – ще два ПС;

$n+1$ – в системі на обслуговуванні знаходиться одне ПС, а в зоні очікування у черзі – ще n ПС.

Тобто в роботі системи передбачається можливість наближеної тривалості очікування початку обслуговування ПС в черзі.

Диференціальні рівняння, які описують поведінку системи, мають вигляд:

$$p'_0(t) = -qp_0(t) + \gamma p_1(t)$$

$$p'_1(t) = qp_0(t) - (q + \gamma)p_1(t) + \gamma p_2(t) \quad (4.25)$$

$$p'_n(t) = qp_{n-1}(t) - (q + \gamma)p_n(t) + \gamma p_{n+1}(t)$$

де $p_i(t)$ – ймовірність перебування системи в i -тому стані.

Нормуюча умова має вигляд:

$$\sum_{i=1}^{\infty} p_i(t) = 1 \quad (4.26)$$

Вирішення системи рівнянь (4.25) з урахуванням умови (4.26) у сталому режимі дає:

$$p_0 = 1 - q/\gamma; \quad p_n = (q/\gamma)^n (1 - q/\gamma) \quad (4.27)$$

при $q/\gamma < 1$.

Середня довжина черги ПС на обслуговування при цьому дорівнює:

$$v_{cp} = \sum_{i=1}^{\infty} i p_i = \frac{q^2}{\gamma^2 - q^2} \quad (4.28)$$

а середня кількість ПС, які знаходяться в черзі та на обслуговуванні:

$$m_{cp} = \sum_{i=1}^{\infty} i p_i = \frac{q^2}{\gamma^2 - q^2} = \sum_{i=1}^{\infty} i \left(\frac{q}{\gamma}\right)^i \left(1 - \frac{q}{\gamma}\right) = \frac{q}{\gamma - q} \quad (4.29)$$

Середня тривалість часу перебування кожного з ПС у черзі на обслуговування становить

$$t_{0ч} = \frac{q}{\gamma^2 - q\gamma}, \quad (4.30)$$

а середня тривалість часу перебування ПС у зоні обслуговування (у черзі та на обслуговуванні):

$$t_{cум} = \frac{1}{\gamma - q}, \quad (4.31)$$

При $\gamma \rightarrow \infty$ отримуємо $t_{0ч} \rightarrow 0$, $t_{cум} \rightarrow 0$.

Тривалість часу визначає пропускну спроможність системи ОПР, яка визначається за одиницю часу як

$$n = \frac{1}{t_{\text{сист}}} = \gamma - q \quad (4.32)$$

Якщо заданий середній час перебування ПС у черзі $t_{\text{оч}}$, то з виразу (4.29) можна визначити необхідну інтенсивність обслуговування, використовуючи вираз:

$$\gamma 2t_{\text{оч}} - q\gamma t_{\text{оч}} - q = 0 \quad (4.33)$$

Звідки

$$\gamma = \frac{1}{2t_{\text{оч}}} \left[qt_{\text{оч}} + \sqrt{q^2 t_{\text{оч}}^2 + 4qt_{\text{оч}}} \right] = \frac{1}{2} \left[q + \sqrt{q^2 + 4\frac{q}{t_{\text{оч}}}} \right] \quad (4.34)$$

а пропускну спроможність:

$$n = \gamma - q = \frac{1}{2} \left[q + \sqrt{q^2 + 4\frac{q}{t_{\text{оч}}}} \right] - q \quad (4.35)$$

При $t_{\text{оч}} \rightarrow 0$ необхідна інтенсивність обслуговування ПС у зоні повинна бути дуже великою ($\gamma \rightarrow \infty$). При значним допустимим часом очікування $t_{\text{оч}} \rightarrow \infty$ може бути достатнім $\gamma \approx q$.

В разі, коли $q = 50$ 1/год,

при $t_{\text{оч}} = 10$ с = 0,167 год отримаємо $\gamma = 55,55$ 1/год, $n = 5,55$ 1/год;

при $t_{\text{оч}} = 1$ с = 0,0167 год отримаємо $\gamma = 85,16$ 1/год, $n = 35,16$ 1/год;

при $t_{\text{оч}} = 0,1$ с = 0,00167 год отримаємо $\gamma = 199,8$ 1/год, $n = 149,8$ 1/год.

Якщо потік ПС відповідає закону Пуассона, а розподілення часу обслуговування довільне, середня кількість ПС у системі може бути визначена за формулою Кендала:

$$m_{\text{cp}} = \psi + \frac{\psi^2 + q^2 \sigma^2}{2(1-\psi)}, \quad (4.36)$$

де: $\psi = q\tau$ – коефіцієнт використання системи;

τ – середня тривалість обслуговування ПС;

σ – середньоквадратичне відхилення тривалості часу обслуговування ПС від середнього значення.

Для розглянутого вище показникового закону розподілення інтервалів між надходженням ПС з параметром q та часу обслуговування з параметром $\gamma = 1/\tau$ маємо $\sigma^2 = 1/\gamma^2$.

Середня тривалість часу очікування дорівнює:

$$t_{оч} = \frac{1}{q} \times \frac{\psi^2 + q^2 \sigma^2}{2(1-\psi)}, \quad (4.37)$$

а середня тривалість перебування кожного з ПС у системі ОПР дорівнює:

$$t_{сист} = \frac{n_{cp}}{q} = \frac{1}{q} \times \frac{\psi^2 + \lambda^2 \sigma^2}{2(1-\psi)}. \quad (4.38)$$

Найменша кількість ПС може знаходитись у черзі та у системі ОПР при постійній тривалості обслуговування:

$$m = \psi + \frac{\psi^2}{2(1-\psi)}. \quad (4.39)$$

В цьому випадку маємо:

$$t_{оч} = \frac{m_{cp}}{q} - \tau = \frac{q\tau^2}{2(1-q\tau)}, \quad (4.40)$$

$$t_{сист} = \frac{n_{cp}}{q} = \tau + \frac{q\tau^2}{2(1-q\tau)}. \quad (4.41)$$

Пропускна спроможність системи при пуассонівському потоці ПС та постійному часі обслуговування становить:

$$n = \frac{1}{t_{сист}} = \left[\tau + \frac{q\tau^2}{2(1-q\tau)} \right]^{-1}. \quad (4.42)$$

Якщо для системи ОПР задана допустима тривалість очікування ПС початку

обслуговування точ, то використовуючи вираз (4.38), маємо вираз для визначення тривалості часу обслуговування:

$$q\tau^2 - 2qt_{оч} - 2t_{оч} = 0. \quad (4.43)$$

Звідси

$$\tau = -t_{оч} + \sqrt{t_{оч}^2 + \frac{2t_{оч}}{q}} \quad (4.44)$$

Якщо при цьому $q = 50$ 1/год, то

при $t_{оч} = 10$ с = 0,167 год отримаємо

$$\tau = 55,55 \text{ 1/год}, \gamma = 51,8 \text{ 1/год}; t_{сист} = 0,285 \text{ год}, n = 3,5 \text{ 1/год}.$$

при $t_{оч} = 1$ с = 0,0167 год отримаємо

$$\tau = 0,014 \text{ 1/год}, \gamma = 71,4 \text{ 1/год}; t_{сист} = 0,03 \text{ год}, n = 33,33 \text{ 1/год}.$$

при $t_{оч} = 0,1$ с = 0,00167 год отримаємо

$$\tau = 0,0067 \text{ 1/год}, \gamma = 149,21 \text{ 1/год}; t_{сист} = 0,00678 \text{ год}, n = 147,5 \text{ 1/год}.$$

Порівнюючи результати розрахунків при показниково розподіленому та постійному часі обслуговування, можна зробити висновок, що однаковий час очікування може бути забезпечений при меншій пропускній спроможності, коли маємо постійний час обслуговування ПС. Інакше кажучи, постійний час обслуговування ПС забезпечує дещо більшу пропускну спроможність системи.

4.2. Визначення оптимальної за функціонально-економічними показниками кількості секторів управління повітряним рухом

Велика інтенсивність польотів в зоні повітряного простору призводить до необхідності поділу зони на декілька секторів незалежного управління. При цьому система управління в цій зоні може розглядатися як багатоканальна з паралельним типом обслуговування підпотоків повітряних суден.

Географічно сектори управління створюються з урахуванням напрямків руху ПС при їх прибутті та відбутті стосовно відповідних аеродромів.

Недостатня кількість секторів управління при великій інтенсивності польотів призводить до виникнення черги ПС на обслуговування і економічних втрат у зв'язку зі збільшенням середнього значення польотного часу. З цієї причини доцільно збільшувати кількість секторів управління, але при цьому збільшуються витрати на додаткове обладнання, додаткову кількість обслуговуючого персоналу органів диспетчерського управління повітряним рухом на інші експлуатаційні потреби.

Оптимальна кількість секторів (каналів) управління в зоні повітряного простору відповідає мінімуму загальних додаткових витрат всіх ПС, які знаходяться в зоні управління, та системи диспетчерського УПР. Ці додаткові витрати пов'язані з очікуванням ПС обслуговування у черзі та з простоем системи управління при відсутності ПС в зоні управління. Отримані наступні вирази для ймовірностей перебування S-канальної системи у вільному від обслуговування стані P_0 та у станах її зайнятості обслуговуванням ПС $p_i, i \in K$:

$$P_0 = \left[\frac{\psi^s}{S! \left(1 - \frac{\psi}{S}\right)} + \sum_{i=0}^{s-1} \frac{\psi^i}{i!} \right]^{-1};$$

$$p_i = p_0 \frac{\psi^i}{i!}, 1 \leq i \leq S$$

$$p_i = p_0 \frac{\psi^i}{S! S^{i-s}}, i > S \quad (4.103)$$

Тут позначено:

S - число каналів (секторів) диспетчерського управління в зоні повітряного простору;

i - число ПС, які обслуговуються S -каналльною системою в певний момент часу;

$\psi = \frac{q}{\gamma}$ - інтенсивність завантаженості кожного з каналів;

q, γ - інтенсивність надходження ПС в систему та інтенсивність їх обслуговування.

Зауважимо, що для того, щоб черга ПС на обслуговування не зростала до

безконечності, слід забезпечувати: $\frac{\psi}{S} = \frac{q}{S\gamma} < 1$, тобто $\psi < S$.

Середня кількість ПС, які знаходяться у черзі на обслуговування, дорівнює:

$$\bar{v} = \frac{\psi^{s+1}}{S \cdot S! \left(1 - \frac{\psi}{S}\right)^2} P_0 \quad (4.104)$$

Середня кількість ПС, які знаходяться у черзі та в каналах на обслуговування, дорівнює:

$$\bar{n} = \bar{v} + \bar{i} = \sum_{n=0}^{\infty} n p_n = \bar{v} + \psi \quad (4.105)$$

Середня кількість незадіяних каналів у системі:

$$\bar{\rho} = S - \psi \quad (4.106)$$

У сталому режимі функціонування багатоканальної системи середня кількість ПС, які знаходяться у черзі, становить:

$$\bar{v} = q \cdot \bar{t}_f, \quad (4.107)$$

де \bar{t}_f - середній час перебування ПС у черзі на обслуговування, який відповідно становить величину:

$$\bar{t}_f = \frac{\bar{v}}{q} = \frac{\psi^S}{S \cdot S! \gamma \left(1 - \frac{\psi}{S}\right)^2} P_{0s}. \quad (4.108)$$

Якщо розглядати функціонування S -канальної системи на відрізку часу T , то середня кількість ПС, які будуть обслужені, становитиме величину qT . Тоді отримаємо:

$$t_{obs} = qT\bar{t}_f = qT \frac{\psi^2}{S \cdot S! \gamma \left(1 - \frac{\psi}{S}\right)^2} P_{0s}. \quad (4.109)$$

Визначимо час, який втрачають всі ПС у зоні в черзі на обслуговування при різних значеннях S на інтервалі T :

$$\begin{aligned} \text{при } S = 1 \quad t_{o_{ч1}} &= qT\bar{t}_{f1} = \frac{\psi^2 T}{(1-\psi)^2} P_{01} \quad ; \\ \text{при } S = 2 \quad t_{o_{ч2}} &= qT\bar{t}_{f2} = T \frac{\psi^3}{4 \left(1 - \frac{\psi}{2}\right)^2} P_{02} \quad ; \\ \text{при } S = 3 \quad t_{o_{ч3}} &= qT\bar{t}_{f3} = T \frac{\psi^4}{18 \left(1 - \frac{\psi}{3}\right)^2} P_{03} \quad ; \\ \text{при } S = 4 \quad t_{o_{ч4}} &= qT\bar{t}_{f4} = T \frac{\psi^5}{96 \left(1 - \frac{\psi}{4}\right)^2} P_{04}. \end{aligned} \quad (4.110)$$

В цих виразах P_{01} , P_{02} , P_{03} , P_{04} визначаються відповідно (4.58) при значеннях $S = 1; 2; 3; 4$.

Для кількості qT ПС необхідний час обслуговування S -канальною системою

спільного потоку дорівнює $\frac{qT}{S\gamma}$ на інтервалі T .

Час простою каналів обслуговування ПС відповідно дорівнює:

$$\begin{aligned}
 \text{при } S = 1 \quad t_{n1} &= T - \frac{qT}{\gamma} = T \left(1 - \frac{q}{\gamma} \right) ; \\
 t_{n2} &= 2T - \frac{qT}{\gamma} = 2T \left(1 - \frac{q}{2\gamma} \right) ; \\
 t_{n3} &= 3T - \frac{qT}{\gamma} = 3T \left(1 - \frac{q}{3\gamma} \right) ; \\
 t_{n4} &= 4T - \frac{qT}{\gamma} = 4T \left(1 - \frac{q}{4\gamma} \right) .
 \end{aligned} \quad (4.111)$$

У загальному випадку:

$$t_{ns} = ST \left(1 - \frac{q}{S\gamma} \right), \quad (4.112)$$

де t_{ns} - тривалість часу простою системи при наявності S-паралельних каналів обслуговування у зв'язку з відсутністю ПС.

Якщо вартість використання каналу в одиницю часу становить C_k , а вартість льотного часу ПС $C_{лч}$, то загальна вартість втраченого часу дорівнюватиме сумі втраченої вартості у зв'язку з незавантаженістю каналів $t_{ns} C_k$ и втраченої вартості у зв'язку з перебуванням ПС у зоні очікування $t_{оч4} C_{лч}$:

$$\begin{aligned}
 \text{при } S = 1 \quad B_1 &= t_{п1} C_K + t_{оч1} C_{лч} \\
 \text{при } S = 2 \quad B_2 &= t_{п2} C_K + t_{оч2} C_{лч} \\
 \text{при } S = 3 \quad B_3 &= t_{п3} C_K + t_{оч3} C_{лч} \\
 \text{при } S = 4 \quad B_4 &= t_{п4} C_K + t_{оч4} C_{лч} .
 \end{aligned} \quad (4.113)$$

У загальному випадку:

$$B_S = t_{ns} C_K + t_{очS} C_{лч} = ST C_k \left(1 - \frac{\psi}{S} \right) + \frac{\psi^{S=1}}{S \cdot S! \left(1 - \frac{\psi}{S} \right)^2} \left[\frac{\psi^S}{S! \left(1 - \frac{\psi}{S} \right)} + \sum_{i=0}^{S-1} \frac{\psi^i}{i!} \right]^{-1} C_{лч} T \quad (4.114)$$

Ця залежність має дискретний характер. Для визначення оптимальної з економічної точки зору кількості каналів (секторів) управління умовно

вважатимемо (4.114) як безперервну функцію. Тоді мінімум функції (4.114) визначається шляхом вирішення рівняння:

$$\frac{\partial B_S}{\partial S} = \frac{\partial}{\partial S} [t_{nS} C_R + t_{очS} C_{лч}] = 0 \quad (4.115)$$

відносно величини S . Отримане значення S_{opt} округлюється до найбільшого цілого значення, що може дещо погіршити показник вартості витрат, але сприятиме зменшенню часу очікування ПС початку обслуговування та безпеки польотів.

На рис. 4.12 зображена розрахована дискретна залежність економічно оптимальної кількості секторів управління від інтенсивності використання сектору ψ при значеннях параметрів:

$$T = 24 \text{ год}, \quad C_k = 10^3 \text{ грн}, \quad C_{лч} = 10^4 \text{ грн}, \quad \gamma = 50 \text{ год}^{-1}.$$

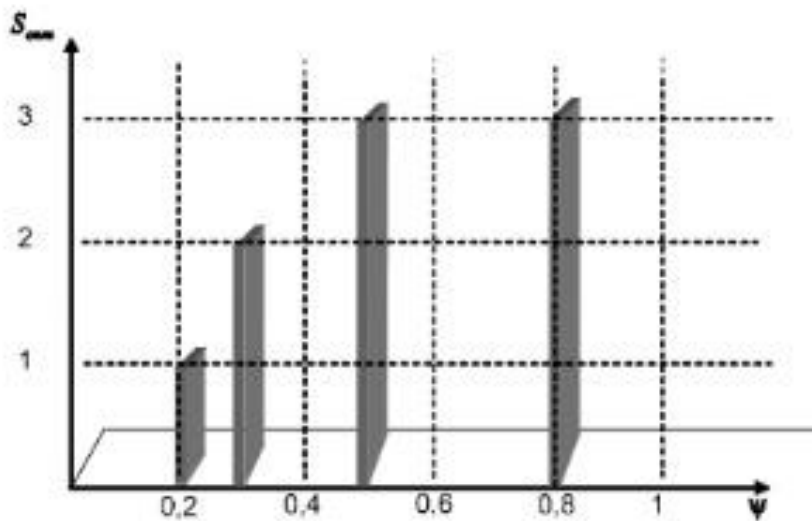


Рис 4.12 Залежність економічно оптимальної кількості секторів управління від інтенсивності використання сектору

4.3. Мониторинг опасных факторов - эффективное средство управления безопасностью полетов.

Питань забезпечення безпеки польотів приділялася серйозна увага протягом усього періоду існування авіаційно-транспортної системи, і зараз під особливою увагою знаходяться всі її підсистеми, до яких в першу чергу ми відносимо систему організації повітряного руху та систему управління безпекою польотів. Система організації повітряного руху (ОрПР) є ключовою підсистемою авіаційно транспортної системи, одним з основних взаємодіючих елементів, вплив якого на забезпечення безпеки польотів повітряних суден не викликає сумніву.

Нові вимоги до нагляду за безпекою польотів при ОрПР, які впроваджуються в Україні, змушують не тільки дотримуватися вимог ІКАО та Євроконтролю (Дос 9859, Essar 1-5) на і шукати власні шляхи якісної зміни всієї діяльності пов'язаної з наглядом за безпекою польотів у системі організації повітряного руху. Впровадження положення про нагляд за безпекою польотів у системі ОрПР певним чином упорядкував заходи і визначило кошти, які впроваджуються і використовуються для нагляду за безпекою польотів. Створення і використання системи управління безпекою польотів як засоби нагляду за процесами при ОрПР певним чином сприяє підтримці встановленого рівня безпеки польотів.

Система управління безпекою польотів - системний і чіткий під-хід, який визначає діяльність організації, спрямовану на управління безпекою польотів з метою досягнення нею прийнятного рівня (1). Функціонування елементів системи управління безпекою польотів при ОрПР в загальному контексті процесів авіаційної діяльності, необхідно розглядати як підсистему авіаційно транспортної системи забезпечує запобігання авіаційних подій та інцидентів. Загальні принципи управління безпекою польотів у системі організації повітряного руху базуються на трьох підходах, міжнародною організацією цивільної авіації (ІКАО), а саме, реактивний, проактивний і прогнозований.

Основне завдання впливає з актуального питання - якою має бути система управління безпекою польотів? Але для того, щоб відповісти на це питання необхідно провести ряд організаційних заходів з виявлення небезпечних факторів і оцінки ризиків, визначити рівні безпеки системи ОрПР, впроваджувати і використовувати відповідні підходи і заходи для нагляду за її функціонуванням. По-перше, вони повинні бути цілеспрямованими і систематичними, по-друге зрозумілими для всього персоналу. Багато чого можна виправити і поліпшити, але для цього необхідно мати всю інформацію про стан системи.

У процесі обслуговування повітряного руху існують внут-ренні і зовнішні фактори ризику, у вигляді потенційних загроз і небезпечно-стей. наприклад помилки екіпажу і диспетчера в сприйняття інформації, неправильні дії авіаційного персоналу. Внаслідок певного збігу обставин потенційні загрози і небезпеки можуть реалізуватися у вигляді небезпечних ситуацій. Для реалізації превентивних заходів, спрямованих на попередження АП та інцидентів необхідно виявляти небезпечні ситуації. Ідентифікація загроз і небезпек - це принципи управління безпекою польотів. Провайдер аеронавігаційних послуг повинен детально аналізувати свою діяльність і визначити наявність загроз і небезпек, факторів небезпечностей, їх ймовірний вплив на безпеку польотів, визначити ті події потребують першочергової уваги та вжиття відповідних заходів. Події, що викликають негативний вплив на безпечне виконання та обслуговування польотів повітряних суден відносяться до категорії характеристик безпеки польотів (показники безпеки).

При виконанні польотів випадки порушення експлуатаційних вимог авіаційним персоналом, продовження заходу на посадку нижче безпечної висоти при відсутності візуального контакту з землею, помилки при експлуатації бортового обладнання, невиконання вказівок диспетчера.

Для того, щоб відбулося АП чи інцидент потрібен цілий комплекс сприяючих обставин і умов як об'єктивного так і суб'єктивного характеру. Умовами

виникнення АП або інциденту буде практична діяльність авіаційного фахівця (людський фактор) та умов навколишнього середовища, одні виникають поступово, інші раптово. І тільки при наявності всієї сукупності небезпечних факторів утворюється причина АП, а з неї в якості наслідків виникає саме АП чи інцидент. Необхідно мати на увазі те, що можливість виникнення АП це ще не його причина. Безумовно, якщо є причина то обов'язково буде слідство впливає з тієї причини, але якщо існують окремі умови для виникнення АП, то це тільки можливість і вона не обов'язково з необхідністю призводить до виникнення АП.

Можливість виникнення АП вже існує в тому випадку, коли є хоча б одна умова або декілька умов для виникнення АП. Причина виникнення АП з'являється тільки в тому випадку, коли існують повністю всі умови і обставини для його виникнення і в кінцевому підсумку призводять до певних негативних наслідків.

Очевидно що чим більше є умов для виникнення АП або чим вони істотніше тим вище ступінь можливості АП (ймовірність).

Побачити реальні можливості виникнення АП та запобігти перетворенню ці можливості в дійсність в цьому полягає прогностичний метод управління безпекою польотів.

Діяльність системи управління безпекою польотів є координуючої і поширюється на всю авіаційну систему і гарантує при дотриманні певних вимог у сфері безпеки польотів досягнення прийнятних рівнів характеристик безпеки польотів. Важливою особливістю виникнення авіаційних подій та інцидентів є їх випадковий і імовірнісний характер. У будь-який момент часу АТС в цілому, так і кожна її підсистема знаходяться в конкретних умовах, які постійно змінюються під впливом низки небезпечних факторів. Виявлення їх негативного впливу на елементи системи ОрПР на ранньому етапі головне завдання проактивного підходу в управлінні безпекою польотів.

Призначенням проактивного підходу управління безпекою польотів, зокрема, є

визначення небезпек і загроз безпеки польотів до того, як виникла АП або Інцидент. Важливу роль для одержання й аналізу інформації про небезпечні фактори негативно впливають на функціонування елементів системи ОрПР при використанні проактивного підходу відводиться системної методології, системного підходу, факторному аналізу. Використання системного підходу для встановлення загроз і небезпек безпеки польотів в системі ОрПР полягає в необхідності аналізу функціонування не тільки всіх об'єктів, а й взаємодії і взаємозв'язків їх частин.

Системний підхід в управлінні безпекою польотів передбачає впровадження і використання системного аналізу з метою виявлення системних факторів небезпек, загроз, ризику небезпек, які перешкоджають нормальному функціонуванню системи організації повітряного руху. Для цього необхідно визначити перелік небезпечних або негативних факторів, які породжують небезпеку і призводять до обставин, які можуть стати причиною особливих ситуацій у польоті, катастрофи, аварії, інциденту т.д ..

Наступним кроком у цій діяльності буде збір і аналіз небезпечних факторів, іншими словами моніторинг стану безпеки польотів .. Тільки з використанням моніторингу як ефективного засобу нагляду за безпекою польотів можна виконати серйозний аналіз поточного (фактичного) рівня безпеки польотів і зробити з досить високою ступенем вірогідності прогноз на майбутнє. Моніторинг - це система організації збору, зберігання, обробки, поширення інформації про діяльність органів ОВС та їх підрозділів, забезпечення безперервного спостереження за рівнем безпеки польотів та прогнозування його динаміки. Завдання моніторингу полягає в безперервному виявленні причин які можуть призвести до порушення і небезпечних факторів, які можуть негативно вплинути на функціонування будь-якого елементу системи ОрПР, виявляти і враховувати всі випадкові явища і процеси для того щоб система могла безпечно працювати і протидіяти загрозам і небезпекам.

Як було зазначено вище, виникнення авіаційних подій та інцидентів має

випадковий і імовірнісний характер, тому, що пов'язано з великою кількістю найрізноманітніших небезпечних факторів. Основними з яких є:

а) складні метеорологічні умови (погана відімість, низька хмарність, опади, туман, гроза, ожеледь, обмерзання, здвиг вітру і т.д.);

б) стан аеродрому (стан перону, руліжних доріжок, злітно посадкової смуги, технічний стан маркувальних вогнів, і т.п.).

в) стан радіотехнічних засобів забезпечення польотів (терміни експлуатації і придатності; своєчасність проходження технічних оглядів та відповідних регламентів тощо);

г) стан авіаційного персоналу (стать і вік; стаж роботи, наявність діагнозу, хвороби, побутовий рівень і т.д.).

Різні комбінації цих факторів визначають вірогідність появи авіаційної події або інциденту. Кожна особлива ситуація виникає при виконанні польотів та обслуговуванні повітряного руху співвідноситься з певним рівнем небезпеки і ризику. Тобто з'являється ризик.

Використовуючи матрицю ризиків, оцінивши клас і категорію події, можна визначити ступінь ризику, проектуючи параметри події на осі матриць.

Прогнозовані рівні ризикових ситуацій (інциденти і події), можуть відбутися в процесі експлуатації, якщо не буде здійснено комплекс заходів щодо скорочення кількості потенційних подій надалі.

Прогнозовані рівні ризикових ситуацій, в основному пов'язані з порушеннями технології роботи персоналом, що здійснює технічне і комерційне обслуговування авіаційної техніки. Більшість таких подій ставитися до страхових випадків.

Новизна методу і алгоритмів керування

- Фундаментальним елементом ефективної системи управління безпекою є розробка процесу управління ризиками;

- Ризики оцінюються за допомогою матриці аналізу ризиків, що відрізняється від відомих тим, що виведена формула індикаторів ризику та розроблені спеціальні портфелі матриць;
- У структуру матриці введена спеціальна колонка потенціальних подій, які не кваліфікуються як інциденти і події;
- Колонка потенційних подій матриці дозволяє наочно провести аналіз небезпечних факторів, пов'язаних з безпечними операціями на ЗПС;
- Даний аналіз може також бути використаний як приклад процесу для оцінки будь-яких типів ризиків у різних експлуатаційних областях.

Як зазначено в документі (1) ризик - комбінація повної ймовірності або частоти події з негативним ефектом обумовлена безпекою, або серйозність цього ефекту. Небезпечні фактори ініціюють зміну ситуації можуть відбуватися не тільки в нормальній, але і в кожній особливій ситуації. Виняток становить катастрофічна ситуація, з якої виходу немає. Перехід в катастрофічну ситуацію може відбуватися, як з нормальною так і з кожної особливій ситуації. За частотою виникнення особливій ситуації діляться на:

повторювані;

помірно

ймовірні;

малоймовірні;

вкрай малоймовірні і

практично неймовірні.

Для кількісної оцінки ймовірності виникнення особливих ситуацій використовуються значення ймовірностей, які стосуються або однієї години польоту, або одного польоту в залежності від характеру події, розглядається:

Для повторюваних ситуацій - більш 10-3;

Для помірно ймовірних - 10-310-5;

Для малої ймовірних - 10-510-7;

Для вкрай малої ймовірних - 10-710-9;

Для практично неможливих - менш 10-9.

Виходячи з викладеного можна зробити наступний висновок.

Постійний моніторинг дозволить аналізувати і відстежувати відхилення в авіаційній діяльності від вимог нормативних документів і таким чином визначати рівень безпеки польотів. Об'єктами моніторингу є всі компоненти системи ОрПП (персонал, процедури, стан техніки, організація повітряного простору і т.д.). Використання системного аналізу при дослідженні функціонування системи організації повітряного руху полягає у вирішенні низки завдань, а саме:

- Аналіз інформаційних потоків в системі організації повітряного руху;
- Виявлення джерел невизначеності у забезпеченні польотів, експлуатації аеродромів і радіотехнічних засобів, організації повітряного руху;
- Виявлення та класифікація джерел ризику в системі організації повітряного руху;

ІСАО рекомендує щоб впровадження СУБП, схваленої державою, яка, як мінімум, забезпечувала виявлення фактичних і потенційних загроз безпеці; гарантії прийняття коригуючих заходів по зменшенню ризику / небезпеки; безперервний моніторинг і регулярну оцінку досягнутого рівня БП «СУБП повинна визначати відповідні сфери відповідальності, в тому числі пряму відповідальність старших менеджерів за забезпечення БП». На рис. 2 показані вимоги до системи управління безпекою. Наглядний повноважний орган і експлуатант погоджують прийнятний рівень безпеки, який має бути досягнутий у рамках СУБП експлуатанта і одним з елементів (показників) якого (але не

єдиним) є: 0.5 пригод з людськими жертвами на 100 000 польотів; зниження цього показника на 40% за 5 років (заданий рівень безпеки) [1,2].

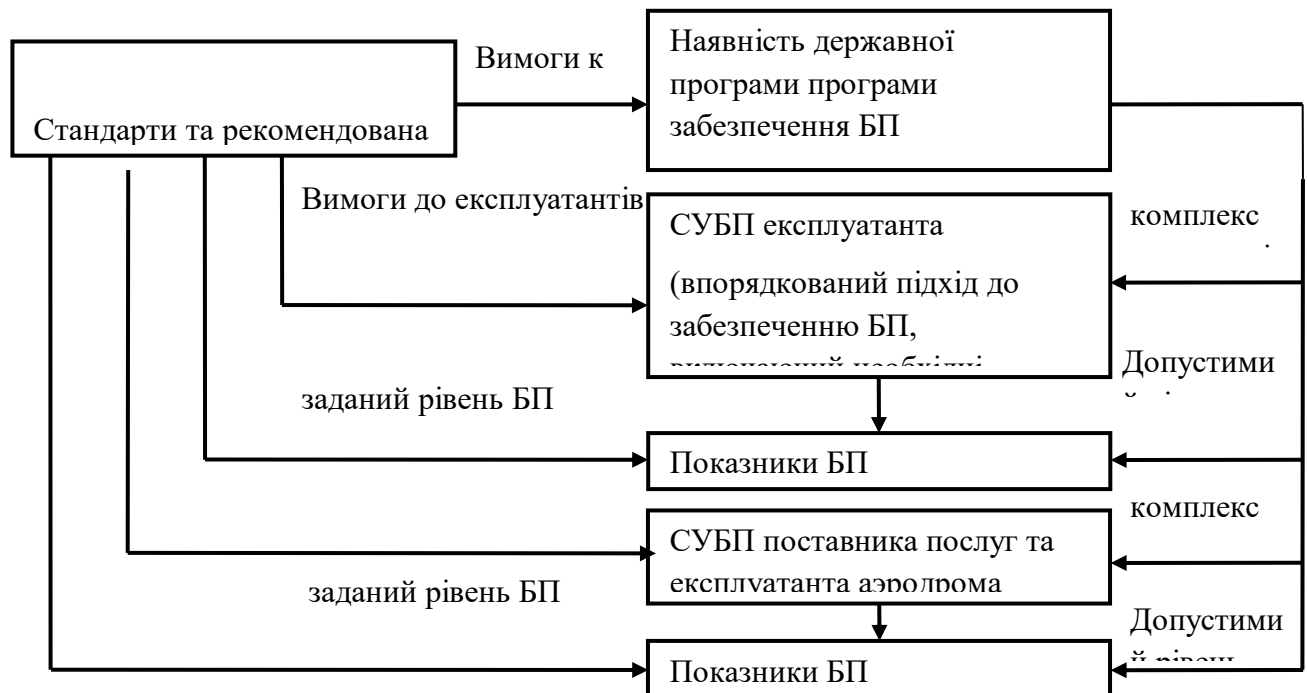


Рисунок 2 – Вимоги ІСАО до систем управління безпекою польотів

Таким чином спираючись на вищевикладене автори пропонують поєднати ретроактивну та проактивну методику управління БП, яка дозволить більш дієво здійснювати збір інформації по БП від внутрішніх і зовнішніх джерел; виявлення факторів ризику до настання авіаційних подій з прийняттям заходів щодо зниження впливу ризику; плюс в перспективі апріорне приватне і сумарне кількісне оцінювання ризику авіаційної події в майбутніх польотах і порівняння його з заданим рівнем БП; плюс синтез цільових оптимізованих заходів щодо зниження ризику авіаційної події в майбутніх польотах до прийнятного. Оцінку ефективності по управлінню БП визначимо наступним чином

X_i	$\Delta P_{БПi}$	ΔC_i	\mathcal{E}_i	R_i
X_1	$\Delta P_{БП1}$	ΔC_1	\mathcal{E}_1	R_1
X_2	ΔP_2	ΔC_2	\mathcal{E}_2	R_2

X_3	$\Delta P_{БП3}$	ΔC_3	\mathcal{E}_3	R_3
...
X_i	$\Delta P_{БПi}$	ΔC_i	\mathcal{E}_i	R_i
...
X_{n-1}	$\Delta P_{БПn-1}$	ΔC_{n-1}	\mathcal{E}_{n-1}	R_{n-1}
X_n	$\Delta P_{БПn}$	ΔC_n	\mathcal{E}_n	R_n

де X_i – набір управлінських рішень, $\Delta P_{БПi}$ прирощення вірогідності безпечного польоту, яке обумовлене дією управлінських рішень X_i , ΔC_i - вартість заходів необхідних для

реалізації управлінських рішень X_i , \mathcal{E}_i ефективність X_i набору заходів, R_i - ранг X_i набору заходів

Ефективність згідно з термінологією ISO 9000:2000 – зв'язок між

досягнутим результатом та використаними ресурсами $\mathcal{E} = \frac{\Delta P_{БП}}{\Delta C_{БП}}$ критерій

$\max_i = \frac{\Delta P_{БП}}{\Delta C_{БП}}$ обмеження $\Delta P_{БПi} \triangleright P_{БПуст} - P_{БПтек} /$ Нижче на блок схемі (рис. 3) на основі [1] розробленою авторами наведена система управління БА та підтримка якості БП на припустимому рівні.

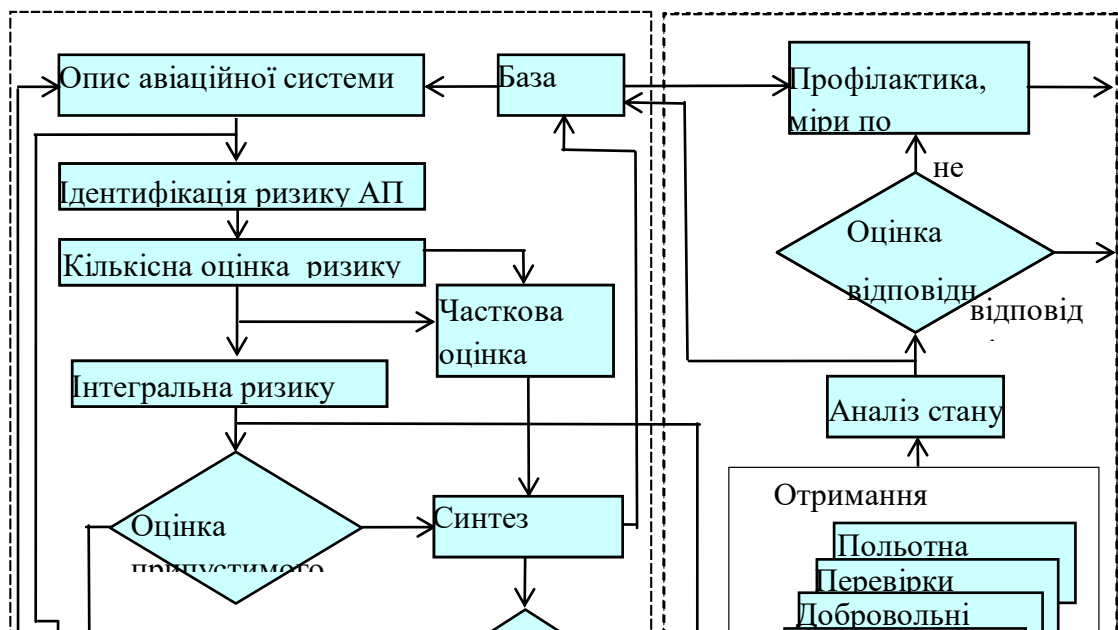


Рисунок 3 – Система управління безпекою польотів та підтримка її якості на припустимому рівні

4.4. Ефективність навігаційних систем для вирішення локальних проблем охорони довкілля навколо аеропортів

Серед експлуатаційних прийомів зниження і заходу на посадку одним з найбільш перспективних є зниження перед посадкою з постійним градієнтом (Continuous Descent Approach - CDA) [2]. Його запровадження потребує розв'язання ряду таких питань, як: пропускна спроможність повітряного руху, експлуатаційні обмеження і обмеження при УПР, погодні умови, обмеження аеропортів, робоче навантаження на екіпаж, інформованість, підготовка і досвід кадрів, характеристики ПК і двигунів, правила і вимоги безпеки польотів. Градієнти траєкторій зниження перед посадкою, вищі від звичайних, наприклад, від кута нахилу глісади -30 , дозволяють ослабити дію авіаційного шуму шляхом використання великих, на відміну від звичайних, абсолютних висот початку заходу на посадку і захвату глісади системи посадки по приладах (ILS) на більшій висоті.

Принцип методів зниженої тяги/зменшеного аеродинамічного опору полягає в затримці, наскільки це можливо, випуску закрилків і посадочного положення шасі з урахуванням встановленої органом УПР швидкості, запасу висоти і безпеки польотів. Ці методи полягають в зміні тяги двигуна, що обумовлена змінами в аеродинамічній конфігурації ПК, тобто менший аеродинамічний опір обумовлює менші значення тяги і відповідно менші рівні шуму під траєкторією.

Задача оптимізації параметрів траєкторії польоту ПК з метою зменшення шуму і викидів забруднюючих речовин (ЗР) протягом етапів зниження і заходу на посадку є складною, тому що обмеження на параметри управління і фазові змінні траєкторії польоту в цьому випадку жорсткіші, а область допустимих рішень менша. Обмеження для процедур зниження літака перед посадкою мають наступні значення:

$\delta = \delta_{\text{зл}}$ для $H \leq H_{\text{гліс}}$;

$$\delta = \delta_{\text{пос}} \text{ для } H \leq H_{\text{пос}}; \quad (1)$$

$$\Theta_{\text{max}} \geq \Theta \geq \Theta_{\text{min}}$$

де $\delta_{\text{пос}}$ - положення закрилків для посадочної аеродинамічної конфігурації літака, що вимагається з умов безпеки польотів уздовж траєкторії нижче від висоти $H_{\text{пос}}$; $\delta_{\text{зл}}$ - проміжне положення закрилків, що вимагається з умов безпеки польотів між висотою входу в глісаду $H_{\text{гліс}}$ і безпечною висотою $H_{\text{пос}}$.

При зниженні літака по глісаді параметри польоту зберігають приблизно постійне значення, тому величину площі контуру шуму S можна визначити використовуючи просту формулу [xx]:

$$S = \frac{\pi R_N^2}{2 \sin|\Theta|}, \quad (3)$$

де R_N - поточне значення радіусу шуму, що є відстанню, на якій спостерігається вишукуваний рівень шуму.

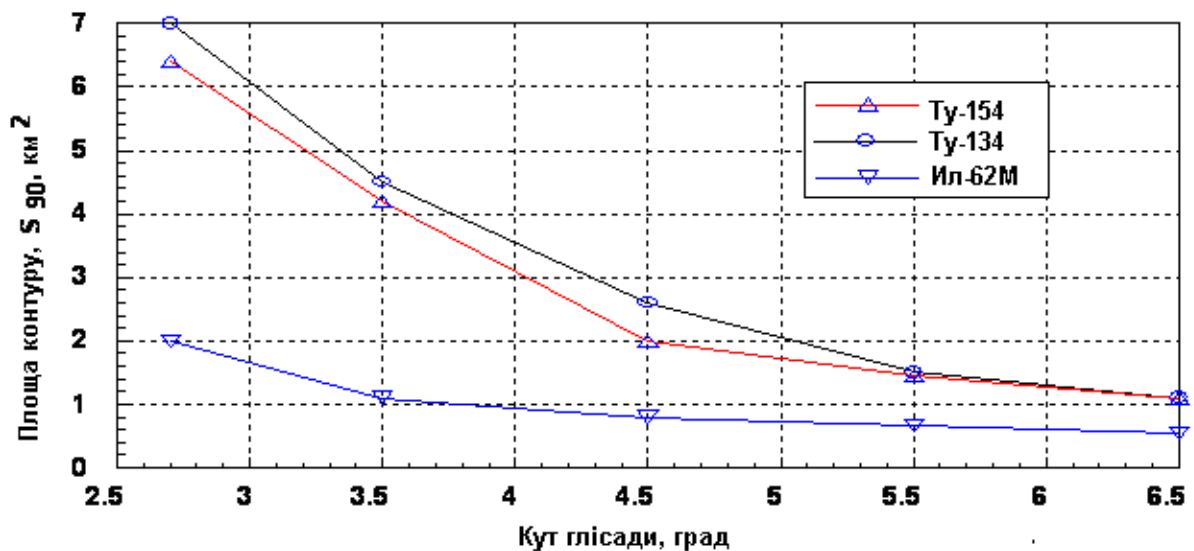
Як критерії рішення задачі розглядаються критерії типу ефективного сприймаемого рівня шуму EPNL в контрольній точці на відстані 2 км до порогу ЗПС. Аналіз екологічних характеристик ПК здійснювався для діапазону висот польоту, що визначається розташуванням передпосадкової глісади зниження, оскільки він є таким, що повністю обумовлює рівні шкідливого впливу ПК при зниженні перед посадкою.

Аналіз формули (3) показує, що зменшення площі шуму під траєкторією зниження літака можна досягнути за рахунок збільшення кута нахилу глісади, зміни аеродинамічної конфігурації літака (що дозволяє зменшити потрібну тягу двигунів і відповідно шум силової установки ПК, а також зменшити рівні шуму обтікання елементів конструкції планера), збільшення швидкості заходу на посадку.

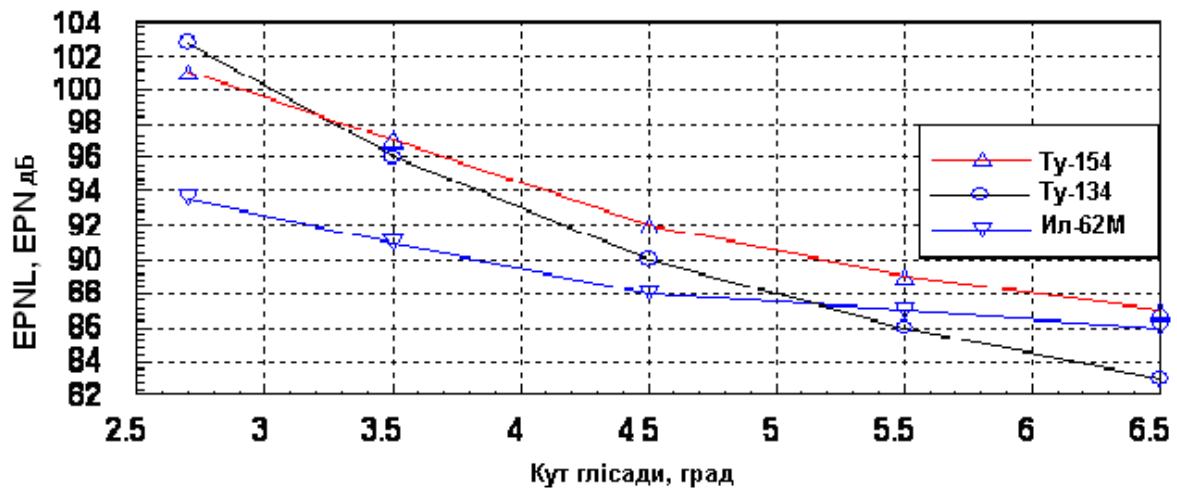
В умовах польотної експлуатації ПК значення кута нахилу глісади встановлюється конкретно для кожного аеропорту в межах $-2...-40$ [6]. Діапазон

досліджуваних значень кутів нахилу глісади при рішенні задачі був обраний між $-2\dots-60$. Збільшення кута нахилу глісади обумовлює зростання вертикальної швидкості зниження, до 5 м/с і більше, а потрібне значення тяги знижується до мінімальних значень. Наслідком збільшення кута нахилу глісади є зменшення потрібної тяги двигуна, збільшення висоти прольоту літака над контрольною точкою, зниження часу виконання етапу. В результаті виконаних розрахунків визначено, що максимальний кут нахилу глісади забезпечує мінімальні значення критеріїв дії на НПС для всіх типів літаків - рис. 1.

Збільшення кута нахилу глісади до величини 60 в порівнянні з польотом літака на глісаді $2,70$ (відповідає найбільш поширеному значенню в умовах експлуатації) забезпечує зниження досліджуваних критеріїв: площі контуру шуму 90EPNдБ - до 80% , еквівалентної маси викиду 3В - від 30 до 75% (залежно від типу літака), рівня шуму в контрольній точці - від 6EPNдБ для літаків з низькою тягоозброєністю до 13EPNдБ для літака з високою тягоозброєністю, витрат палива - на $65-80\%$.



(a)



(б)

Рис. 1. Залежності критеріїв шуму від кута нахилу глісади на етапах зниження літаків з двигунами з низьким ступенем двоконтурності: а) для площі контуру шуму 90EPNдБ; б) для рівня шуму EPNL

Приведені вище результати дослідження оптимальних режимів пілотування ПК при зниженні перед посадкою відносяться до ділянок траєкторій, розташованих на відстані 10-12 км від порогу ЗПС. Розглянуті ділянки визначають повністю контур шуму 90 EPNдБ і до 60% сумарної еквівалентної маси викидів ЗВ Мекв (для етапу зниження з висоти 915 м):

$$M_{\text{экв}} = c_{\text{CO}}M_{\text{CO}} + c_{\text{CH}}M_{\text{CH}} + c_{\text{NOx}}M_{\text{NOx}},$$

де вагові множники c_{CO} , c_{CH} , c_{NOx} визначені в залежності від значень гранично-допустимих концентрацій для досліджуваних ЗР: 0,027, 0,016, 0,957 відповідно CO, CH та NOx.

Близько 40% Мекв утворюється протягом передпосадкового горизонтального польоту ПК на висоті "круга". Існує необхідність зниження шкідливої дії і на великих відстанях ПК від ЗПС. Виконані дослідження зменшення рівнів АШ і викидів ЗВ на відстанях до 20 км від порогу ЗПС, результати досліджень наводяться на прикладі літака з двигунами з низьким ступенем двоконтурності.

В умовах льотної експлуатації випуск шасі і закрилків ПК, зменшення

швидкості польоту до регламентованих значень заходу на посадку здійснюється на висоті 400-600 м на відстані 8-20 км від порогу ЗПС. Режим роботи двигунів на горизонтальних ділянках польоту ПК (по «кругу») є вищим, ніж при польоті із зниженням по глісаді (наприклад, для літака типу Ту-154М використовується режим 0,7 номінального [7]), і рівні шуму під траєкторією горизонтального польоту знаходяться в межах 80-95 ЕРНдБ (залежно від типу літака і його посадкової маси).

Прийом пілотування літака перед посадкою при значенні висоти круга $H_{кр} = 600$ м прийнятий за базовий в проведених дослідженнях. Найбільш простий прийом зниження рівнів шуму порівняно з базовою траєкторією є захоплення літаком глісади на більшій висоті. Так, наприклад, для $H_{кр} = 900$ м і за умови, що посадочна конфігурація для літака повністю встановлюється на висот $H_{кр}$, а подальше зниження літака здійснюється стаціонарно ($v = 1,3v_S$), рівні шуму під траєкторією польоту літака зменшуються на 6...8 ЕРНдБ. Сумарна еквівалентна маса зменшується на 5-10%. Але контур шуму S80 (EPNL=80 ЕРНдБ) стає в цьому випадку нерозривним і обмежує велику поверхню порівняно з початковим варіантом.

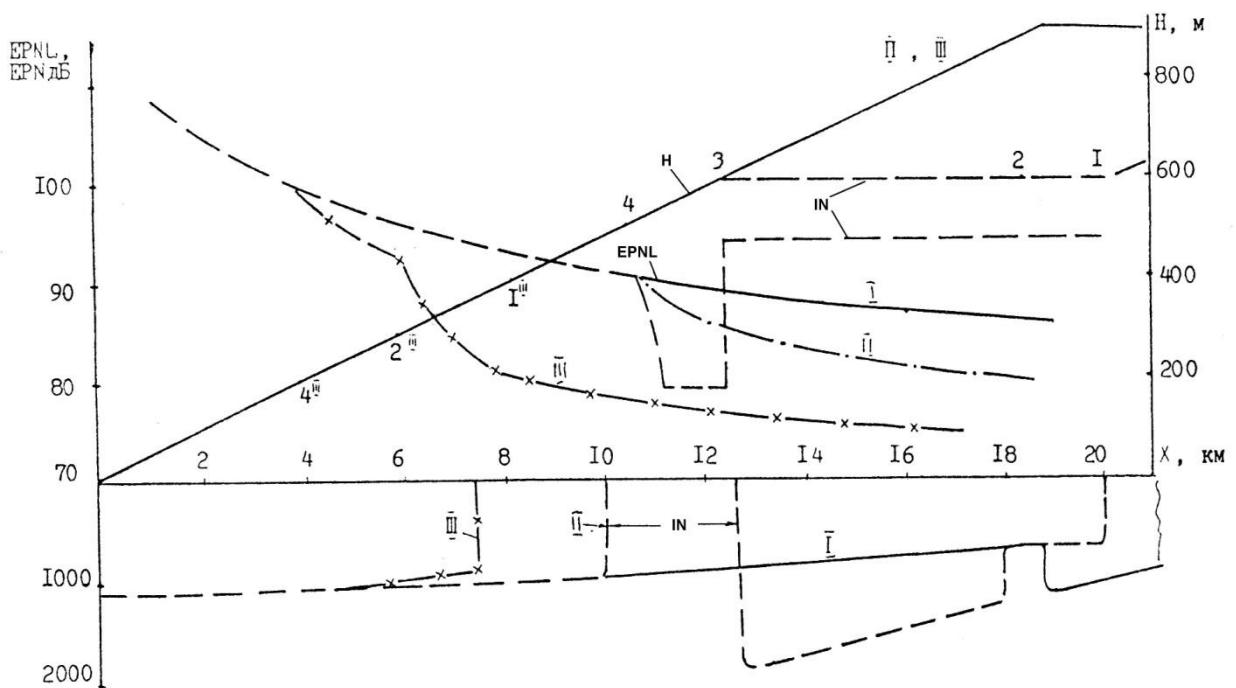


Рис. 2 Порівняння ефективності прийомів зниження перед посадкою

Результати досліджень показали, що зниження літака в польотній конфігурації до висоти 400м і подальшим випуском закрилків в положення посадочної аеродинамічної конфігурації на відрізку траєкторії між висотами 400 і 200 м дозволяє зменшити рівні шуму під траєкторією до 20 EPNдБ (рис. 4, траєкторія і характеристики шуму позначені III), а площа контуру шуму S80 зменшується на 60-65%, площа контуру шуму S90 зменшується на 25%, еквівалентна маса викиду ЗВ - на 50-55%. Отримані результати мають велике значення для обґрунтування рекомендацій зниження еквівалентного рівня звуку в точці або в зоні контролю шуму.

Висновки

Результатами процедури оптимізації управління рівнем БП за критерієм ефективності досягається повна відповідність компанії вимогам IOSA вид. 6 (2012 р.) в тому числі:

Реалізація активної стратегії превентивного управління рівнем БП.

Встановлення рівня БП, як цілі корпоративної СУБП за відсутності прийняттого рівня БП в державі.

Моніторинг поточного рівня БП в реальному масштабі часу

Виявлення тенденцій у зміні рівня БП до того, як відбуваються АП.

Прогнозування рівня БП на майбутній період експлуатації.

Завчасне планування цільових регулюючих впливів і витрат на їх реалізацію.

Виключення навіть короточасного перевищення встановленого рівня аварійності.

Оцінювання не тільки результативності, а й ефективності управління БП.

Мінімізація дилеми між прибутковістю і безпекою комерційних польотів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі сформульована задача створення методів розвитку ефективного УБП. Для її вирішення розроблено й реалізовано науково-обґрунтовані методологічні питання створення і застосування методу УБП, який складається з математичних моделей та алгоритмів складних систем і процесів.

У результаті:

1. Вирішено задачу щодо здійснення аналізу, систематизації та узагальнення проблем і методів УБП в аеронавігаційній системі України.

2. Розроблено комплекс математичних моделей УБП, а саме:

- багатофакторну модель ризику виникнення АП, яка дозволяє виконувати:
 - моніторинг ризику за кожним типом ПС з урахуванням кількості виконаних польотів за оцінюваний період;
 - за результатами льотної роботи або після кожного розслідування АП кількісно оцінювати ступінь зміни ризику АП;
 - прогнозування ризику виникнення АП (за вибраною статистикою АП або за результатами експертного прогнозування АП);
 - періодичне уточнення результатів прогнозування ризику АП в процесі експлуатації у міру нагромадження нових статистичних даних.

– Імовірнісну модель керування ФР, що дозволяє синтезувати алгоритми оцінювання РБП та визначити шляхи підвищення РБП через керування параметрами P_- та P_+ у тому числі:

- вилучення факторів ризику АП або мінімізація їх прояву в польоті;
 - включення факторів, що попереджують імовірність розвитку ОС.
- нейронно-мережеву модель автоматизованого УБП, яка дозволяє ефективно вирішувати задачу синтезу виникнення ризику АП та видавати вектор керуючих сигналів мережі про неповну та спотворену інформацію про явища, події та процеси, які впливають на БП.

3. Здійснено комплексне розроблення теоретичного базису та методологічних принципів побудови АСУБП на основі застосування нейронно-мережевих технологій і елементів штучного інтелекту для впровадження корпоративних АСУБП, з можливістю забезпечити:

- об'єктивність оперативної оцінки ризику виникнення АП;
- діагностику компонентів підвищеного ризику АП;
- синтез варіантів УР зі зниження ризику АП до допустимого рівня;

Список використаних джерел

1. Автоматизированная система документирования технического состояния ВС. М.: МАК. 2005.- 150с.
2. Атанов Г.А. Обучение и искусственный интеллект, или Основы современной дидактики высшей школы /Г.А. Атанов, И.Н. Пустынникова //Изд-во ДОУ. – Донецьк. 2002. – 504 с.

3. Алексеев О.Н. Рассмотрение причин авиационных происшествий связанных с человеческим фактором в системе ОВД./ О.Н. Алексеев // – Наукові праці академії, Кіровоград, 2003, вип. 7, ч. 1. – С. 203-207.
4. Аль-Аммори Али Анализ путей перехода от системной к процессной эффективности перспективных информационно управляющих систем воздушных судов нового поколения / Аль-Аммори Али. Проблемы безопасности полетов. М.: ВИНТИ. 2007. – 51с.
5. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок. 2-е изд / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Статистика. 1980.263 с.
6. Блумберг В.А. Какое решение лучше? Метод расстановки приоритетов. / В.А. Блумберг В.Ф. Глущенко. Л.: Лениздат. 1982. 162с.
7. Борисов А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н.Борисов, А.В. Алексеев Г.В.Меркурьев. – М.: Радио и связь. 1989. 304с.
8. Борисов А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига: Знание, 1990. – 184с.
9. Гузий А.Г. Методология активного управления уровнем безопасности предстоящих полетов в авиакомпании. / А.Г. Гузий, В.В. Онуфриенко // Труды общества независимых исследователей авиационных происшествий (выпуск 17) – М., 2005. – С. 52-62.
10. Давиденко М.Ф. Концепція Державної цільової програми безпеки польотів на період до 2015 року. / О.М. Алексеев, М.О. Яцков, М.М. Лисов, О.М. Алексеев, О.В. Печенюк, М.М. Балинец. – К.: Державіаадміністрації, 2009. – 7 с.
11. Змитрович А.И. Базы данных: / Змитрович А.И. Учеб. пособие для вузов Мн.: Университетское. – 1991. – 271с.
12. Зубков Б.В. Безопасность полетов / Б.В.Зубков. Учебное пособие. – К.: КИИГА, 1983. - 84с.

13. Зубков Б.В. Безопасность полетов. Часть II. Обеспечение и поддержание ЛГ ВС / Б.В. Зубков, Р.В. Сакач, В.А. Костиков. Учебное пособие, М.: МГТУ ГА. – 2007. – 76с.
14. Луппо А.Е. Проблемы формирования профессиональной надежности диспетчерского состава системы обслуживания воздушного движения /А.Е. Луппо, О.М. Алексеев // IV МНТК «Авіа 2002» 23-25 квітня 2002. – К. : 2002. – С. 21.29–21.31.
15. Луппо А.Е. Пути преодоления критических ситуаций в профессиональной деятельности авиадиспетчера / А.Е. Луппо О.Н. Алексеев Аерокосмічні системи моніторингу та керування. // Матеріали V міжнародної науково-
16. Луппо А.Е. Нові підходи до класифікації причин авіаційних подій та інцидентів, як ефективний засіб підвищення безпеки польотів / А.Е. Луппо, О.Н. Алексеев // Вісн. НАУ № 3-4 (33). 2007 – С. 20-23.
17. Луппо А.Е. Проблемы диагностики и совершенствования профессионально-важных качеств диспетчеров управления воздушным движением / А.Е. Луппо, О.Н. Алексеев – ГЛАУ.// Наукові праці академії, Кіровоград 2002, вип. IV ч. 1 – С. 194-2002.
18. Алексеев О.М. Визначення прихованих причин походження помилок виникаючих в професійній діяльності авіаційних операторів / А.Е. Луппо, О.Н. Алексеев. // Вісн. НАУ. №3(25). 2005 – С. 54-56.
19. Михалик Н.Ф. Проблема эксплуатации воздушных судов в экстремальных условиях. Постановка задачи. Труды общества исследователей авиационных происшествий (Вып. 16) / Н.Ф. Михалик, Р.М. Джафарзаде, А.В. Малишевский – М.: Полиграф, 2004. – 416с.
20. Организация взаимодействия человека с техническими средствами АСУ. Кн. 7. Системное проектирование взаимодействия человека с техническими средствами: Практ. Пособие /В.М. Гасов, А.В. Меньков, Л.А. Соломонов; - М.: Высш. Шк., 1991. – 142с.
21. Орлик С. Секреты Delphi на примерах /С. Орлик - М.:Бином, 1996 - 316с.

22. Осташкевич В.А. Общий подход к количественной оценке безопасности полетов. / В.А.Осташкевич // Проблемы безопасности полетов. Информационный сб. №9-2006 -М.: ВИНТИ, 2006 – 45с.
23. Положення про систему управління безпекою польотів з цивільними повітряними суднами України / Міністерство транспорту України. К.: – 2006. – 80с.
24. Рева О.М. Прапори катастроф в етіології авіаційних подій / О.М. Рева, О.М. Медведенко, М.Ф. Михайлік // Вісник НАУ: Наук. ж. – К.: НАУ, 2008. – № 3.– С. 99-107.
25. Рева О.М. Проактивне управління ризиками за людським фактором у цивільній авіації /О.М. Рева, С.І. Осадчий, О.М. Медведенко, Ю.М. Фоменко // Залізничний транспорт України: Наук.-практ. Ж., 2008 №6. - 54-59с.
26. Руководство по предотвращению авиационных происшествий Doc 9422-AN/923. – ИКАО. 1984. – 539с.
27. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) (Doc 9859 AN/460). ИКАО. 2006. – 355 с.
28. Харченко В.П. Некоторые аспекты установления системы менеджмента безопасности в гражданской авиации Украины / В.П. Харченко, А.Е. Луппо, О.Н. Алексеев. Проблемы інформатизації та управління // Зб. наук. праць. 2007, вип. 1(19). – С. 148-154.
29. Харченко В.П. Інтеграція засобів діагностики, прогнозування і управління рівнем безпеки польотів / В.П. Харченко, А.Е. Луппо, О.Н. Алексеев // Вісн. НАУ. № 2 (32), 2007. – С. 43-49.
30. Харченко В.П. Проблемы развития и методы управления эффективностью систем аэронавигационного обеспечения / В.П. Харченко // дисс.... Доктора техн.. наук: 05.22.13. – К.: 1994. – 448с.
31. Швец В.А. Анализ состояния аварийности гражданских воздушных судов Украины за период 1998–2007 гг. Госавиаадминистрация / В.А. Швец, О.Н. Алексеев. 2008. – 83 с.
32. Швец В.А. Информационные бюллетни о тяжелых авиационных происшествиях с иностранными воздушными судами, произошедшими на

- территории Украины Госавиаадминистрация / В.А. Швец, О.Н. Алексеев. 2009. – 83 с.
33. Энциклопедия безопасности авиации /Н.С. Кулик, В.П.Харченко, М. Г Луцкий. и др.: под ред. Н. С. Кулика. – К.: Техніка, 2008. – 1000 с.
34. Child J. Neural Networks, Oxford – 2005– 472 p.
35. Daubechies I. Ten lectures on wavelets. - Philadelphia: SIAM, 1992.
36. J. Kharchenko V.P., Kukush A.G., Znakovskaya E.A. Modeling of aircrafts collision using importance sampling technique // Proc. of the Nat. Aviat. Univ. – 2003 №2. –27–30p.
37. Kharchenko V.P. Some aspect automation safety flight system in civil aviation of Ukraine / V.P. Kharchenko, O.N. Alexeiev – Proceedings of the third world congress “Aviation in the XXI – st century”. 2008. – 31.22 – 31.25p.