

**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

«___»_____ 2021 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ
«БЕЗПЛОТНІ АВІАЦІЙНІ КОМПЛЕКСИ»**

**Тема: Статистичне оцінювання показників ефективності безпеки
польотів БПЛА в контрольованому повітряному просторі**

Виконав: _____ **О.В. Білик**

Керівник: д-р техн. наук, проф. _____ **В.Ю. Ларін**

Нормоконтролер д-р техн. наук, проф _____ **Т.Ф. Шмельова**

Київ - 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 Факультет Аеронавігації, Електроніки та Телекомунікацій
 Кафедра Аеронавігаційних Систем
 Спеціальність: 272 «Авіаційний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри
 _____ Ларін В.Ю.
 «__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Білик Олександр Вікторович

1. Тема дипломної роботи «Статистичне оцінювання показників ефективності безпеки польотів БПЛА в контрольованому повітряному просторі» затверджена наказом ректора від 06.10.2021 р № 1931/ст.
2. Термін виконання роботи: з 24.10.2021 по 20.12.2021.
3. Вихідні дані до роботи: дані організацій:
4. Календарний план-графік

№	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Підготовка та написання розділу 1 «Аналіз розвитку БПЛА»	06.10.21- 31.11.21	Виконав
2	Підготовка та написання розділу 2 «Безпека польотів БПЛА»	02.11.21- 03.11.21	Виконав
3	Підготовка та написання розділу 3 «Практичне завдання на дипломну роботу»	04.11.21- 16.11.21	Виконав

5	Підготовка та написання висновків до дипломної роботи	04.12.21 — 05.12.21	Виконав
6	Оформлення роботи згідно вимог нормоконтролю	07.12.21 - 11.12.21	Виконав
7	Підготовка презентації та доповіді	15.12.21- 20.12.21	Виконав

5. Дата видачі завдання: « 01 » жовтня 2021 р.

Керівник дипломної роботи Ларін Віталій Юрійович
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання Білик Олександр Вікторович
(підпис студента) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Статистичне оцінювання показників ефективності безпеки польотів БПЛА в контрольованому повітряному просторі»: 90 сторінок, 18 таблиць, 28 рисунків, 27 використаних джерела.

Об'єкт дослідження – показники ефективності БПЛА.

Предмет дослідження – статистичне оцінювання показників ефективності БПЛА.

Мета дослідження: дослідити показники ефективності БПЛА в зоні диспетчерського обслуговування за допомогою багатокритеріального статистичного оцінювання.

В дипломній роботі за допомогою методу Монте-Карло оцінювалися показники ефективності безпеки польотів. Для дослідження використовувалися два ДПЛА класу НАLE, які шляхом імітування спеціально створених легенд послідовно замінювали в обраному секторі контрольованого повітряного простору пілотовані літаки, причому один з ДПЛА за легендою зазнавав втрату зв'язку по каналу C2. Для обраних легенд було проведено багатоітераційне моделювання, яке дозволило отримати кількісні показники потенційних конфліктів, а також отримати статистичні оцінки для дев'яти показників ефективності.

АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РОЗВИТКУ БПЛА/БАС ТА ЇХ СКЛАДОВИХ.....	9
1.1 Класифікація БПЛА/БАС.....	9
1.2 Класифікація типів та операцій ДПЛА	11
1.3 Канал зв'язку С2 в БАС.....	13
1.4 Характеристики каналу зв'язку С2 ДПЛА	15
1.5 Причини втрати зв'язку по каналу С2 та процедури аварійного плану польоту ДПЛА.....	18
1.6 Фактори, що впливають на зв'язок каналом С2.....	19
Висновки до розділу 1	24
РОЗДІЛ 2. БЕЗПЕКА ПОЛЬОТІВ БПЛА	25
2.1 Принципи безпеки польотів	25
2.2 Причини небезпечних подій	29
2.3 Помилки та порушення.....	34
2.4 Управлінська дилема.....	37
2.5 Інтеграція систем управління	40
2.6 Збір і аналіз даних про безпеки польов.....	44
Висновки до розділу 2	54
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ	56
3.1 Формулювання цілей та завдань дослідження	56
3.2 Математичний апарат та показники статистичних досліджень	58
3.3 Основні положення методу Монте-Карло	63
3.4 Показники ефективності безпеки польотів, які оцінюються в експерименті	65
Висновки до розділу 3	85
ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ.....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	88

ВСТУП

Наразі авіаційні експерти, контролюючі органи та користувачі називають дистанційно пілотовані літаки, використовуючи різні терміни: БПЛА (англ.- UAV), ДПЛА (англ.-RPA) та «дрон». Варто розрізнити ці найпоширеніші терміни, щоб зрозуміти основні відмінності. RPAS (або система дистанційно-пілотованого літака) — це концепція, запропонована ІКАО в [1], вона застосовна до літаків, пілотованих з віддалених місць, і до всіх пов'язаних з ними систем (станцій дистанційного керування, ліній керування тощо). БАС або безпілотна літальна система — це термін, який використовується для будь-якого літака без пілота та пов'язаних елементів. Документ ІКАО 10019 [1] далі визначає БПЛА (безпілотний літальний апарат) як безпілотний літальний апарат, керований трьома параметрами: дистанційне керування, програмне забезпечення або повна автономність.

Дрон – це загальний термін, який використовується для опису будь-якого безпілотного або дистанційно пілотованого літака, включаючи ДПЛА (ДПАС) і БПЛА (БАС). [1]. Надалі ми будемо використовувати поняття RPAS, оскільки тема дипломної роботи пов'язана з вивченням безпеки польотів БПЛА.

Сфера застосування RPAS: реалізація традиційних логістичних (транспортних) функцій; аерофотозйомка та відеовимірювання для картографії та місцевості для отримання точних даних місцевості та покращення карт; моніторинг інфраструктури об'єктів енергетичного та нафтогазового комплексу; моніторинг лісів; сільське господарство пасивної (спостереження) та активної (виконання) функцій у процесі техніки (точне землеробство), виконує пасивну (моніторинг) та активну (виконавча) функції у запобіганні та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

- DAA – Detect and Avoid
- DDR - Demand Data Repository
- ICAO — International Civil Aviation Organisation
- FIR - Flight Information Region
- JARUS — Joint Authorities for Rulemaking of Unmanned System
- ORP — oceanic, remote and polar
- UAV – unmanned aerial vehicle
- UAS – unmanned aircraft systems
- UIR — Upper Information Region
- БАК – безпілотний авіаційний комплекс
- БАС — безпілотна авіаційна система
- БПЛА – безпілотний літальний апарат
- БПС – безпілотне повітряне судно
- ДІ — довірчий інтервал
- ДПАС - дистанційно-пілотована авіаційна система
- ДПЛА - дистанційно-пілотований літальний апарат
- ДПАС — дистанційно-пілотована авіаційна система
- ОПР – обслуговування повітряного руху
- ПС – повітряне судно
- СК ДПЛА — станція управління дистанційно-пілотованим літальним апаратом
- УПР - управління повітряним рухом

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РОЗВИТКУ БПЛА/БАС ТА ЇХ СКЛАДОВИХ

1.1 Класифікація БПЛА/БАС

На сьогоднішній день повна класифікація БПЛА враховує характеристики підйомної ваги, дальності польоту, висоти польоту та часу польоту та наведена в таблиці:

Таблиця 1.1 - Класифікація БПЛА

Код англ.	Назва (укр.)	Маса, кг	Радіус дії, км	Висота польоту (м)	Час польоту (год)
micro	Мікро	≤5	≤5	250	1
mini	Міні	≤20/25/3 0/150	≤10	150/250/3 00	≤2
CR	Близької дальності	25-150	10-30	3000	2-4
SR	Короткої дальності	50 -250	30-70	3000	3-6
MR	Середньої дальності	150-500	70-200	5000	6-10
MRE	Середньої дальності і великої тривалості	500-150	≥500	8000	10-18
LADP	Низько висотний	250-2500	≥250	50-9000	0,5-1
LALE	Низько висотний з довгою тривалістю польоту	15-25	≥500	3000	≥24
MALE	Середньо висотний з малою тривалістю польоту	1000- 1500	≥500	5000-8000	24-28

Приклади різних класів БПЛА показані на рис. 1.1, 1.2.



Рисунок 1.1 - БПЛА «Seeker 1» компанії Denel Aerosystems [3]



Рисунок 1.2 - Мікро вертоліт компанії Seiko Epson . [4]

У світі сучасних дронів спостерігається стійка тенденція до збільшення його розмірів і маси, що призводить до збільшення висоти і тривалості польоту. Ця тенденція полягає в підвищенні попиту на дрони класу «максі». Найвідомішим з них є «Global Hawk» (Рисунок 1.3), який може досягати висоти 20 кілометрів, важить 11,5 тонн і має час польоту понад 24 години [6].



Рисунок 1.3 – БПЛА «GlobalHawk» (Teledyne Ryan Aeronautica)

Перспективною концепцією сучасного будівництва БПЛА є концепція «літаючої платформи», яка завдяки конструктивним особливостям створює кращі умови для розміщення на платформі різних типів корисних вантажів. Поєднуючи корисне навантаження і бортовий комплекс, очікується отримання комплексного комплексу з різноманітним електронним обладнанням. На рис.1.4. наведено приклад такої конструкції. [2].



Рисунок 1.4 – Конструкція “літаючої платформи” (США)

1.2 Класифікація типів та операцій ДПЛА

Очікується, що до 2050 року 20% польотів будуть пілотовані дистанційно, а перші великомасштабні безпілотні комерційні транспортні засоби будуть введені в експлуатацію після 2030 року.

Євроконтроль запропонував розділити організації польотів безпілотників на сім категорій. Відповідно до висоти польоту цей документ визначає чотири типи операцій БАС, як показано в таблиці. 1.2.

Таблиця 1.2 - Типи та класи операцій БПЛА

Висота польоту	Типи операцій	Класи ДПЛА
0 - 500 фут.	Операції Very Low Level (VLL)	I, II, III, IV
500 фут. - FL600	Операції IFR/VFR	V, VI
FL600 — 100 км.	Операції VHL	VII
Від 100 км.	Операції в космічному просторі	VII

Операції в космічному просторі наразі не розглядаються. Операції VHL (дуже високого рівня) передбачають суборбітальні польоти, що виконуються на висотах вище ешелону FL600. В даний час повітряний простір використовується для космічних кораблів і військових операцій. Операції IFR/VFR (Правила польотів за приладами/Правила візуальних польотів), пов'язані з аеропортами, ТМА та повітряним простором на маршруті, будуть використовуватися БПЛА разом із звичайними пілотованими літаками. З цієї причини дрони повинні відповідати певним мінімальним вимогам до швидкості, включаючи вертикальність, характеристики повороту та затримки зв'язку.

Робота на дуже низькій висоті (VLL) нижче 500 футів (152 м). Зараз цей простір використовують: поліція, збройні сили, планеристи, пожежники та надлегка авіація. Такі операції безпілотників визначаються на основі прямої видимості і можуть бути розділені на такі підкатегорії:

- Visual line-of-sight (VLOS): прямий візуальний контакт між пілотом дистанційного керування та дроном, не більше 500 м.

- Extended visual line-of-sight (E-VLOS): попередня категорія може бути збільшена, для чого обов'язковою умовою є наявність спостерігача.

- Beyond visual line-of-sight (B-VLOS): всі види операцій, коли немає візуального контакту між пілотом дистанційного керування та дроном.

1.3 Канал зв'язку C2 в БАС

Положення ІКАО № 328 про безпілотні літальні апарати [8] визначає дистанційно пілотований літак як повітряне судно, конструкція якого подібна до літака, що складається з таких елементів:

- RPA: власне ДПЛА — дистанційно-пілотований літальний апарат;
- RPS: СК ДПЛА — станція керування дистанційно-пілотованим літаком, яка не розташована на дроні, а є місцем розташування дистанційного пілота (RPIL). СК ДПЛА (або RPS) можуть мати дуже різну конструкцію - від обладнання для дистанційного ручного керування до кількох консольних станцій, які можуть бути розташовані зовні або всередині будівлі;
- C2: ланка управління та контролю, яка забезпечує зв'язок ДПЛА та СК ДПЛА та дозволяє здійснити управління місією ДПЛА;

Інші елементи, такі як: навігаційне обладнання, обладнання зв'язку та спостереження АТС, обладнання для запуску та відновлення, комп'ютери управління польотом, системи управління польотом.

Лінія C2 визначається як лінія передачі даних, що відповідає за управління польотом, що з'єднує літак дистанційного керування та станцію дистанційного керування. Зв'язок C2 відіграє ключову роль в управлінні літаком, зв'язку АТС, а також системах виявлення та уникнення конфліктів (CDA).

Окрім керування літаком, дистанційний пілот також відповідає за керування зв'язком C2. З технічної точки зору, лінія C2 використовується для обміну інформацією та інтеграції безпеки ДПАС у глобальне операційне середовище авіації, зв'язку, навігації та спостереження.

Ланцюг C2 визначається як обмін даними, необхідний для RPAS, а також підтримує:

- зв'язок з іншими користувачами повітряного простору та УПР;
- навігація RPA на основі концепцій навігації;
- інтеграція RPA з іншими користувачами в повітряний простір.

Фізична межа каналу зв'язку C2 показана на рисунку 1.6. На ньому видно, що схема C2 охоплює все між передавачами RPA і RPS (TX) і приймачем RX, і тому включає фізичну частину RPA/RPS. Щоб забезпечити необхідний діапазон каналу зв'язку, сторонні постачальники послуг можуть брати участь у передачі, кодуванні, перетворенні або посиленні сигналу після його передачі. [9] Якщо RPS підключено до постачальника послуг через основну лінію, антена буде не частиною RPS, а частиною стороннього постачальника послуг зв'язку, який підтримує RPS.

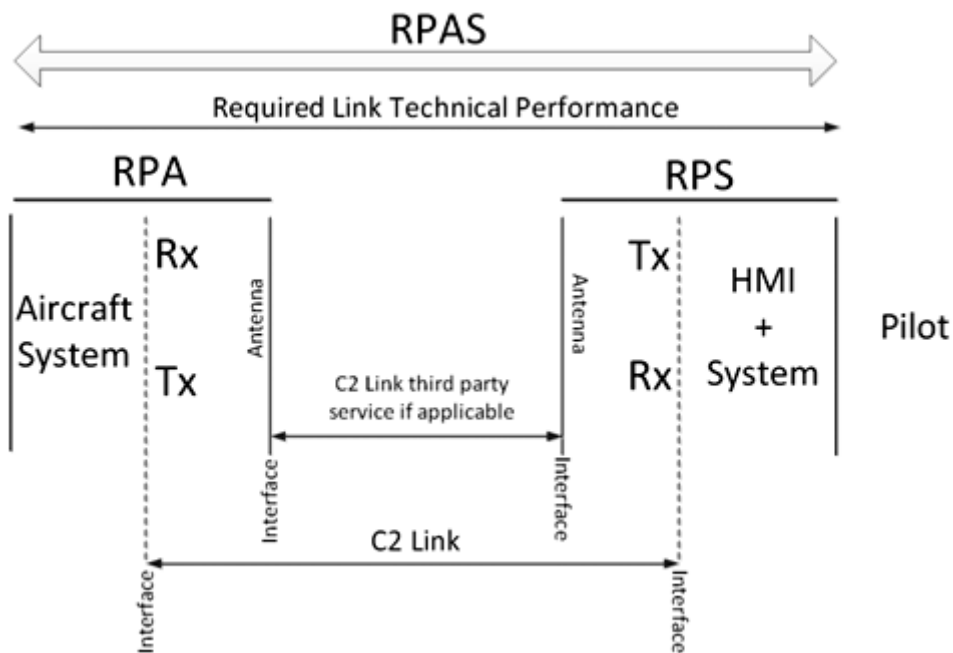


Рисунок 1.6 – Фізичні границі ланцюга C2

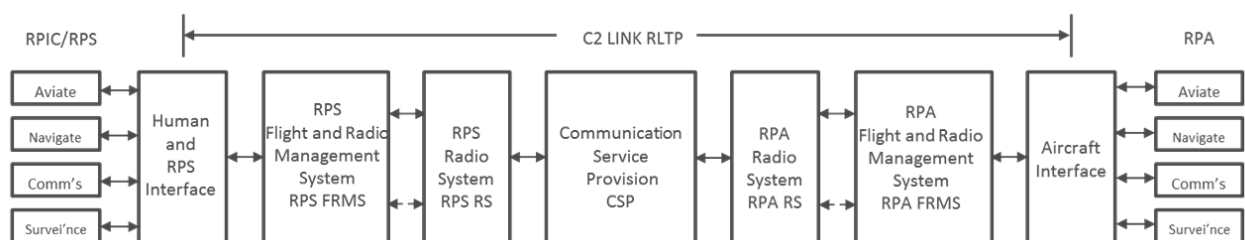


Рисунок 1.7 — Структура C2

На рис. 1.7 позначено: CSP (Communication Service Provider) — постачальник послуг зв'язку; FRMS (Flight and Radio Management system) — система радіоуправління польотом; RLTP (Required C2 Link Technical Performance) — потрібна технічна характеристика ланцюга C2; RPORT (Remote

Pilot Operation Response Time) — час відгуку операції дистанційного пілота; RS (Radio System) — радіосистема.

Діапазон операцій ДПЛА що виходить за межі будь-якого візуального контакту між дистанційним пілотом і дроном і включає виконання операцій командування та управління на основі використання радіоконтактів для обміну командами та телеметричними (керуючими) повідомленнями. Таким чином, у випадку, якщо безпілотник не може здійснювати візуальний контроль та керування польотом, можна використовувати радіокерування, яке в нормативних актах називається RLOS (повітряна телевізійна лінія) та BRLOS (поза ефірною телевізійною лінією). [10].

RLOS можна поділити на:

- безпосередній RLOS від СК ДПЛА до ДПЛА (*Direct RLOS*);
- мережевий RLOS, коли СК ДПЛА пов'язана з віддаленим передавачем через розгалужену наземну мережу, передбачаючи, що віддалений передавач має пряму радіовидимість до ДПЛА;
- BRLOS - це варіант зв'язку, коли радіочастотні варіанти RF-RLOS-зв'язку між СК ДПЛА і ДПЛА неможливі через зниження вихідної потужності, велику відстань або відключення електроенергії. Загалом прийнято використовувати супутниковий зв'язок, безпосередньо підключений до дрона, але може бути варіант включення проміжного ефірного ретранслятора. Концепція операції СЗ [9] не містить інформації про мережу між дронами і супутниками зв'язку, а також про кількість сигнальних транзакцій від землі до супутника.

1.4 Характеристики каналу зв'язку С2 ДПЛА

Для каналу зв'язку С2 повинні бути встановлені вимоги до ефективності та якості зв'язку. У контексті управління повітряним рухом розроблено концепцію необхідних характеристик зв'язку (RCP) [16]. Однак, оскільки ці вимоги сформульовані для традиційних сценаріїв польоту (коли пілот знаходиться в літаку), ці вимоги не можуть бути просто перенесені на канал зв'язку С2 між ДПЛА та СК ДПЛА. Відома спільнота JARUS запропонувала розробити

необхідну концепцію, подібну до RCP, але адаптовану до характеристик зв'язку через канал C2 зв'язку БПЛА [17]. ІКАО вважає концепцію JARUS сумісною з концепцією RCP і встановлює показники продуктивності, необхідні для зв'язку між безпілотниками та безпілотниками. Концепція не приділяє уваги жодній існуючій специфічній технології, що робить її відкритою для нових технологій. Нижче наведені параметри ефективності каналу зв'язку C2 згідно [9]:

- пропускна здатність

Це показник ефективності транзакцій, що виражається як швидкість передачі корисної та непотрібної інформації, тобто кількість успішних транзакцій, виконаних за одиницю часу, з урахуванням потреби в додаткових бітах і повторної передачі пакетів даних, що містять помилки.

- час здійснення транзакції

Це максимальний час для завершення транзакції, після якого ініціатор повинен повернутися до програми заміни. Може бути кілька транзакцій, які підтримують функцію дрона. Оцініть ці операції, щоб визначити найважливіші операції. Значення параметра часу затримки транзакції зв'язку базується на часі, необхідному для завершення найважливішої транзакції. Час транзакції включає затримку [9].

- безперервність

Імовірність того, що конкретна транзакція може бути завершена протягом встановленого часу. На основі аналізу тяжкості наслідків необхідно визначити прийнятну ймовірність «ймовірності виявлення неправильної транзакції». Значення параметра безперервності засноване на прийнятній ймовірності виявленої аномальної моделі торгової поведінки. Якщо архітектура бортової та наземної частин обладнання зв'язку БПЛА забезпечує підтвердження отриманих повідомлень, ймовірність успішних транзакцій БПЛА може встановлювати вимоги до ефективності безперервності на основі зворотного зв'язку [9].

- доступність

Можливість ініціювати комунікаційну транзакцію, коли це необхідно. Коли сервіс забезпечує зв'язок, доступність має такі визначення [9]:

- Доступність забезпечення на годину польоту (A_p) – Середня доступність, яка визначається як ймовірність того, що обслуговування (або система обслуговування) всіх літаків у зоні покриття працюватиме за кожен годину польоту.

- Доступність використання за годину польоту (A_u) – це середня доступність, яка визначається як ймовірність того, що служба (або система надання послуг) між двома сторонами працюватиме за потреби протягом однієї години польоту.

Значення параметра доступності базується на прийнятному рівні виявленої неможливості запуску транзакції.

- цілісність

Ймовірність отримання повідомлення без невизначених помилок у завершій транзакції зв'язку. Оцінка операційного ризику повинна включати аналіз тяжкості наслідків невизначених помилок у контексті відсутності людсько-машинних функцій. У інформаційній безпеці «цілісність даних» відноситься до атрибута, що дані не можуть бути змінені несанкціонованим способом. Цілісність даних також може захистити інформацію від несанкціонованих змін, видалення, спотворення та дублювання, а також надати інструкції щодо такої несанкціонованої діяльності [9].

Таким чином, цілісність є основним атрибутом радіочастотного зв'язку, а також повідомленням, що передається за допомогою радіочастотного зв'язку. Коли регулюючий орган вирішує створити певні RLP, слід враховувати кілька факторів, наприклад, рівень безпеки, необхідний у повітряному просторі, та тип операцій, які мають виконуватися.

1.5 Причини втрати зв'язку по каналу C2 та процедури аварійного плану польоту ДПЛА

Розглянемо причину, чому канал зв'язку C2 втрачається або перевищує час затримки сигналу і наслідки таких подій. Втрата лінії зв'язку C2 визначається як період часу, протягом якого лінії зв'язку та управління недоступні протягом певного періоду часу. Цей період часу може змінюватися залежно від фази польоту або робочого середовища: наприклад, під час кінцевого заходу на посадку навіть коротке переривання може призвести до втрати процедур зв'язку, тоді як довше очікування в океанічних районах може бути прийнятним. [12] Втрата сигналу або затримка в часі є однією з найбільших проблем, особливо під час роботи BRLOS (за межами радіозони). У цьому випадку БПЛА і СК БПЛА не мають прямого зв'язку, і затримка сигналу довша, ніж у режимі RLOS (діапазон радіочастот). У [12, 13] перелічено можливі причини затримки або навіть втрати зв'язку через канал C2. Ось вони:

- Зміни погодних умов;
- Наземне втручання, яке може погіршити комунікації;
- Ситуація, коли БПЛА перетинає різні сектори, а пілот дистанційного керування підтримує зв'язок з кількома органами УПР;
- Затримка сигналу між БПЛА та СК БПЛА занадто велика (через відстань до БПЛА або через непрямий зв'язок між БПЛА та СК БПЛА).

Окрім втрати самого з'єднання C2, на транзакції C2 також може вплинути електромагнітне середовище, в якому працюють дрони. Ненавмисне збільшення білого шуму, викликане діяльністю людини, також може зашкодити транзакціям C2. Крім того, відсутність координації для відповідності радіоспектру, що використовується для каналів зв'язку C2, може викликати перешкоди. Іншими джерелами перешкод можуть бути команди радіокерування корисним навантаженням, які не є частиною команди.

Як згадувалося раніше, зв'язок по каналу C2 може бути затримана або навіть втрачена через різні причини. Коли це відбувається, дрони становлять

серйозну загрозу для транспорту поблизу. Диспетчери УПР повинні бути готові до такої ситуації. Тому заздалегідь запрограмовані безпечні та передбачувані процедури повинні дозволити безпілотнику продовжувати політ, поки зв'язок не буде відновлено. Багато стратегій надзвичайних ситуацій визначено, наприклад, у [15] для таких ситуацій:

- БПЛА прибуде на базу згідно з початковим планом польоту. По дорозі було створено кілька ізоляторів, де він чекав заздалегідь визначеного часу для повторного підключення. При цьому є витрата палива. Потім буде здійснена аварійна посадка на злітно-посадкову смугу, встановлену під час зльоту;
- Повернення в аеропорт відправлення;
- Посадка в найближчому аеропорту;
- Підняти/спустити на задану висоту та спробуйте знову підключитися через канал.

1.6 Фактори, що впливають на зв'язок каналом C2

Щільність повітряного простору – це показник щільності трафіку з точки зору користувачів повітряного простору в певній місцевості. Очікується, що певні повітряні простори матимуть вищу щільність руху, ніж інші, навіть якщо вони належать до тієї ж категорії; у ТМА транзитний трафік можна поєднувати з інтенсивним зльотом/посадкою великих аеропортів, що вимагає швидшого реагування, ніж етап маршруту. Чим щільніший трафік, тим швидше реагує на розпорядження УВД. Це суттєво вплине на RCP каналів зв'язку в подібному повітряному просторі. Кількість пасажирів, які користуються повітряним транспортом, і специфічні ризики небезпечних об'єктів також можуть вимагати більш жорстких вимог до доступу.

Фізичне середовище. Транзакції каналом C2 та зв'язок з органами УПР є одними з основних особливостей ДПЛА. Тому будь-яке потенційне явище або поведінка, що впливає на фізичне середовище транзакції, має бути ідентифіковано. Бюджет транзакції можна описати таким виразом:

$$P_{rec} = P_{trans} + G - L$$

де P_{rec} - отримана потужність, (дБ); P_{trans} - передана потужність (дБ); G - коефіцієнт підсилення (дБ); L - коефіцієнт втрати (дБ).

Характеристики приймача і передавача антени забезпечують їх посилення і втрати. Крім того, характер вільного простору сприяє скороченню бюджетів.

- Маскування. Через значне падіння посилення антени маскування зменшить бюджет передачі. У разі «самовтручання» вимкнення може зайняти кілька секунд. Коли курс і положення дрона повільно змінюються, це може перевищити час, дозволений системою контролю сигналів, внаслідок чого транзакція вважається «втраченою».

Такими перешкодами можуть бути місцевість, сторонні літаки або навіть сам дрон. Для сторонніх літаків тимчасовий камуфляж інших літаків (наприклад, вертольотів) на основі встановлення наземних антен та конфігурації аеропорту. Ця подія непередбачувана, і процедури та інформація в аеропорту повинні забезпечувати засоби для пом'якшення таких подій.

Траєкторія видимості між передавальною та приймальною антенами може бути перекрита через:

- Місцевість;

- Конструкція самого ДПЛА: відповідно до положення та діаграми випромінювання бортової передавальної/приймальної антени, конструктивні частини літака можуть використовуватися для блокування радіолінії. При плануванні місії слід враховувати наступні ситуації.

Планування місії RPAS повинно враховувати розташування наземних станцій, щоб забезпечити зв'язок СК ДПЛА - ДПЛА, а також враховувати відхилення від запланованого курсу через несприятливу погоду. Однак також можуть бути можливі серйозні відхилення.

Інструменти пом'якшення перешкод для планера включають: вибір дизайну RPA (діапазон випромінювання (підсилення, напрямок), положення антени) та архітектуру зв'язку (надлишковість).

- Інтерференція

Інтерференція – це явище, коли амплітуда та/або фаза двох або більше радіохвиль взаємодіють, що може призвести до погіршення якості переданої інформації. Втручання може бути внутрішнім для системи, зовнішнім, навмисним або мимовільним. Навмисне втручання можна усунути, посиливши заходи безпеки.

Система повинна бути максимально захищена від внутрішніх перешкод і очікуваних перешкод через спектральну близькість. Багаторазове опромінення є формою мимовільного внутрішнього втручання. Населені пункти та аеропорти є важливими джерелами мимовільного зовнішнього втручання. Характеристики космічного простору також зміняться з часом. Наприклад, іоносфера має значний вплив на високочастотний зв'язок, одні з яких позитивні (діапазон), а інші – негативні (загасання). Земна та космічна погода вплине на роботу каналів зв'язку.

Рівень і склад перешкод слід визначити під час планування місії та зменшити шляхом оптимізації розподілу частот. Однак якщо канал СЗ використовується спільно, а це трапляється часто, інші користувачі можуть створювати додаткові плани та юридичні втручання. Це збільшить затримку через затримку доступу до транзакції або повторного надсилання повідомлення.

- Багатопроменевість

Багатопроменевість – це явище, яке описує сигнал, що приймається приймальною антеною, кількома способами. Радіосигнал, прийнятий на приймальній антені, буде сумою багатьох компонентів, створених характеристиками тракту від передавача та навколишнього середовища. Найпоширенішими джерелами таких компонентів є відбиття від землі та предметів у будівлі та повітряному середовищі. Їх вплив значною мірою залежить від положення цих об'єктів відносно передавача і приймача, що впливає на фазу вхідних компонентів і, таким чином, на їх внесок у загальний сигнал. Заломлення також може внести несподіваний внесок.

Багатовипромінювання може мати позитивний вплив у щільних міських середовищах: іноді немає прямого шляху, лише багатовипромінювальні ефекти несуть інформацію.

Всі ці сигнали поєднуються з фазовим зсувом, який важко передбачити через багато факторів, які викликають багатопроменевість. У разі додавання протилежної фази сигналу, що не гасить, результатом може бути раптове або тимчасове відключення. Існують методи пом'якшення, які впливають на архітектуру зв'язку (кілька транзакцій з різними статистичними характеристиками) або на саму несучу (швидка зміна частоти за допомогою стрибкоподібної зміни частоти та часу).

- Погодні умови

Погодні умови можуть мати значний вплив на доступність і продуктивність радіочастотних каналів. Найбільшим порушенням є ослаблення сигналу, яке зазвичай достатньо тривало, щоб класифікувати як втрату повідомлення. Однак складні зміни в розподілі показника заломлення можуть призвести до повітроводів, які створюють надлишковий сигнал і багатопроменевість.

- Космічна погода

Космічна погода — це природні збурення від сонця або космосу, які можуть вплинути на роботу та надійність космічних, наземних або бортових систем і навіть загрожувати життю чи здоров'ю людей. Доведено, що сонячна активність заважає радіочастотам і супутниковому зв'язку. Сонячна активність може бути пов'язана з кількістю плям на поверхні Сонця. Сонячна активність складається з двох частин:

- * Періодичний 11-річний періодичний компонент, змінної інтенсивності;
- * Випадкова складова менша за циклічну інтенсивність. Однак цей компонент може мати дуже сильні піки.

При зміні космічної погоди можуть виникнути численні наслідки:

- * погіршення стану радіо/супутникового зв'язку;

* несправність бортової системи або заміна бітів через випромінювання, на великих висотах;

* Погіршення продуктивності GNSS-навігації;

* Збій електромережі та наземного зв'язку;

* У найважчому випадку супутник виходить з ладу.

Визначено три легенди космічної погоди:

* Нормальна суворя космічна погода: дуже поширена в періоди високої сонячної активності - дуже низької тяжкості;

* Від важких до екстремальних подій: одна п'ята частина 11-річного сонячного циклу – значний ступінь тяжкості;

* Надзвичайно важкий: дуже рідко, із серйозними пошкодженнями інфраструктури та систем кожні 100-500 років.

Залежно від тяжкості сонячної бурі впливом на загальні відсутності можуть бути короточасні тимчасові перерви та вихід з ладу компонентів системи. Було визначено ряд процедур, зокрема використання інформаційних служб космічної погоди. Однак у найкрайніших випадках резервування чи інші методи зменшення наслідків можуть бути неефективними. При цьому багато інших галузей промисловості, включаючи пілотовану авіацію, також сильно постраждають.

- Металеve середовище

Для виконання операцій на низькому рівні БПЛА може бути дуже близько або оточений металевими предметами. Таке робоче середовище спричинить проблеми з кількома променями, а в найкрайніших випадках воно буде діяти як клітка Фарадея, серйозно погіршуючи якість каналу зв'язку між БПЛА і СК БПЛА. Вплив на загальну недоступність є короточасним тимчасовим перервою, якщо система не зникає через перешкоди та залишається некерованою (наприклад, акумулятор Фарадея). Конструкторські та технічні рішення можуть частково вирішити ці проблеми. Це слід розглядати в основному з оперативної точки зору, визначаючи кожне металеве середовище СТА, яке може загрожувати безпеці польотів.

Висновки до розділу 1

На сьогоднішній день повна класифікація БПЛА враховує характеристики підйомної ваги, дальності польоту, висоти польоту та часу польоту. Очікується, що до 2050 року 20% польотів будуть пілотовані дистанційно, а перші великомасштабні безпілотні комерційні транспортні засоби будуть введені в експлуатацію після 2030 року.

Переривання зв'язку між дроном і пунктом управління, навіть якщо воно тимчасове, значно знизить рівень безпеки польотів у сфері управління повітряним рухом. Ризик втрати зв'язку особливо високий, коли щільність руху висока в окремих районах і поблизу аеропортів. Показник ефективності (надійності) каналу зв'язку C2 рекомендований нормативними документами і подібний до визначення характеристик зв'язку (RCP), необхідних для пілотованої авіації.

РОЗДІЛ 2. БЕЗПЕКА ПОЛЬОТІВ БПЛА

2.1 Принципи та культура безпеки польотів

У контексті авіації безпека – це "стан, при якому можливість заподіяння шкоди особам або майну знижена до прийняттого рівня та підтримується на цьому або нижчому рівні за допомогою постійного процесу виявлення небезпечних факторів та управління факторами ризику безпеки польотів".

Хоча усунення авіаційних пригод та/або серйозних інцидентів залишається кінцевою метою людської діяльності в цій галузі, проте визнається, що авіаційні системи не можуть бути повністю вільні від небезпечних факторів та пов'язаних з ними ризиків. Ніяка діяльність людини або створена ним система не гарантована від повної відсутності експлуатаційних помилок та їх наслідків.

Таким чином, безпека є динамічною характеристикою авіаційної системи, за допомогою якої фактори ризику для безпеки польотів повинні неухильно знижуватися. Важливо, що на прийняття показників ефективності забезпечення безпеки польотів часто впливають на внутрішні та міжнародні нормативи, і навіть культурні особливості. Доки фактори ризику для безпеки польотів та експлуатаційні помилки знаходяться під розумним контролем, такою відкритою та динамічною системою, якою є цивільна авіація, можна керувати, забезпечуючи необхідний баланс між виробництвом нових повітряних суден та вимогою захисту пасажирів та майна.

Системний аналіз природно-техногенних загроз в Україні свідчить про стрімке зростання усього спектру небезпек і адекватною відповіддю має бути такий же стрімкий ріст потенціалу самозахисту та управління ризиками.

Однією із складових системи управління ризиками на глобальному, регіональному, місцевому та об'єктовому рівні є створення потужної системи моніторингу, авіаційна компонента якої може бути найефективнішою серед існуючих. Практичний досвід застосування БпАК провідними країнами світу виявив широкий спектр цивільних завдань, при вирішенні яких "безпілотники"

показують високу ефективність. Однією з предметних галузей застосування БпАК є галузь цивільного захисту.

Головна перевага БПЛА, і це визнають всі експерти, – відсутність на борту людини, завдяки чому, незалежно від складності й небезпеки завдань, що виконуються БПЛА, життю пілотів не загрожує небезпека. БПЛА здатний діяти в зонах біологічного, радіаційного й хімічного зараження. Йому не потрібні складні системи життєзабезпечення екіпажу. У кризовій ситуації, пов'язаній з ризиком втрати, апаратом можна пожертвувати. У таких цивільних сферах застосування БпАК, як дистанційне зондування землі, контроль комунікацій і кордонів, ретрансляція сигналів, собівартість послуг знижується на порядок порівняно з традиційними космічними або авіаційними системами. Можна стверджувати, що саме БпАК можуть стати однією з ефективних складових авіаційних засобів для виконання завдань з попередження, виявлення та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру.

Культура характеризується переконаннями, цінностями, схильностями та їх відображенням у реальній життє, що поділяються членами суспільства, групи чи організації. Розуміння компонентів культури та взаємодія між ними важлива для управління безпекою польотів. Трьома найвпливовішими компонентами культури є організаційна, професійна та національна культури. Культура

Подання даних одна із основних компонентів цих різних культур. Варіанти змішування компонентів культури можуть значно відрізнятись один від одного в різних організаціях, негативно впливаючи на уявлення даних про небезпечні фактори, спільний аналіз глибинних причин цих явищ та досягнення прийняттого рівня зменшення ризиків. Постійне підвищення ефективності забезпечення безпеки можливо у тому випадку, якщо безпека стане однією з головних цінностей у системі координат організації, пріоритетом на національному та галузевому рівні.

Культура безпеки охоплює широко поширені уявлення та переконання членів організації щодо безпеки суспільства і може бути визначальним фактором поведінки для членів цієї організації. Дієва культура безпеки

спирається на високий рівень довіри та поваги, що склалися між колективом та керівництвом, тому має створюватися і всіляко підтримуватися лише на рівні керівництва організації.

Дійсна культура безпеки пов'язана з активним пошуком покращень, пильним ставленням до небезпечних факторів та використанням систем та інструментів для безперервного моніторингу, аналізу та проведення розслідувань. Вона має існувати в державних організаціях цивільної авіації, а також в організаціях постачальників продукції та обслуговування. Іншими характеристиками дієвою культурою безпеки є особиста відповідальність за безпеку польотів кожного члена колективу та керівництва організації, впевненість у системі безпеки, а також документально оформлене зведення правил та процедур у сфері безпеки польотів. Остаточна відповідальність за встановлення та виконання ефективних методів забезпечення безпеки польотів лежить на керівництві організації. Культура безпеки не зможе бути ефективною, якщо не вбудована у власну культуру організації.

Організаційна культура відноситься до характеристик та уявлень про безпеку польотів, що склалися між членами, що взаємодіють в одній авіаційній організації. Системи цінності організацій включають періоритизацію або знаходження необхідного балансу в таких питаннях, як "продуктивність або якість", "безпека або ефективність", "фінансова або технічна ефективність", "практичний досвід або академічні знання", "забезпечення виконання або коригувальні заходи".

Найбільше поле діяльності для створення та розвитку ефективною, що самопідтримується. Культура для управління безпекою польотів знаходиться на організаційному рівні. Організація є одним з головних детермінантів поведінки індивідуумів у процесі управлінської чи виробничої діяльності, що забезпечує авіаперевезення чи нагляд за ними. Організаційна культура позначає межі прийнятної керівної та виробничої діяльності на робочому місці, встановлюючи норми та обмеження. Таким чином, організаційна культура є наріжним каменем

при прийнятті рішень як на рівні керівництва, так і на рівні кожного конкретного працівника.

Характер повсякденної діяльності керівництва з вирішення питань безпеки польотів також має виняткове значення удосконалення організаційної культури. Позитивна організаційна культура характеризується ефективною взаємодією експлуатаційного персоналу з їх колегами, які займаються питаннями якості та безпеки, та представниками регламентуючого органу. Такі взаємини мають бути відзначені професійною ввічливістю з дотриманням учасниками покладених на них ролей, що необхідно для забезпечення об'єктивності та відповідальності.

Для ефективного сприяння забезпеченню безпеки польотів необхідно, щоб експлуатант створив таке робоче середовище, де всі співробітники усвідомлюють свою відповідальність за безпеку польотів. Необхідність цього стає очевидною, коли співробітники під час виконання будь-яких операцій враховують їх можливі наслідки для безпеки польотів, повідомляють про всі відомі небезпечні фактори, помилки та загрози і сприяють у виявленні та управлінні пов'язаних з ними ризиків. Крім того, керівництво зобов'язане створити умови, що забезпечують ознайомлення працівників з факторами ризику безпеки польотів, забезпечити їх достатніми засобами індивідуального захисту та гарантувати захист у разі розголошення ними інформації про безпеку польотів через систему подання даних про безпеку польотів. Ефективна культура безпеки служить методом синхронізації різноманітних національних та професійних культур у контексті організації.

Професійна культура диференціює характеристики конкретних професійних груп (типова поведінка пілотів порівняно з поведінкою диспетчерів УВС, поведінка працівників (відомства цивільної авіації або інженерів з технічного обслуговування). В результаті відбору персоналу, освіти та підготовки, досвіду практичної роботи, впливу з боку колег тощо. професіонали схильні засвоювати систему цінностей та виробляти характер поведінки, властиві їх колегам чи попередникам. Ефективна професійна

культура відбиває здатність професійних груп відрізняти питання ефективності забезпечення безпеки від завдань договірної чи галузевого характеру. Справжню професійну культуру можна охарактеризувати як здатність всіх професійних груп в організації до спільних дій щодо вирішення питань забезпечення безпеки польотів.

Національна культура диференціює характеристики тих чи інших народів, включаючи роль індивідуума у суспільстві, спосіб розподілу владних повноважень, національні пріоритети щодо ресурсів, підзвітності влади, моралі, завдань держави та особливостей правової системи. З точки зору управління безпекою польотів національна культура грає велику роль у визначенні характеру та сфери право з діяльності регламентуючого органу, включаючи взаємини між співробітниками регламентуючого органу та галузевими спеціалістами, а також ступінь захищеності інформації щодо безпеки польотів.

Національна культура є природним компонентом особистісних переконань, що лягли в основу формування уявлень індивіда про безпеку ще до того, як він став членом організації.

Таким чином, організаційна культура може зазнавати значного впливу національних культур, присутніх серед співробітників організації.

2.2 Причини небезпечних подій

Модель "швейцарського сиру", розроблена професором Джеймсом Різеном, наочно показує, що авіаційні пригоди передбачають послідовні порушення багаторівневої системи захисту. Ці порушення викликаються рядом сприяючих факторів, таких як відмови обладнання або помилки під час експлуатації. Оскільки модель "швейцарського сиру" виходить із того, що такі складні системи, як авіація, мають надзвичайно хороший захист з кількох рівнів, внутрішні поодинокі відмови рідко мають серйозні наслідки в авіаційній системі. Порушення у системі захисту безпеки є уповільненим наслідком рішень, прийнятих на вищих рівнях системи, які не виявляються доти, доки їх вплив чи руйнівний потенціал не буде ініційований конкретним збігом

експлуатаційних обставин. За таких конкретних обставин помилки людини або активні відмови на експлуатаційному рівні діють як пускові механізми прихованих умов, що сприяють порушенню властивих системі засобів забезпечення безпеки польотів. У моделі Різона всі обставини включають поєднання активних і прихованих умов.

Активні відмови – це дія або бездіяльність, включаючи помилки та порушення, які надають прямий негативний вплив. Вони, зазвичай, вважаються (заднім числом) небезпечними діями. Активні відмови, як правило, асоціюються з безпосередніми виконавцями (пілотами, диспетчерами) УВС, авіаційними інженерами-механіками тощо) і можуть призвести до тяжких наслідків.

Приховані умови – це умови, що існували в авіаційній системі задовго до настання аварійних випадків. Приховані умови можуть виявляти себе протягом багато часу. Спочатку вони не сприймаються як небезпечні, але це стає очевидним після того, як порушено засоби захисту системи. Такі умови зазвичай створюють люди, які дуже далекі у часі та просторі від самої події. Приховані умови в авіаційній системі включають обставини, створювані відсутністю культури забезпечення безпеки; крім того, їх причиною можуть стати також погане обладнання чи процедури; конфліктні організаційні цілі; недоліки в організаційних системах та неправильні рішення керівництва. Перспективний підхід до подій з організаційних причин спрямований на виявлення та зменшення наслідків цих прихованих умов на загальносистемній основі, а не шляхом локальних заходів щодо мінімізації активних відмов з боку окремих осіб.

Модель "швейцарського сиру" допомагає зрозуміти, яку роль причинності. Авіаційні події грають організаційні та управлінські фактори. Модель показує, що в авіаційній системі закладено різні засоби захисту від відхилень у діях чи рішеннях людини всіх рівнях системи. Тим не менш, незважаючи на те, що ці засоби забезпечують захист від факторів ризику для безпеки польотів, порушення, які долають усі захисні бар'єри, можуть призвести до

катастрофічним наслідкам. Крім того, модель Різона дозволяє зрозуміти, що протягом усього періоду до настання авіаційної події приховані умови присутні в авіаційній системі і можуть бути приведені у дію місцевими факторами. Поняття події, що лежить в основі моделі Різона, з організаційних причин можна найкраще зрозуміти, застосувавши модульний підхід, що складається із п'яти структурних елементів. Верхній Структурний елемент представлений організаційними процесами. Це такі види діяльності, які кожна організація контролює у розумних межах. Типові приклади – вироблення керівних вказівок, планування, обміну інформацією, розподіл ресурсів, нагляд і т. д. Безсумнівно, що двома основними організаційними процесами щодо забезпечення безпеки польотів є розподіл ресурсів та обмін інформацією. Збої або недоліки в цих організаційних процесах породжують передумови зривів у двох напрямках.

Один напрямок – це шлях прихованих умов. Приклади прихованих умов можуть включати: недоліки в конструкції обладнання, недопрацьовані/неправильні стандартні експлуатаційні правила та недогляди у підготовці персоналу. Загалом, приховані умови можна поділити на дві великі групи.

Одна група – це недостатньо ефективне виявлення небезпечних факторів та управління факторами ризику для безпеки польотів, внаслідок чого фактори ризику для безпеки польотів, пов'язані з небезпечними факторами, які не беруться під контроль, а вільно блукають у системі і, зрештою, наводяться активний стан експлуатаційними факторами.

Друга група відома як нормалізація відхилень - поняття, яке, говорячи простими словами, вказує на експлуатаційний контекст, у якому виняток стає правилом. В цьому випадку неадекватність виділених ресурсів сягає крайності. Як наслідок нестачі ресурсів, експлуатаційному персоналу, який безпосередньо відповідає за фактичне здійснення виробничої діяльності, для успішного виконання такої діяльності залишається лише вдаватися до різних хитрощів, що призводить до постійних порушень правил та процедур.

У прихованих умовах є всі потенційні можливості для порушення засобів захисту авіаційної системи. Як правило, засоби захисту в авіації можуть бути поділені на три великі категорії: техніка, підготовка персоналу та нормативні положення. Засоби захисту зазвичай є останнім рубежем стримування прихованих умов, а також запобігання наслідкам помилок у діях

людини. Більшість методів (якщо не всі) зменшення факторів ризику для безпеки польотів, викликані наслідками небезпечних факторів, засновані на посиленні існуючих засобів захисту або розробці нових коштів.

Іншим напрямком, що впливає з організаційних процесів, є шлях умов на робоче місце. Умови на робочому місці є факторами, які безпосередньо впливають на ефективність діяльності людей у авіаційній галузі. Умови на робочому місці багато в чому сприймаються інтуїтивно в тому плані, що весь експлуатаційний персонал так чи інакше стикався з цими умовами, в які входять: стабільність, кваліфікація та досвід персоналу, моральний стан, довіра до керівництва та традиційні ергономічні фактори, такі як освітлення, опалення та кондиціювання.

Неоптимальні умови на робочому місці породжують активні відмови з боку експлуатаційного персоналу. Активні відмови можна як помилки, чи як порушення. Відмінність між помилками та порушеннями полягає у компоненті мотивації. Особа, яка намагається найкраще виконати завдання, дотримуючись при цьому правил і процедур, яким його навчили в ході підготовки, але яке не може виконати поставленого перед ним завдання, робить помилку. Особа, яка при виконанні завдання навмисно не слідує правилам, процедурам або принципам отриманої підготовки, здійснює порушення. Таким чином, основною відмінністю між помилкою та порушенням є намір.

З точки зору події з організаційних причин, заходи щодо забезпечення безпеки польотів повинні бути спрямовані на контроль за організаційними процесами, щоб виявляти приховані умови та таким чином посилювати засоби захисту. Заходи щодо забезпечення безпеки польотів також повинні бути спрямовані на покращення умов на робочому місці для стримування активних

відмов, оскільки саме взаємний зв'язок всіх цих факторів призводить до збоїв у сфері безпеки польотів.

Теорія "*практичного зсуву*" Скотта А. Снука використовується як основа для розуміння того, яким в авіації основні показники діяльності будь-якої системи відрізняються від того рівня, який визначений для неї первісним задумом, коли процедури та правила організації не в змозі передбачити всі ситуації, які можуть виникнути під час виконання щоденних польотів цивільними повітряними судами.

На ранніх етапах розробки системи (напр., встановлення повітряного простору УВС, впровадження спеціального обладнання, розширення схеми виконання польотів), враховуються оперативні взаємодії між людьми, технікою та експлуатаційним контекстом для визначення очікуваних обмежень характеристик та потенційних небезпечних факторів у процесі таких взаємодій.

Початкова структура системи заснована на трьох основних припущеннях: наявність обладнання, необхідного для досягнення виробничих завдань системи, необхідна підготовка персоналу для належної експлуатації техніки та нормативи та правила, що зумовлюють поведінку системи та людей. Ці допущення відображають базові (або ідеальні) показники діяльності системи, які можна графічно подати у вигляді прямої лінії, що проходить від дати введення системи в експлуатацію до зняття її з експлуатації.

Після введення в експлуатацію система працює так, як вона була задумана: переважно досягаються базові показники діяльності. Насправді, проте, експлуатаційна діяльність відрізняється від базової діяльності через необхідність урахування реальних умов експлуатації та змін у нормативно-правовій базі. Оскільки цей зсув є наслідком повсякденної практичної діяльності, він відомий як "*практичне зрушення*". Термін "*зсув*" у даному контексті означає поступовий ухиляння від заданого курсу під впливом зовнішніх причин.

Практичний зсув від базової до експлуатаційної діяльності неминучий у будь-якій системі незалежно від того, наскільки ретельним та продуманим було

планування її виконання. Для такого практичного зсуву існує безліч причин: техніка не завжди працює так, як передбачалося; схеми польоту, яким не можна слідувати, як це було заплановано, через конкретні умови експлуатації; нормативні становища, які цілком відповідають обмеженням обстановки; введення у систему змін, включаючи додавання нових компонентів; взаємодія з іншими системами тощо. Проте факт залишається фактом: незважаючи на всі недоліки системи, що призводять до зсуву, люди, що працюють всередині практичного зсуву, змушують систему працювати на повсякденній основі, адаптуючи її до місцевих умов (або обходячи її недоліки) та застосовуючи (нехай "у правилах такого немає") деякі особисті методи та прийоми.

2.3 Помилки та порушення

Ефективне впровадження СУБП постачальниками продукції або обслуговування та ефективний нагляд за СУБП з боку держави ґрунтуються на ясному, взаємному розумінні того, що є помилками та порушеннями та у чому полягає різницю між цими двома поняттями. Відмінність між помилками та порушеннями полягає у намірі. Хоча помилка – це ненавмисний вчинок, порушення є навмисною дією або бездіяльністю з метою відходу від встановлених процедур, протоколів, норм та практики.

Помилки або порушення можуть призвести до недотримання нормативних положень або затверджених правил експлуатації. Суворі заходи, що вживаються щодо фактів недотримання, можуть, відсутність інших процедур, призвести до зменшення даних про помилки. Відповідно, держава, а також постачальники продукції та обслуговування повинні розглядати адекватність покарання вирішити, чи є факти недотримання порушенням чи ненавмисною помилкою, причому зазвичай вибір критерію оцінки недотримання робиться між умисним невиконанням обов'язків т грубою недбалістю.

Помилки

Як зазначалося вище, помилка є "дією чи бездіяльністю експлуатаційного персоналу, що призводить до відхилень від намірів чи очікувань організації чи цього персоналу". В контексті СУБП як держава, так і постачальники продукції

або обслуговування повинні розуміти та очікувати, що люди будуть робити помилки незалежно від рівня використаної технології, рівня підготовки або наявності правил, процедур та регламентів. У цьому зв'язку важливим завданням є встановлення та підтримання засобів захисту для зменшення можливості помилки та, що не менш важливо, зменшення наслідків помилок, коли вони відбуваються. Щоб вирішити це завдання, помилки необхідно виявляти, повідомляти про них та аналізувати їх для того, щоб вжити належних заходів щодо їх усунення. Помилки можна розділити на дві наступні категорії:

а) промахи та упущення – це невиконання запланованої дії. Промахи - це дії, які не здійснюються як заплановано, а упущення відбуваються через погану пам'ять. Наприклад, якщо пілот взявся за ручку управління закрилками замість ручки випуску Шасі (що планувалося) – це промах. Якщо він забув якусь позицію у контрольній карті пілота - це недогляд.

б) Прорахунки – це недоліки у плануванні дій. Навіть якби виконання плану було коректним, запланованого результату все одно не вдалося б досягти.

Для контролю або усунення помилок потрібна реалізація стратегій безпеки польотів. Стратегії контролю помилок використовують основні засоби захисту у рамках авіаційної системи. Вони включають таке:

а) Стратегія зменшення застосовується безпосередньо шляхом зменшення або усунення факторів, що сприяють виникненню помилки. Наприклад стратегії зменшення відносяться поліпшення ергономічних факторів і зменшення кількості відволікаючих моментів у навколишній обстановці.

б) Стратегія перехоплення передбачає, що помилка буде виконана. Ціль - "перехопити" помилку, перш ніж виникнуть якісь негативні наслідки такої помилки. Стратегія перехоплення відрізняється від стратегії зменшення тим, що використовує контрольні карти та інші процедурні заходи, а чи не служить безпосередньо засобом усунення помилки.

с) Стратегія толерантності – це здатність системи прийняти те, що помилка буде вчинено, але без серйозних наслідків. Прикладом такого підходу є багаторазове резервування систем та багатоступінчасті перевірки.

Оскільки на роботу персоналу зазвичай впливають організаційні, нормативно-правові та екологічні фактори, управління факторами ризику для безпеки польотів має враховувати організаційну політику, процедури та регламенти, що стосуються обміну інформацією, планування

польотів екіпажів, розподілу ресурсів та бюджетним обмеженням, які можуть сприяти виникненню помилок.

Порушення

Порушення визначається як "навмисне невиконання обов'язків або бездіяльність, результатом яких є відхід від встановлених процедур, протоколів, норм та практики". Недотримання не обов'язково є результатом порушення, оскільки відхід від нормативних вимог та правил експлуатації ПС може відбуватися і внаслідок помилки. І без того непросте питання ускладнюється ще й тим, що хоча порушення є навмисними діями, вони не обов'язково носять зловмисний характер. Індивідууми можуть свідомо відходити від норм, переконані, що порушення полегшить виконання ними завдання без серйозних негативних наслідків. Порушення такого роду є помилками судження і, якщо це не наказано правилами, не призводять автоматично до дисциплінарних заходів. Такі порушення поділяються на такі категорії:

а) Ситуативні порушення відбуваються через конкретні фактори, що існують на даний момент момент, таких як брак часу або високе робоче навантаження.

б) Рутинні порушення – це порушення, які стають "нормальним способом ведення справ" у робочій групі. Вони мають місце, коли у робочій групі виникають труднощі з виконанням встановлених правил роботи через проблеми з практичним виконанням/ працездатністю, недоліків в організації інтерфейсу людина-машина тощо, і група неофіційно розробляє і приймає до

використання "кращі" правила, які, зрештою, стають рутинними. Такі відхилення, іменовані "зсувом", можуть продовжуватися без будь-яких наслідків, але згодом вони можуть стати частими, та їх наслідки можуть бути дуже серйозними. У ряді випадків рутинні порушення цілком обґрунтовані і можуть бути прийняті як офіційна процедура після проведення необхідної оцінки безпеки та підтвердження того, що безпека ні в жодному разі не постраждає.

с) Порушення, які змушує організація, можна розглядати як подальший прояв рутинних порушень. Цей тип порушень має місце у випадках, коли організація прагне виконати збільшені вимоги до обсягу послуг, ігноруючи або механічно поширюючи наявні засоби захисту новий обсяг.

2.4 Управлінська дилема

Процеси управління безпекою дозволяють виявляти небезпечні фактори, які потенційно можуть мати негативні наслідки для безпеки польотів. Крім того, такі процеси забезпечують ефективний та об'єктивний механізм для оцінки ризиків, що впливають із небезпечних факторів, та дозволяють реалізувати способи усунення таких чинників чи зменшення пов'язаних із нею ризиків.

Результатом зазначених процесів є сприяння досягненню прийняттого рівня безпеки польотів при балансі ресурсів, що розподіляються між виробництвом та захисними заходами. З точки зору розподілу ресурсів, особливо корисною для розуміння механізму досягнення балансу є Безпека концепції простору.

Простір безпеки

У будь-якій організації, зайнятій наданням послуг, продуктивність системи та фактори ризику для безпеки взаємопов'язані. У міру зростання виробництва можуть збільшуватися і фактори ризику безпеки польотів, якщо не забезпечені необхідні ресурси або не реалізовані заходи, що підвищують Можливості процесів. Організація повинна визначати завдання у галузі виробництва та безпеки, знаходячи баланс між продуктивністю та факторами ризику для

безпеки польотів. Крім того, при визначення виробничих цілей організації необхідно визначити і засоби захисту для того, щоб тримати під контролем фактори ризику безпеки польотів. Для постачальників продукції та обслуговування. Основними засобами захисту є техніка, навчання, внутрішні правила та процедури. Для держави основні засоби захисту аналогічні, тобто. це навчання співробітників, правильне використання техніки, ефективний нагляд, а також його внутрішні правила і процедури. Простір безпеки - це зона, у межах якої організація забезпечує баланс між бажаним рівнем продуктивності та захисту за допомогою системи контролю факторів ризику для безпеки польотів.

Наприклад, виробник або постачальник аеронавігаційного обладнання може прийняти рішення підтримати очікуване зростання, інвестувавши кошти у нові технології. Ці технології можуть одночасно підвищити ефективність обладнання, а також покращити його надійність та підвищити ефективність забезпечення безпеки польотів.

Процес прийняття рішень має включати оцінку додаткової вартості продукції організації, зміни виробничих завдань та присутніх у такому вирішенні факторів ризику для безпеки польотів виділення надмірних ресурсів для захисту або контролю за ризиками можуть зробити продукцію чи послуги нерентабельними, загрожуючи цим фінансової спроможності організації. З іншого боку, коли надлишкові кошти прямують у виробництво за рахунок захисту, це може позначитися на характеристиках безпеки продукції чи обслуговування та, зрештою, призвести до авіаційної події. Тому так важливо визначити межі безпеки, які попереджають ще на ранній стадії, що існує або складається незбалансований розподіл коштів. Тому межі простору безпеки повинні бути визначені керівництвом та постійно перевірятися на предмет того, як адекватно вони відображають поточну ситуацію. Кордони простору безпеки організації.

Необхідність у встановленні балансу між виробництвом та захистом стала зрозумілою та визнаною вимогою з погляду постачальників продукції та

обслуговування. Такий баланс дорівнює чином застосуємо і управління державою розробленої ним ДержПБП, враховуючи вимоги балансу ресурсів, необхідних для здійснення державою захисних функцій, що включають сертифікацію та спостереження.

Управління змінами

В авіаційних організаціях, включаючи регламентуючі органи, постійно відбуваються зміни, пов'язані з їх розширенням або скороченням, а також із змінами, що вносяться до існуючої системи, обладнання, правила, програми, послуги та регламенти. Кожен раз, коли відбуваються зміни, в авіаційну систему може бути мимоволі внесені небезпечні чинники. Крім того, зміни стосуються і існуючих в даний час базових процедур послаблення факторів ризику для безпеки польотів. Методика управління безпекою польотів вимагає, щоб небезпечні фактори, що виникають внаслідок змін, систематично виявлялися, щоб розроблялися, впроваджувалися і в надалі оцінювалися стратегії управління непрямими ризиками для безпеки польотів. Дійсна система управління ризиками для безпеки польотів, пов'язаних із проведенням змін, є найважливішою вимогою ДержПБП та СУБП.

У процесі управління змінами слід брати до уваги наступні три міркування:

а) Критичність систем та видів діяльності. Критичність пов'язана з потенційними наслідками факторів ризику для безпеки польотів, будь то на етапі проектування системи або у період внесення змін. Зміни, що вносяться в обладнання та діяльність, особливо важливі для забезпечення безпеки польотів, потрібна аналізувати для того, щоб мати можливість вжити коригуючих дій у цілях контролю потенційно виникаючих факторів ризику для безпеки польотів.

б) Стабільність систем та умов експлуатаційного середовища. Зміни можуть бути наслідком запрограмованих змін, які перебувають безпосередньо під контролем організації. Запрограмовані зміни можуть асоціюватися з розширенням або скороченням діяльності організації, впровадженням нового обладнання, товарів та послуг.

Незаплановані зміни, включаючи експлуатаційні зміни та зміни, що мають під собою політичну чи економічну основу, також створюють ризики, що вимагають від організації вжиття заходів щодо їх зменшення. Часті зміни, що носять систематичний характер, або зміни в умовах експлуатаційного середовища вимагають, щоб керівники оновлювали оцінки ключових ризиків та важливу інформацію частіше, ніж в умовах стабільних ситуацій.

с) Ефективність функціонування у минулому. Ефективність функціонування критичних систем у минулому є надійним показником ефективності функціонування у майбутньому. Аналіз тенденцій у сфері забезпечення безпеки польотів допомагає відслідковувати в динаміці кількісні параметри безпеки польотів і враховувати ці дані при плануванні майбутньої діяльності у мінливій ситуації. Більш того, якщо в результаті попередніх перевірок, оцінок, аналізів даних, розслідувань або донесень виявлено та усунуто недоліки, надзвичайно важливо, щоб така інформація враховувалася задля забезпечення ефективності коригувальних дій.

2.5 Інтеграція систем управління

Авіаційні організації дуже різняться з погляду масштабу та складності їх роботи. Кожна організація має багаторівневу систему управління, що включає численні підсистеми, чия діяльність прямує через певну побудовану систему управління. Організація повинна інтегрувати управлінські системи, призначені для досягнення певних організаційних цілей, тобто надання продукції та послуг замовникам. Управлінську систему організації загалом часто називають комплексною системою управління чи просто "системою управління" організації.

До типових систем управління авіаційної організації належать:

- a) система менеджменту якості (СМЯ);
- b) система управління безпекою польотів (СУБП);
- c) система управління авіаційною безпекою (SEMS);
- d) система екологічного менеджменту (EMS);
- e) система охорони праці та управління безпекою польотів (OHSMS);

- f) система управління фінансовими ресурсами (FMS);
- g) система керування документообігом (DMS).

Кожна управлінська система контролюється "відповідальним керівником". Комплексні організації постачальників продукції і на обслуговування можуть мати понад тридцять різних управляючих систем, які мають бути інтегровані у межах одного підприємства. Деякі з цих систем представлені нижче:

- a) система керування постачальниками;
- b) система керування збутом;
- c) система керування кадрами;
- d) система управління будинками та спорудами;
- e) система керування наземним обладнанням;
- f) система керування виробництвом;
- g) система управління навчанням персоналу;
- h) система керування польотами;
- i) система керування вантажними операціями;
- j) система управління технічним обслуговуванням та ремонтом ПС;
- k) система диспетчерського управління;
- l) система управління факторами ризику, пов'язаними зі стомленням (FRMS).

У цивільній авіації дедалі більше виявляється тенденція до інтеграції всіх цих різних систем управління як функціональних компонентів загальної корпоративної системи управління. Переваги такої інтеграції очевидні:

- a) зменшення дублювання та, отже, витрат;
- b) зменшення загальних організаційних факторів ризику та збільшення рентабельності;
- c) знаходження балансу між потенційно конфліктуючими цілями;
- d) усунення потенційно конфліктуючих обов'язків та взаємин.

Кожна організація інтегрує вищезазначені системи з урахуванням власних виробничих вимог. Процеси управління ризиками є найважливішими характеристиками СУБП, СМК, EMS, FMS, OSHSMS та SeMS. Якщо СУБП

мала б функціонувати ізольовано від інших керуючих систем, то виникла б тенденція концентрації уваги виключно на факторах ризику безпеки польотів без розуміння характеру загроз для організації у плані якості, системи фізичної безпеки чи екології.

Незважаючи на те, що інтеграція в даний час виходить за межі сфери дії узгоджених SARPS ІКАО з управління безпекою польотів та справжнього керівництва, багато відомства цивільної авіації, а також постачальники продукції та обслуговування усвідомлюють переваги від інтеграції та гармонізації численних систем управління. Уявлення даних і розслідування в області безпеки польотів ефективно представлення даних про безпеку польотів.

Точне та своєчасне подання інформації про небезпечні фактори, інциденти та авіаційних пригод є одним з основних напрямків діяльності у сфері управління безпекою польотів. Дані, які використовуються для обґрунтування результатів аналізів безпеки польотів, що публікуються численними джерелами. Одним із найважливіших джерел такої інформацією є безпосередні свідчення експлуатаційного персоналу, оскільки саме ці співробітники щодня стикаються з небезпечними факторами під час виконання своїх службових обов'язків.

Місце роботи, в якому співробітники пройшли навчання та де заохочується інформування про допущених помилки та практичний досвід, є необхідною передумовою системи ефективного уявлення даних про безпеку польотів.

Системам ефективного представлення даних про безпеку польотів повсюдно властиві п'ять основних параметрів (рис. 2-7). Ефективне уявлення даних про безпеку польотів є ключовим компонентом керування безпекою польотів. Після представлення даних про небезпечні фактори їх можна аналізувати разом з даними з інших джерел підтримки процедур SRM і SA.

Ще одним джерелом даних, що використовується для підтримки процедур SRM та SA, є звіти про події. Звіти можуть містити як інформацію про події, що мають найбільше серйозні наслідки (авіаційні події, серйозні інциденти), так і про події з незначними наслідками, таких як експлуатаційні інциденти, відмови

систем/обладнання або дефекти. Хоча вимоги регламентуючих документів щодо обов'язкового подання даних про події з серйозними наслідками (авіаційні події, серйозні інциденти) є загальними для всіх, у розвиненій системі управління безпекою польотів передбачаються також повідомлення про події з незначними наслідками. Це дозволяє створити необхідний механізм моніторингу для своєчасного прогнозування всіх можливих варіантів розвитку подій із серйозними наслідками. Тенденція динаміки (частотності) подій із незначними наслідками неминуче стає провісником подій із наслідками серйозного характеру.

Розслідування авіаційних пригод та інцидентів

Коли відбувається авіаційна пригода або серйозний інцидент, запускається процес розслідування з метою виявлення можливих відмов в авіаційній системі та їх причин, а також вироблення контрзаходів для запобігання подібній події в майбутньому. Таким чином, у системі управління безпекою польотів процес розслідування авіаційних пригод відіграє чітко певну роль, настає після того, як зі своїм завданням не впоралися засоби захисту, бар'єри, перевірки та контрзаходи, передбачені системою.

Як один з важливих реагуючих компонентів структурних елементів СУБП та ДержПБП, розслідування авіаційних пригод сприяють постійному вдосконаленню авіаційної системи, надаючи відомості про основні причини авіаційних пригод/інцидентів та уроки, засвоєних із аналізу подій. Це допомагає обґрунтовувати рішення при розробці коригувальних заходів та відповідному розподілі ресурсів та визначати необхідні покращення авіаційної системи, включаючи СУБП, ДержПБП та процес державного розслідування авіаційних пригод. Якщо обов'язкові розслідування на державному рівні обмежуються авіаційними пригодами та серйозними інцидентами, то в рамках розвиненої системи управління безпекою можуть також розслідувати події з незначними наслідками.

Крім висновків з основних причин авіаційних пригод/інцидентів у ході

більшості розслідувань виявляються також небезпечні фактори/загрози. Ефективне та всебічне розслідування включає виявлення фактів та встановлення відмінностей між кінцевими наслідками, небезпечною дією та небезпечними факторами/загрозами, що сприяють авіаційному події/інциденту. Воно може включати будь-які фактори систематичного, прихованого або організаційного характеру, присутні у межах всієї авіаційної системи.

У сучасній проактивному середовищі управління безпекою польотів існує важлива та необхідна інтеграція між процесом розслідування авіаційної події/інциденту та процесом виявлення та уявлення даних про небезпечні чинники лише на рівні організації. Форми звітів про результати розслідування повинні містити чітко сформульоване положення щодо документування небезпечних факторів/загроз, що не виявлені в процесі розслідування та потребують окремого вивчення в рамках здійснюваного організацією процесу виявлення небезпечних факторів та зменшення пов'язаних з ними ризиків. Для окремих звітів за результатами розслідувань характерне обмеження, що містяться в них "укладень" і "заходів прийнятих/рекомендованих" виключно безпосередніми та прямими причинами подій. Таким чином, будь-які вторинні чи непрямі небезпечні фактори/загрози мають тенденцію ігноруватися, якщо тільки цю прогалину не вдається ліквідувати, зв'язавши процеси розслідування авіаційної події/інциденту та виявлення небезпечних факторів.

2.6 Збір і аналіз даних про безпеки польов

Заснований на даних процес прийняття рішень є одним із найважливіших аспектів системи управління. Види даних з безпеки польотів, що підлягають збору, можуть включати повідомлення про авіаційних пригодах та інцидентах, подіях, фактах недотримання, відхиленнях та небезпечних факторах. Якість даних, що використовуються для забезпечення ефективного процесу прийняття рішень, має враховуватися протягом усього періоду розробки та реалізації ДержПБП та СУБП. На жаль, багато баз даних не володіють якістю даних, необхідною для надійної основи, що забезпечує оцінку пріоритетів у сфері безпеки польотів та ефективність заходів щодо зменшення ризиків. Якщо не

враховувати обмеження даних, що використовуються для обґрунтування управління факторами ризику для безпеки польотів та гарантії безпеки польотів, це може призвести до викривлення результатів аналізу, що в свою чергу може стати причиною прийняття неправильних рішень та дискредитувати процес управління безпекою польотів.

Враховуючи важливість якості даних, організації повинні оцінювати дані, що використовуються для обґрунтування управління факторами ризику для безпеки польотів та гарантії безпеки польотів, наступним критерієм:

- a) Придатність. Зібрані дані прийнятні згідно з встановленими критеріями для них планованого використання.
- b) Повнота. Є всі дані, що відносяться до справи.
- c) Несуперечність. Ступінь, в якій вимір відповідного параметра є послідовним, може бути повторено і дозволяє уникнути помилок.
- d) Доступність. Дані доступні для аналізу.
- e) Своєчасність. Дані відносяться до періоду часу, що розглядається, і доступні в короткий строк.
- f) Захист. Дані захищені від ненавмисних чи зловмисних змін.
- g) Точність. У даних відсутні помилки.

При врахуванні зазначених семи критеріїв якості даних результатами аналізів даних щодо безпеки польотів будуть найбільш точні відомості, які можна використовувати для обґрунтування стратегічних рішень.

База даних про безпеку польотів

У контексті збору та аналізу даних про безпеку польотів термін "база даних про безпеку польотів" може включати такі види даних або інформації для підтвердження результатів аналізу:

- a) дані про розслідування авіаційної події;
- b) дані щодо обов'язкового розслідування інцидентів;
- c) дані, що добровільно надаються;
- d) дані щодо підтримки льотної придатності;
- e) дані щодо контролю експлуатаційних характеристик;

- f) дані щодо оцінки факторів ризику для безпеки польотів;
- g) дані з висновків/звітів щодо результатів перевірок;
- h) дані з досліджень/оглядів щодо безпеки польотів; а також
- i) дані про безпеку польотів, що надаються іншими державами, регіональними організаціями контролю за забезпеченням безпеки польотів (RSOO) або регіональними організаціями з розслідування авіаційних пригод та інцидентів (RAIO) тощо.

Залежно від контексту, база даних про безпеку польотів може давати посилання на державну(і) базу(и) даних, створену(і) в рамках ДержПБП, або внутрішню(і) базу(и) даних постачальників обслуговування, створену в рамках СУБП. Добровільні повідомлення можуть надходити від експлуатаційного персоналу (постачальників обслуговування, пілотів тощо), а також від пасажирів або громадськості.

Безліч даних у базі даних про безпеку польотів представлені у вигляді звітів про складні подіях, таких як авіаційні пригоди та інциденти. Звіти, що зберігаються в таких базах даних, зазвичай дають у відповідь цілу серію питань. Хто брав участь у події? Що спричинило складання звіту? Коли сталася подія? Де сталася подія? Зрештою, чому воно сталося? Бази даних інших видів відносяться до досить вузького кола питань. Це може бути польотна інформація, погодні умови або дані щодо інтенсивності повітряного руху. У таких звітах містяться лише голі факти.

Зазвичай база даних про безпеку польотів розміщується у різних місцях організації. Багато організації надають доступ до баз даних через інтерфейс, що дозволяє аналітикам, що займаються проблематикою безпеки польотів, знаходити та переглядати звіти, які їх цікавлять. Звіти можна переглядати окремо або поєднуючи їх у великі файли. Аналітичні інструменти дозволяють аналітикам переглядати дані у різних форматах: електронні таблиці, карти, графіки різних видів.

Для гарантії того, що бази даних будуть сприйняті та використані правильно, інформація, що стосується баз даних (т. зв. метадані), має бути документально оформлена та доступна користувачам.

Метадані включають описи полів, змін, внесених до бази протягом тривалого часу, правила користування, форму збору даних та посилання на допустимі значення.

Значна кількість баз даних про безпеку польотів були незалежно розроблені різними організаціями, що мають часом дуже специфічне коло відповідальності та потреба в аналіз. Для того, щоб дати можливість аналітикам, що займаються безпекою польотів, подивитися на ці питання під іншим кутом необхідно створювати центри об'єднання інформації з безпеки польотів, які могли б користуватися інформацією з різних джерел застосовувати загальні стандарти даних, консолідувати метадані та завантажувати інформацію на загальні платформи, що розміщуються у централізованих сховищах даних.

Після обробки даних про безпеку польотів вони стають доступними аналітикам, займається проблематикою безпеки польотів, через загальний інтерфейс та загальний набір аналітичних інструментів. Якщо аналітику будуть потрібні дані з декількох різних джерел, застосування загальних стандартів даних дозволить технічним фахівцям витягти дані з необхідних баз даних та створити абсолютно нову базу даних. Схема державної системи даних про безпеку польотів там вказані дані, процеси і вихідні дані, що відносяться, відповідно, до збору, аналізу та обміну даними про безпеку польотів.

Аналіз даних про безпеку польотів

Після збору даних про безпеку польотів із різних джерел організації повинні виконати необхідний аналіз для виявлення небезпечних факторів та контролю їх потенційних наслідків. Іншими цілями аналізу можуть бути:

- a) сприяння прийняттю рішення про те, які додаткові факти необхідні;
- b) встановлення прихованих факторів, що визначають недоліки у сфер забезпечення безпеки польотів;

с) сприяння підготовці обґрунтованих висновків; а також

d) відстеження та оцінка тенденцій та показників ефективності в галузі забезпечення безпеки польотів

Аналіз безпеки польотів часто буває ітеративним процесом із безліччю циклів. Він може включати як кількісні, і якісні показники. Відсутність вихідних кількісних даних змушує більше покладатися якісні методи аналізу.

У судженнях людини може бути певна частка упередженості, заснована на її минулому досвіді, що здатне вплинути на тлумачення результатів аналізу чи перевірки гіпотез. Одною з найбільш часто зустрічаються форм помилок у судженнях є так звана "упередженість підтвердження". Це тенденція шукати та залишати тільки ту інформацію, яка підтверджує те, що людина вже вважає правильною.

Аналітичні методи та засоби

Для аналізу безпеки польотів можуть бути використані такі методи:

a) Статистичний аналіз. Цей метод може бути використаний для оцінки значення виявлених тенденцій у сфері безпеки польотів, що часто відображаються у вигляді малюнків та графіків при графічному поданні результатів аналізу. Хоча статистичний аналіз може забезпечити найважливішу інформацію щодо значення тих чи інших тенденцій, якість даних і методи аналізу повинні бути перевірені ретельно уникнення помилкових висновків.

b) Аналіз тенденцій. Шляхом відстеження тенденцій даних про безпеку польотів можна прогнозувати майбутні події. Виникаючі тенденції можуть вказувати на зародження небезпечні фактори

с) Порівняння з нормативами. Можлива ситуація, коли відсутні достатні дані для створення фактичної основи, яка б дозволила провести порівняння обставин можливі події. У таких випадках можливо потрібно звернутися до реального досвіду аналогічних експлуатаційних умов.

d) Моделювання та випробування. У деяких випадках небезпечні фактори можуть проявитися в процесі моделювання або лабораторних випробувань для

підтвердження наслідків безпеки польотів використання існуючих чи нових видів авіаційних робіт, обладнання чи процедур.

е) Залучення експертів. Думка колег і фахівців може бути особливо корисною при оцінці небезпечних факторів різноманітного характеру, що належать до конкретного небезпечного стану. У справі визначення найкращого курсу коригуючих дій може також допомогти група експертів у різних галузях, сформована для оцінки фактів, що свідчать про небезпечний стан.

ф) Аналіз витрат/вигід. Прийняття рекомендованих заходів контролю за факторами ризику.

Безпека польотів може залежати від достовірності аналізу витрат/вигід. Витрати на реалізацію запропонованих заходів порівнюються з вигодами, які передбачається отримати в протязі певного часу. Іноді аналіз витрат/вигід може показати прийнятність наслідків ризику для безпеки польотів з урахуванням часу, зусиль та витрат, необхідних для коригувальних дій.

Управління інформацією про безпеку польотів

Ефективне керування безпекою польотів "забезпечується даними". Дієве управління базами даних організації є основною умовою ефективного та надійного аналізу безпеки польотів із використанням консолідованих джерел інформації.

Створення та ведення бази даних про безпеку польотів дає працівникам організації найважливіший інструмент системи моніторингу питань, пов'язаних із безпекою польотів. Є широкий вибір щодо недорогих електронних баз даних, здатних забезпечити виконання вимог організації, що стосуються управління даними.

Залежно від масштабу та складності організації, вимоги до системи, можуть включати певний набір можливостей ефективного управління даними про безпеку польотів. У загальному вигляді система має:

- a) мати зручний для користувача інтерфейс для введення та запиту даних;
- b) мати здатність перетворювати великий масив даних про безпеку польотів в значну інформацію, що забезпечує процес прийняття рішень;

с) сприяти зменшенню навантаження на керівників та працівників, які займаються питаннями забезпечення безпеки польотів;

d) функціонувати за досить невеликих витрат

Для того, щоб користуватися потенційними можливостями баз даних щодо безпеки польотів, необхідно мати загальне уявлення у тому, як вони функціонують. Хоча будь-яку інформацію, згруповану в певному порядку, вже можна вважати базою даних, паперові картотеки з їх простою системою підшивки та зберігання документів можуть підійти тільки для діяльності дуже незначного масштабу. Зберігання, реєстрація, пошук та вилучення даних при використанні паперових картотек є дуже трудомісткою справою.

Тому дані щодо безпеки польотів доцільно зберігати в електронній базі даних, що значно полегшує запит інформації, що зберігається, і генерування аналітичних матеріалів у різних форматах.

Функціональні характеристики та особливості різних систем управління базами даних різні, тому необхідно вивчити кожен з них, перш ніж вибрати найбільш підходящу систему. Базові функціональні характеристики повинні дозволити користувачеві виконувати, зокрема такі операції:

- a) реєструвати пов'язані з безпекою польотів події за різними категоріями;
- b) пов'язувати події з документами, що належать до них (наприклад, звіти та фотографії);
- c) відстежувати тенденції;
- d) складати аналізи, схеми та звіти;
- e) перевіряти архівні дані;
- f) обмінюватись даними про безпеку польотів з іншими організаціями;
- g) стежити за перебігом розслідування подій;
- h) стежити за реалізацією коригуючих дій

Захист даних про безпеку польотів

Враховуючи потенційну можливість неналежного використання даних про безпеку польотів, призначених виключно з метою підвищення рівня безпеки польотів, починати управління базою даних впливає із захисту даних.

Адміністратори баз даних повинні враховувати як необхідність захисту даних, і доступу до них тих, хто може сприяти підвищенню безпеки

польотів. Аспекти захисту включають:

а) адекватність правил "доступу до інформації" стосовно вимог управління

безпекою польотів;

б) політику організації у сфері захисту даних про безпеку польотів, що обмежує надання доступу до баз навколо тих осіб, яким він потрібен "з огляду на службову необхідності";

с) знеособлення, тобто виключення всієї інформації, яка може дозволити третій стороні ідентифікувати окремих осіб (наприклад, номери рейсів, дата/час, місце та тип повітряного судна);

д) забезпечення безпеки інформаційних систем, зберігання даних та мереж зв'язку;

е) заборона несанкціонованого використання даних.

2.7 Показники безпеки польотів і моніторинг подій

Вихідні дані системи збору та аналізу даних про безпеку польотів, якою оперує організація зазвичай представлені у вигляді діаграм або графіків. Такі діаграми та графіки, що використовуються у стандартних системах управління якістю та надійністю, зазвичай являють собою знімки з екрану

аналізованих даних, отриманих при одноразовому запиті.

Аналіз, який використовується для постійного моніторингу безпеки польотів, повинен проводитись на основі періодично вилучених даних, що використовуються при побудові діаграм або графіків тенденцій, та оновлюватись щомісяця або щокварталу. На діаграмі наведено дані про щомісяця публікованому показнику аварійності з урахуванням сумарного нальоту годинника авіапарком експлуатанта. Завдяки періодичному (щомісячному) завантаженні даних показника аварійності діаграма служить постійним індикатором тенденції у сфері безпеки польотів. Наступним кроком після того, як встановлено постійний індикатор тенденції у сфері безпеки

польотів, є визначення на його основі показника ефективності забезпечення безпеки польотів шляхом встановлення в діаграмі цільового та аварійного рівнів. Цей етап рекомендується виконувати після того, як на діаграмі нанесені точки даних за минулі періоди. Ці точки даних (забезпечення безпеки польотів за минулі періоди) будуть основою для встановлення або визначення неприйнятних рівнів аварійної тенденції, а також запланованого рівня покращення у сфері безпеки польотів, який має бути досягнутий протягом певного періоду часу.

Небезпечні фактори

Виявлення небезпечних факторів є неодмінною умовою управління факторами ризику безпеки польотів. Неправильне визначення відмінності між небезпечним фактором та фактором ризику веде до змішання понять. Ясне уявлення про те, що є небезпечними факторами та їх наслідками, необхідно для ефективного управління факторами ризику для безпеки польотів. Розуміння небезпечних факторів та наслідків.

Небезпечний фактор визначається фахівцями як стан чи предмет, що має потенційною можливістю завдати травми персоналу, заповдіяти збитку обладнанню чи конструкціям, викликати знищення матеріалів або знизити здатність здійснювати цю функцію. Для цілей управління факторами ризику для безпеки польотів, термін "небезпечний фактор" слід застосовувати раніше всього до умов, які могли б викликати або сприяти небезпечній експлуатації ПС або авіаційного обладнання, пов'язаного з безпекою польотів, продукції та послуг. (Інструктивний матеріал щодо розмежування небезпечних факторів, що безпосередньо відносяться до авіаційної безпеки, та інших загальних/галузевих небезпечних факторів.

Візьмемо, наприклад, вітер у 15 уз, який сам по собі не обов'язково є фактором, що створює небезпечну ситуацію. Насправді, вітер у 15 уз, який прямує прямо вздовж ВПП, буде сприяти поліпшенню льотно-технічних характеристик ПС під час зльоту та посадки. Однак якщо вітер в 15 уз дує під кутом 90° до ВПП гаданого зльоту або посадки, він стає бічним вітром, який

може стати небезпечним фактором через потенційну можливість сприяти порушенню експлуатації ПС, наприклад, бічному викочування за межі ЗПС.

Небезпека – невід’ємна частина авіаційної діяльності. Проте їх проявами та можливими наслідками можна займатися, застосовуючи різні стратегії компенсаційних заходів, покликаних стримувати потенціал небезпечних факторів, що може призвести до створення небезпечних умов експлуатації ЗС та авіаційного обладнання.

Існує поширена тенденція плутати небезпечні фактори з їх наслідками або результатами. Наслідок є результатом, спричиненим небезпечними факторами. Наприклад, відхилення ВС при русі по ЗПС (викочування за межі ЗПС) - це передбачуване наслідок, пов'язане з небезпечним фактором, який є забрудненою ЗПС. Якщо від початку правильно визначити небезпечний фактор, можна спрогнозувати наслідок чи результат, які можуть мати місце насправді.

Можна відзначити, що наслідки можуть бути багаторівневими, включаючи, наприклад, проміжну небезпечну дія, що передує кінцевим наслідкам (авіаційному події).

Повертаючись, наприклад, з боковим вітром, безпосереднім результатом небезпечного фактору могла стати втрата управління бічним рухом і, як наслідок, відхилення ПС під час руху по ЗПС.

Підсумковим наслідком могла стати авіаційна пригода. Заподіяння шкоди потенціалу небезпечного фактор реалізується через один або кілька наслідків. Тому для оцінки безпеки польотів важливо мати вичерпний звіт про всі можливі наслідки, описані точно і під практичним кутом.

Найбільш екстремальні наслідки – “загибель людей” необхідно відрізнити від наслідків із меншим шкодою, яка може виразитися у більшому навантаженні на екіпаж, дискомфорті пасажирів або зниженні коефіцієнта безпеки. Опис наслідків відповідно до їх ймовірних результатів допоможе в розроблення та практичної реалізації стратегії ефективних компенсаційних заходів за рахунок правильного визначення пріоритетів та розподілу

обмежених ресурсів. Правильне визначення небезпечних факторів забезпечує адекватну оцінку їхніх можливих реальних наслідків.

Слід проводити різницю між небезпечними факторами та помилками, нормальним та неминучим складовим елементом людської діяльності, з якими необхідно вміти поводитися.

Виявлення та пріоритизація небезпечних факторів

Небезпечні фактори існують на всіх рівнях організації та виявляються під час використання систем подання даних, інспекцій чи перевірок. Збої можуть відбуватися при взаємодії небезпечних факторів із певними провокуючими факторами. Тому небезпечні фактори необхідно виявляти ще до того, як вони призведуть до авіаційних пригод, інцидентів або інших подій, пов'язаних з безпекою польотів. Важливим механізмом попередження (проактивного) виявлення небезпечних факторів є добровільна система представлення даних про небезпечні фактори/інциденти.

Інформація, зібрана з використанням подібних систем подання даних, може бути доповнена результатами спостережень або висновками, зробленими під час регулярних інспекцій на місцях чи аудиторських перевірок організацій.

Небезпечні фактори також можуть бути виявлені під час перегляду або вивчення звітів про результати розслідувань, особливо ті, які вважаються непрямими сприятливими факторами.

Висновки до розділу 2

У контексті авіації безпека – це "стан, при якому можливість заподіяння шкоди особам або майну знижена до прийняттого рівня та підтримується на цьому або нижчому рівні за допомогою постійного процесу виявлення небезпечних факторів та управління факторами ризику безпеки польотів".

Хоча усунення авіаційних пригод та/або серйозних інцидентів залишається кінцевою метою людської діяльності в цій галузі, проте визнається, що авіаційні системи не можуть бути повністю вільні від небезпечних факторів та пов'язаних з ними ризиків. Ніяка діяльність людини або створена ним система не гарантована від повної відсутності експлуатаційних помилок та їх наслідків.

Виявлення небезпечних факторів є неодмінною умовою управління факторами ризику безпеки польотів. Неправильне визначення відмінності між небезпечним фактором та фактором ризику веде до змішання понять. Ясне уявлення про те, що є небезпечними факторами та їх наслідками, необхідно для ефективного управління факторами ризику для безпеки польотів.

Заснований на даних процес прийняття рішень є одним із найважливіших аспектів системи управління. Види даних з безпеки польотів, що підлягають збору, можуть включати повідомлення про авіаційних пригодах та інцидентах, подіях, фактах недотримання, відхиленнях та небезпечних факторах. Якість даних, що використовуються для забезпечення ефективного процесу прийняття рішень, має враховуватися протягом усього періоду розробки та реалізації.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

3.1 Формулювання цілей та завдань дослідження

Цей експеримент має на меті проаналізувати, як різні відсотки польотів дистанційного керування та різні частоти відмов С2 (кількість відмов С2 за годину польоту) впливають на кількість розділених втрат на регіональному рівні.

Через велику кількість працюючих БПЛА розділення польоту БПЛА буде неможливим, і він повинен працювати в змішаному середовищі. Оскільки органи ОПП прагнуть забезпечити безпечні та ефективні польоти від вильоту до прибуття, головна проблема для роботи безпілотників полягає в тому, щоб інтегрувати їх у поточне середовище УПР, щоб забезпечити відповідність дистанційно керованого повітряного судна поточним експлуатаційним вимогам і процедурам. Очікується, що існуючі організації повітряного руху не будуть адаптуватися до роботи безпілотників з метою безпеки.

Це дослідження визначить, як різні показники несправності зв'язку С2 впливають на УПР. Тому метою цього дослідження є встановлення методу визначення співвідношення між кількістю потенційних конфліктів, викликаних дистанційно пілотованими літаками, та частотою збоїв зв'язку С2 шляхом моделювання щільного повітряного простору (наприклад, певної частини Західної Європи) у межах 24 годин. Інтерес до пілотованих польотів поступово замінять безпілотники.

З огляду на зазначені раніше цілі дослідження, тепер можна сформулювати дослідницькі питання для цього експерименту. Вони такі:

1. Чи вплине впровадження польотів БПЛА на ефективність мережі?
2. Яким чином збільшення відсотка пілотованих літаків, які будуть замінені дистанційно пілотованими, вплине на кількість потенційних конфліктів?
3. Чи існує зв'язок між кількістю відмов за годину польоту С2 і загальною кількістю потенційних конфліктів?

4. Наскільки високою може бути частота збоїв зв'язку C2, щоб гарантувати, що пропускна здатність мережі не впливає на політ БПЛА?

Перший крок — визначити, скільки польотів дистанційного керування можна виконати для заданої частоти відмов C2 без впливу на поточний статус безпеки авіації. По-друге, якщо ви знаєте, що певний відсоток польотів керується дистанційно, визначте, наскільки високим може бути рівень відмов без впливу на рух у контрольованій зоні.

Метою розрахункового експерименту є визначення того, як різні значення частоти відмов каналу зв'язку C2 впливають на кількість потенційних зіткнень (втрат відриву). Це буде досліджено за допомогою аналізу повітряного простору Монте-Карло, в якому різні відсотки польотів замінюються дистанційно пілотованими літаками.

Метою цього експерименту є визначення того, як збої зв'язку C2, з якими стикаються БПЛА при вході до відділу УПР, впливають на ключові показники роботи АТМ.

Метою цього дослідження є встановлення методу швидкого моделювання відділу УПР за допомогою реальних польотних даних (відсоток пілотованих польотів є випадковим), щоб визначити, як дрони C2, що літають поблизу пілотованих літаків, впливають на ефективний політ цих польотів. Його замінює дистанційно керований літак.

Друга мета дослідження полягає в тому, щоб швидко змодельовати час сектора УПР, використовуючи різні відсотки реальних даних польоту від дистанційно пілотованих літаків, щоб визначити, як все більше і більше дронів, які літають з пілотованими літаками, впливатимуть на політ цих польотів. Одна з них – збій системи управління та контролю. Цей метод можна використовувати в інших підрозділах для оцінки впливу збоїв у польоті БПЛА, викликаних C2. Питання дослідження такі:

1. Чи вплине це на ефективність пілотованого польоту, якщо політ буде перетворено на політ БПЛА, який втратив зв'язок між командою та управлінням?

(а) Який вплив матиме впровадження польотів безпілотників на вибрані показники ефективності польоту?

(б) Чи існує зв'язок між розміром зони ізоляції, яка використовується навколо БПЛА, і несправністю каналу зв'язку C2 та ефективністю польоту пілотованого літака?

2. Як перетворення кількох польотів на БПЛА (тільки один через несправність C2) впливає на ефективність польотів пілотованих?

3. Яке співвідношення між обраними показниками льотної ефективності, коли дистанційно керований літак виконує політ один або кілька разів?

Мета цього дослідження полягає в тому, щоб зрозуміти, як різні стратегії (з точки зору розміру зони карантину, застосованої після того, як дрон втратив зв'язок C2) впливають на ключові показники ефективності при перервах зв'язку. Це слід об'єднати з майбутніми дослідженнями того, як контроль АТС реагує на втрати C2 і який розмір зони поділу необхідно створити. Метод, використаний у цьому експерименті, може бути застосований до інших відділів і використаний для кращого розуміння того, як планувати операції безпілотників, щоб підтримувати той самий рівень ефективності АТС після широкомасштабного впровадження польотів БПЛА.

3.2 Математичний апарат та показники статистичних досліджень

Проводячи статистичні дослідження, вчені мають справу з випадковими величинами. Випадкові величини поділяють на дискретні та безперервні типи [18].

Випадкову величину називають дискретною, якщо вона приймає дискретну множину значень x_1, x_2, \dots, x_n . Дискретна випадкова величина ξ може бути представлена за допомогою таблиці, яку називають розподілом випадкової величини:

$$\xi = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ p_1 & p_2 & \dots & p_n \end{pmatrix}$$

де x_1, x_2, \dots, x_n - можливі значення величини ξ , а p_1, p_2, \dots, p_n — відповідні їм ймовірності. Тобто, ймовірність того, що випадкова величина ξ прийме значення x_i (позначимо її через $P\{\xi=x_i\}$), дорівнює p_i :

$$P\{\xi=x_i\}=p_i.$$

Числа x_1, x_2, \dots, x_n можуть приймати будь-яке значення, але ймовірності p_1, p_2, \dots, p_n повинні задовільняти двом умовам:

$$\text{всі } p_i \text{ — позитивні : } p_i > 0; \quad (3.1)$$

$$\text{сума всіх } p_i \text{ дорівнює одиниці: } p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1. \quad (3.2)$$

З другою умови видно, що ξ повинна в кожному випадку прийняти одне із значень x_1, x_2, \dots, x_n . [18]

Математичним очікуванням випадкової величини ξ називають число

$$M\xi = \sum_{i=1}^n x_i p_i. \quad (3.3)$$

Також математичне очікування можна представити в такому вигляді:

$$M\xi = \frac{\sum_{i=1}^n x_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

Зрозуміло, що $M\xi$ — середнє значення величини ξ , до того ж більш ймовірні значення x_i входять в суму з більшою вагою. Відмітимо базові властивості математичного очікування [18]:

- якщо c — будь-яка не випадкова величина, то

$$M(\xi+c) = M\xi + c, \quad (3.4)$$

$$M(c\xi) = cM\xi; \quad (3.5)$$

- якщо ξ та η — дві будь-які випадкові величини, то

$$M(\xi+\eta) = M\xi + M\eta. \quad (3.6)$$

Дисперсією випадкової величини ξ називають число

$$D\xi = M[(\xi - M\xi)^2]. \quad (3.7)$$

Отже, дисперсія $D\xi$ — це математичне очікування квадрату відхилення випадкової величини ξ від її середнього значення $M\xi$. Крім того, завжди $D\xi > 0$.

Якщо ми спостерігатимемо величину ξ багато разів то ми отримаємо значення $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$ (кожне з яких буде дорівнюватиме одному з чисел x_1, x_2, \dots, x_n), то середнє арифметичне від цих значень буде близько до $M\xi$

$$M\xi \approx (\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_N) \frac{1}{N}. \quad (3.8)$$

А дисперсія $D\xi$ характеризує розкид цих значень навколо середнього $M\xi$.

Вираз (3.7) для дисперсії можна перетворити за допомогою (3.4) — (3.6):

$$D\xi = M[\xi^2 - 2M\xi \cdot \xi + (M\xi)^2] = M(\xi^2) - 2M\xi \cdot M\xi + (M\xi)^2,$$

$$\text{Звідки } D\xi = M(\xi^2) - (M\xi)^2 \quad (3.9)$$

Вираз (3.9) зручніше використовувати при практичних обрахунках.

Відмітимо основні властивості дисперсії:

- якщо c — будь-яка не випадкова величина, то

$$D(\xi + c) = D\xi, \quad (3.10)$$

$$D(c\xi) = c^2 D\xi \quad (3.11)$$

Незалежність випадкових величин займає важливе місце в теорії ймовірностей. Для незалежних випадкових величин ξ і η має місце таке співвідношення:

$$M(\xi\eta) = M\xi \cdot M\eta, \quad (3.12)$$

$$D(\xi + \eta) = D\xi + D\eta. \quad (3.13)$$

Існують також безперервні випадкові величини. Якщо випадкова величина ξ може приймати будь-яке значення в інтервалі (a, b) , вона називається неперервною. Безперервна випадкова величина ξ визначається шляхом вказівки інтервалу (a, b) і функції $p(x)$, що містить можливі значення величини. Її називають густиною ймовірності випадкової величини ξ (або щільністю розподілу ξ). Розглянемо значення $p(x)$: нехай (a', b') — будь-який інтервал, що містить $y \in (a, b)$. Ви також можете записати це як $a' \leq a, b' \leq b$. Тоді ймовірність в інтервалі (a', b') дорівнює інтегралу

$$P(a' < \xi < b') = \int_{a'}^{b'} p(x) dx \quad (3.14)$$

Множина значень ξ може бути будь-яким інтервалом. Можливо, коли $a = -\infty$, а $b = \infty$.

Але щільність $p(x)$ повинна задовільняти двом умовам, які ідентичні умовам (3.1) та (3.2) для дискретних величин:

- щільність $p(x)$ позитивна:

$$p(x) > 0 \quad (3.15)$$

- інтеграл від щільності $p(x)$ на протязі усього інтервалу (a, b) дорівнює одиниці:

$$\int_a^b p(x)dx = 1. \quad (3.16)$$

Математичне очікування неперервної випадкової величини:

$$M\xi = \int_a^b xp(x)dx. \quad (3.17)$$

Також для виразу математичного очікування можна записати іншу форму представлення:

$$M\xi = \frac{\int_a^b xp(x)dx}{\int_a^b p(x)dx}.$$

Всі викладені залежності для дискретних випадкових величин (3.4) — (3.13) будуть справедливі і для неперервної випадкової величини [18].

Це ще один вираз математичного очікування випадкової функції. Припустимо, як згадувалося раніше, що випадкова величина ξ має щільність ймовірності $p(x)$. Виберемо довільну неперервну функцію $f(x)$ і розглянемо випадкову величину $\eta = f(\xi)$, яку також називають випадковою функцією. Можна показати, що

$$Mf\xi = \int_a^b f(x)p(x)dx. \quad (3.18)$$

Зазначимо, що $Mf(\xi) \neq f(M\xi)$. Випадкову величину γ , що визначена в інтервалі $(0, 1)$ і має щільність $p(x)=1$, називають рівномірно розподіленою в $(0, 1)$ [18].

На справді, який би інтервал (a', b') в межах $(0, 1)$ ми ні візьмемо, ймовірність того, що γ попаде в (a', b') дорівнює

$$\int_{a'}^{b'} p(x)dx = b' - a',$$

Це довжина цього інтервалу. Якщо поділити (0,1) на будь-яку кількість інтервалів однакової довжини, то ймовірність потрапляння γ в будь-який з цих інтервалів однакова. Ми також можемо довести

$$M\gamma = \int_0^1 xp(x)dx = \int_0^1 xdx = \frac{1}{2};$$

$$D\gamma = \int_0^1 x^2p(x)dx - (M\gamma)^2 = \frac{1}{3} - \frac{1}{4} = \frac{1}{12}.$$

Виділяють також нормальні випадкові величини. Нормальною (або гауссовою) випадковою величиною називають випадкову величину ζ , яка визначена на вісі від мінус ∞ до ∞ і має щільність, що дорівнює:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.19)$$

де $a > 0$ та $\sigma > 0$. Параметр a не впливає на форму $p(x)$, його зміна призводить лише до зсуву характеристики вздовж вісі x . А при зміні σ форма графіка змінюється. Це можна побачити

$$\max p(x) = p(a) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}.$$

Якщо зменшити σ , $\max p(x)$ збільшиться. Однак за умови (3.16) загальна площа під $p(x)$ на малюнку нижче дорівнює 1. Отже, пік залежності буде збільшуватися вгору біля $x = a$, але зменшуватися при всіх достатньо великих значеннях x . Можна також довести, що $M\zeta = a$ і $D\zeta = \sigma^2$.

Нормальні випадкові величини дуже поширені в дослідженнях. Наприклад, похибка вимірювання δ зазвичай є нормальною випадковою величиною. Якщо систематичної похибки вимірювання немає, то $a = M\delta = 0$. Значення $\sigma = \sqrt{D\delta}$ називається (середньоквадратична помилка, MSE), що представляє похибку вимірювання. Не враховуйте значення a і σ в (3.19):

$$\int_{a-3\sigma}^{a+3\sigma} p(x)dx = 0,997.$$

$$\text{З (3.14) слід, що } P\{a - 3\sigma < \zeta < a + 3\sigma\} = 0,997 \quad (3.20)$$

Вираз (3.20) також називають правилом «три сигми». Ймовірність 0,997 дуже близька до 1. Крім того, вираз (3.20) можна інтерпретувати так: Отримати значення ζ , яке відрізняється від $M\zeta$ більш ніж на 3σ , в одному експерименті майже неможливо [18].

3.3 Основні положення методу Монте-Карло

Припустимо, нам потрібно обчислити деяке невідоме значення m . Нам також потрібно сформулювати випадкову величину ξ , щоб виконувалося рівняння $M\xi = m$. Нехай $D\xi = b^2$. [18]

Розглянемо N випадкових величин $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$, розподіл яких узгоджується з розподілом ξ . Якщо значення N дуже велике, то відповідно до центральної граничної теореми теорії ймовірностей, і розподіл $\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_N = \rho_N$ буде наближено до нормального розподілу, з параметрами $a = Nm$ і $\sigma^2 = Nb^2$. Похідне від виразу (3.20)

$$P\{Nm - 3b\sqrt{N}\sqrt{N} < \rho_N < Nm + 3b\sqrt{N}\sqrt{N}\} \approx 0,997.$$

Якщо поділити нерівність у фігурних дужках на N , то отримаємо еквівалентну нерівність і ймовірність його залишиться таким же:

$$P\{m - \frac{3b}{\sqrt{N}} < \frac{\rho_N}{N} < m + \frac{3b}{\sqrt{N}}\} \approx 0,997.$$

Це співвідношення перепишемо у такому вигляді:

$$P\{|\frac{1}{N}\sum_{j=1}^N \xi_j - m| < \frac{3b}{\sqrt{N}}\} \approx 0,997. \quad (3.21)$$

Рівняння (3.21) є основою методу Монте-Карло, оскільки дозволяє обчислити m і оцінити похибку. З (3.21) видно, що середнє арифметичне цих значень буде приблизно дорівнює m . Похибка цього наближення, ймовірно, не перевищує $3b/\sqrt{N}$. Зі збільшенням N похибка наближається до нуля. [19]

Середньоквадратична помилка (MSE) - це відхилення вимірюваного значення від фактичного значення (у цьому випадку - середнього значення)

$$MSE(Z_N^{MC}) = \frac{\sigma^2}{N}, \quad (3.22)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - Z_N^{MC})^2, \quad (3.23)$$

Вибіркове відхилення $f(X_1), \dots, f(X_N)$. Оскільки формулювання MSE, наведене в (3.22), використовує квадратичну оцінку, оцінене значення не можна прямо порівнювати зі значенням MSE. Тому слід використовувати середньоквадратичну помилку, яку можна обчислити з виразу

$$RMSE(Z_N^{MC}) = \sqrt{MSE(Z_N^{MC})} = \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{N}} \quad (3.24)$$

Через квадратний корінь з N у знаменнику, для зменшення помилки вдвічі потрібно вчетверо більшу кількість ітерацій. Це означає, що для підвищення точності результату з десятковою комою необхідно 100-кратне збільшення, а для кінцевого і принаймні помірно великого N довірчий інтервал (CI) можна використовувати як доповнення до оцінки аналізу Монте-Карло. У рівнянні 3.25 z_δ представляє квантиль $1-\delta$ стандартного нормального розподілу ($\Phi(z_\delta) = 1-\delta$) [19].

$$DI = (Z_N^{MC} - z_{\delta/2} \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{N}}; Z_N^{MC} + z_{\delta/2} \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{N}}). \quad (3.25)$$

Використовуючи (3.25) верхня та нижня границі ДІ можуть бути переписані так:

$$\text{Нижня границя ДІ} = \bar{X} - z_{\delta/2} \cdot RMSE(Z_N^{MC})$$

$$\text{Верхня границя ДІ} = \bar{X} + z_{\delta/2} \cdot RMSE(Z_N^{MC})$$

Для $CI = 95\%$, $\delta = 0,05$ і $z_\delta / 2 \approx 1,96$. 95% значення ДІ зазвичай є типовим значенням аналізу Монте-Карло, і прийняття рішення про більш високе значення ДІ не обов'язково збільшує цінність дослідження. Похибка (MOE) показує відстань між нижньою і верхньою межами CI і значенням Z_N^{MC} :

$$MOE = z_{\delta/2} \cdot RMSE(Z_N^{MC}) \quad (3.26)$$

3.4 Показники ефективності безпеки польотів, які оцінюються в експерименті

Обрано 9 показників ефективності (ПЕ). Ці показники які будуть оцінені під час моделювання, наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 — Показники ефективності

Показник ефективності	Скорочення	Одиниця вимірювання
Кількість потенційних конфліктів	ПЕ1	-
Завантаження диспетчера УПР	ПЕ2	час
Зайнятість сектору	ПЕ3	ПС/хв.
Відстань	ПЕ4	мм/польот
Час польоту	ПЕ5	с/польот
Споживання палива	ПЕ6	кг/польот
Втрачена висота	ПЕ7	фут/зниж
Набрана висота	ПЕ8	фут/набір
Відхилення висоти	ПЕ9	Фут

ПЕ1 : Кількість потенційних конфліктів

Така ситуація виникає, коли мінімальні вимоги щодо рознесення (бічного та вертикального) між двома літаками більше не виконуються. Потенційний конфлікт визначається як мінімальна відстань між порушенням псевдорадарних прогнозів диспетчера майбутнього положення пари літаків. Цей показник вимірює кількість потенційних конфліктів у відділі за ітерацію. У змодельованому середовищі літак-привид відлітає від «справжнього» літака на кожному його кроку та летів вперед протягом 10 хвилин. Це схоже на роботу симулятора протягом 10 хвилин для кожного польоту на кожному етапі моделювання, щоб визначити, чи буде втрата розриву. Потенційний конфлікт було виявлено за 5 хвилин до фактичного конфлікту.

Коли на екрані радару виявлено потенційний конфлікт, контролер попросить літак (або один або обидва) виконати ряд операцій, щоб уникнути фактичного конфлікту. Якщо дрон конфліктує з іншим літаком, дрон буде виключено зі стратегії вирішення конфлікту, щоб імітувати втрату зв'язку C2. Згодом дрон вийде з-під контролю і буде визначено, як було визначено спочатку. Маршрут польоту.

ПЕ2: Завантаження диспетчера УПР

Цей показник включає два елементи: навантаження на основі завдань і моніторинг. Одиницею виміру є відсоток активного часу диспетчера за 10-хвилинний інтервал. Приклади навантажень на основі завдань включають: очищення висоти, вирішення конфліктів, тестування швидкості, інтервали та оновлення польотів. Наприклад, якщо є 10 команд зміни висоти за 10-хвилинний інтервал, і кожен контролер займає 6 секунд, навантаження на основі завдань, пов'язаних із маневрами зміни висоти, становить $10 \cdot 6 / 600 = 10\%$. Робоче навантаження моніторингу охоплює завдання, які охоплюють певний період часу, наприклад моніторинг літака від моменту його входу в сектор до моменту його доставки в наступний сектор. Наприклад, якщо диспетчер витрачає в середньому 12 секунд на спостереження за рейсом і повинен відстежувати два рейси з інтервалом в 10 хвилин, один протягом 2 хвилин, а другий протягом 7 хвилин, загальний час моніторингу становить 9 хвилин. Це означає, що $9 \cdot 12 = 1,8$ хвилини, витрачені на моніторинг літака, або 18% моніторингового навантаження.

Середовище моделювання за замовчуванням призначає середній час виконання для кожного завдання планувальника. Протягом періоду моделювання (6:00-07:00) буде шість 10-хвилинних блоків часу, включаючи загальне навантаження на завдання диспетчера. Прийміть середнє з шести значень навантаження, щоб отримати середнє навантаження планувальника за один запуск. При інтерпретації результатів слід пам'ятати, що для цього експерименту моделюється середовище передбачає, що для сектора є тільки один контролер.

ПЕ3: Зайнятість сектору

Зайнятість у відомстві визначається як кількість рейсів, оброблених УПР (на даний момент) у цьому відділі за хвилину. Наприкінці кожної ітерації обчисліть середнє навантаження для 60-хвилинного моделювання.

ПЕ4: Відстань польоту

Відстань польоту визначається як кількість морських миль, яку літак пролітає в секторі. Це значення розраховується щоразу, коли літак залишає сектор. Наприкінці кожної ітерації розраховується середня відстань усіх польотів, які виконує пілотований літак.

ПЕ5: Час польоту

Для кожного польоту час польоту визначається як інтервал часу (у секундах) польоту в межах сектора (бічні та вертикальні межі). Розрахунок цього показника враховує різницю між часом виходу з сектора та часом входу. Симулятор буде фіксувати ці часи кожного разу, коли літак входить або залишає один із секторів УПР. Для кожної ітерації середній час польоту розраховується шляхом ділення суми всіх циклів польоту, виконаних пілотованим літаком, на кількість польотів, пов'язаних з БПЛА.

ПЕ6: Витрата палива

Витрата авіаційного палива (кг) вимірюється лише протягом інтервалу часу, протягом якого літак знаходиться в секторі. Це залежить від типу літака, висоти та поточної швидкості (крейсерський/спуск/схід). Цей показник фіксує середню витрату палива всіма польотами без БПЛА.

Кожного разу, коли літак входить у сектор, його поточна висота (у футах) буде записуватися як вихідна висота. Коли він покине сектор, поточна висота буде записана як висота виходу. Щоб проаналізувати зміни рівня польоту під час моделювання (якщо вирішення потенційного конфлікту призводить до польоту на зниження/вгору), будуть використані три різні показники ефективності: втрата висоти, збільшення висоти та відхилення висоти.

PE7: Втрачена висота

Коли повітряне судно залишає сектор на висоті, меншій, ніж коли він увійшов у сектор, різниця між висотами виходу та входу додається до змінної втрати висоти (у футах, абсолютне значення). Ця змінна підсумовує зміну висоти зниження літака під час моделювання. Наприкінці кожної ітерації моделювання це число фіксуватиме середню висоту передачі літака на спад (застосовується лише до польотів, що виконуються без БПЛА).

PE8: Набрана висота

Коли висота вильоту польоту з сектора перевищує висоту його входу в сектор, різниця між висотами виходу та входу буде додана до змінної висоти. Ця змінна підсумовує зміну висоти польоту для отримання висоти під час моделювання. Наприкінці кожної ітерації моделювання індекс ефективності буде реєструвати середню висоту, отриману літаком, який набирає висоту (також застосовно до польотів, що виконуються без БПЛА).

PE9: Відхилення висоти

Цей індекс ефективності представляє середнє значення PE7 і PE8 і використовується для аналізу загальної зміни висоти, що відбувається під час процесу моделювання.

Опис легенд моделювання в експерименті

У цьому дослідженні було представлено 14 варіантів подій-легенд і було розглянуто лише два випадки: у секторі є лише один безпілотник, а в секторі — кілька дронів. Легенда 0 – це базова лінія, де жоден політ не замінюється безпілотником. Легенди 1.1 — 1.8 замінюють один з рейсів пілотованого ПС на ДПЛА з відмовою зв'язку в каналі C2. Використовують дві моделі ДПЛА класу HALE - MQ-9 Reaper та RQ-4A Global Hawk. Під час моделювання також було перевірено 4 стратегії поділу: зона поділу не збільшувалася (тобто так само, як і інші польоти в секторі — 1.1 і 1.5), а зона відриву зросла на 20% (6 морських миль/1200 футів) - 1.2 і 1.6), збільшити площу відриву на 40% (7 морських миль/1400 футів) - 1,3 і 1,7) і збільшити площу відокремлення на 60% (8

морських миль/1600 футів - 1,4 і 1,8) . У другій частині експерименту (Рисунок 2.1-2.5) 10-20% польотів були замінені безпілотниками MQ-9, а також було перевірено більше значення зони поділу (збільшення на 60-200% порівняно з найменшими 5 парусними миль/ 1000 футів відповідно до вимог Міжнародної організації цивільної авіації). У таблиці 4.5 підсумовані умови випробування в цьому експерименті.

Таблиця 4.5 — Опис легенд другого експерименту

Легенда	Кількість та модель ДПЛА з відмовою каналу C2	Інші моделі ДПЛА	Збільшення зони розділення	Значення зони розділення для ДПЛА з відмовою
0 (базова)	немає	немає	немає	немає
1.1	Один RQ-4A	немає	0%	5 морськ. миль/1000 ф
1.2	Один RQ-4A	немає	20%	6 морськ. миль/1200 ф
1.3	Один RQ-4A	немає	40%	7 морськ. миль/1400 ф
1.4	Один RQ-4A	немає	60%	8 морськ. миль/1600 ф
1.5	Один RQ-4A	немає	0%	5 морськ. миль/1000 ф
1.6	Один MQ-9	немає	20%	6 морськ. миль/1200 ф
1.7	Один MQ-9	немає	40%	7 морськ. миль/1400 ф

1.8	Один MQ-9	немає	60%	8 морськ. міль/1600 ф
2.1	Один MQ-9	Дев'ять MQ-9 (20%)	60%	8 морськ. міль/1600 ф
2.2	Один MQ-9	Дев'ять MQ-9 (20%)	100%	10 морськ. міль/2000 ф
2.3	Один MQ-9	Дев'ять MQ-9 (20%)	200%	15 морськ. міль/3000 ф
2.4	Один MQ-9	Чотири MQ-9 (10%)	100%	10 морськ. міль/2000 ф
2.5	Один MQ-9	Чотирнадцять MQ-9 (30%)	100%	10 морськ. міль/2000 ф

Характеристики обраних моделей ДПЛА

Відповідно до легенди, що обробляється (крім основної легенди), один або кілька рейсів буде випадково замінено ДПЛА. Серед збільшених безпілотників лише один безпілотник вийшов з ладу в каналі зв'язку С2, що було імітовано шляхом створення зони ізоляції навколо нього, яка була більшою за розміром, ніж інші літаки. Крім того, безпілотник виключений з будь-якої стратегії вирішення конфлікту. У цьому експерименті будуть використовуватися дві моделі ДПЛА - RQ-4A Global Hawk та MQ-9 Reaper. ДПЛА RQ-4A Global Hawk (рис.1.4) - це безпілотне повітряне судно для спостереження, розроблене компанією Northrop Grumman і використовується ВПС США у військових операціях [6]. RQ-4A працює на турбореактивному двигуні і може пролетіти до 28 годин або 14000 км.

ДПЛА MQ-9 Reaper (рис. 4.20) - це турбогвинтовий безпілотний літальний апарат, кий також використовується для тривалих спостережень або

спостережень у повітрі. Він також використовується для виконання таких завдань, як моніторинг пожежі та незаконна прикордонна діяльність. У таблиці 4.6 узагальнено характеристики двох БПЛА, які будуть використані в дослідженні.



Рисунок 4.20 - MQ-9 Reaper [26]

Таблиця 4.6 — Характеристики ДПЛА, які використовують в експерименті

Код ДПЛА	Назва ДПЛА	Дальність польоту, км	Тривалість польоту, год.	Потолок, фут.	МТО W, кг	Крейсерська швидкість, км/год	Тип двигуна
RPA1	RQ-4A Global Hawk	1400	28	60000	14628	3350	турбореактивний

RPA2	MQ-9 Reaper	1852	14	50000	4760	2000	турбогвинтовий
------	----------------	------	----	-------	------	------	----------------

Порівняно з іншими літаками в експерименті, окрім різниці в крейсерській швидкості між БПЛА та пілотованими літаками (табл. 4.3 і 4.6), існують також відмінності в характеристиках підйому та зниження розглянутого БПЛА. Рівняння швидкості наростання (RC) засноване на рівнянні руху, припускаючи висхідну нестійку квазілінійну траєкторію. Швидкість підйому розраховується за рівнянням 4.5, де RC_{st} – швидкість підйому під час стійкого польоту ($dV/dt = 0$), що наведено у рівнянні 4.6. Змінна V – це справжня швидкість повітря, W – вага літака, T – його тяга, D – опір, P_a та P_r – доступна та необхідна потужність, g – стандартне прискорення внаслідок сили тяжіння.

$$RC = \frac{RC_{st}}{1 + \frac{V}{g} \frac{dV}{dh}} \quad (4.5)$$

$$RC_{st} = \frac{V \cdot (T - D)}{W} = \frac{P_a - P_r}{W} \quad (4.6)$$

Оскільки типовий маневр підйому виконується на постійній заданій швидкості повітря та постійної потужності, справжня повітряна швидкість збільшується з висотою, що відображається в різних значеннях швидкості підйому для кожної висоти польоту. На рис. 4.21 та рис. 4.22 показані типові темпи підйому та спуску для RQ-4A та MQ-9 RPAS, а також для комерційних цивільних літаків, які найчастіше використовуються в цьому експерименті. З рис. 4.21 видно, що MQ-9 має найнижчі характеристики підйому, ніж усі інші літаки, за винятком ATR-75. Тільки один із 53 польотів у моделюванні був виконаний літаком ATR, а це означає, що в більшості випадків MQ-9 буде літаком з найнижчими характеристиками налаштування. З іншого боку, RQ-4A злітає швидше, ніж будь-який інший комерційний літак. Однак на рисунку 4.22 показано, що Global Hawk має найнижчу швидкість зниження з усіх розглянутих літаків, зі швидкістю зниження від 1200 до 1600 фут/хв для рівня

польоту, що належить цьому сектору. Поки ешелон 180 MQ-9 не матиме подібних характеристик з ATR-75, його продуктивність буде знижуватися, якщо він перевищить цей рівень. DH8D не схожий на будь-який інший розглянутий літак, зі збільшенням висоти польоту та трьома локальними піками 120, 150 та 180 ешелону загальна продуктивність падає. Ці відмінності у висотах підйому та спуску слід враховувати при аналізі результатів моделювання.

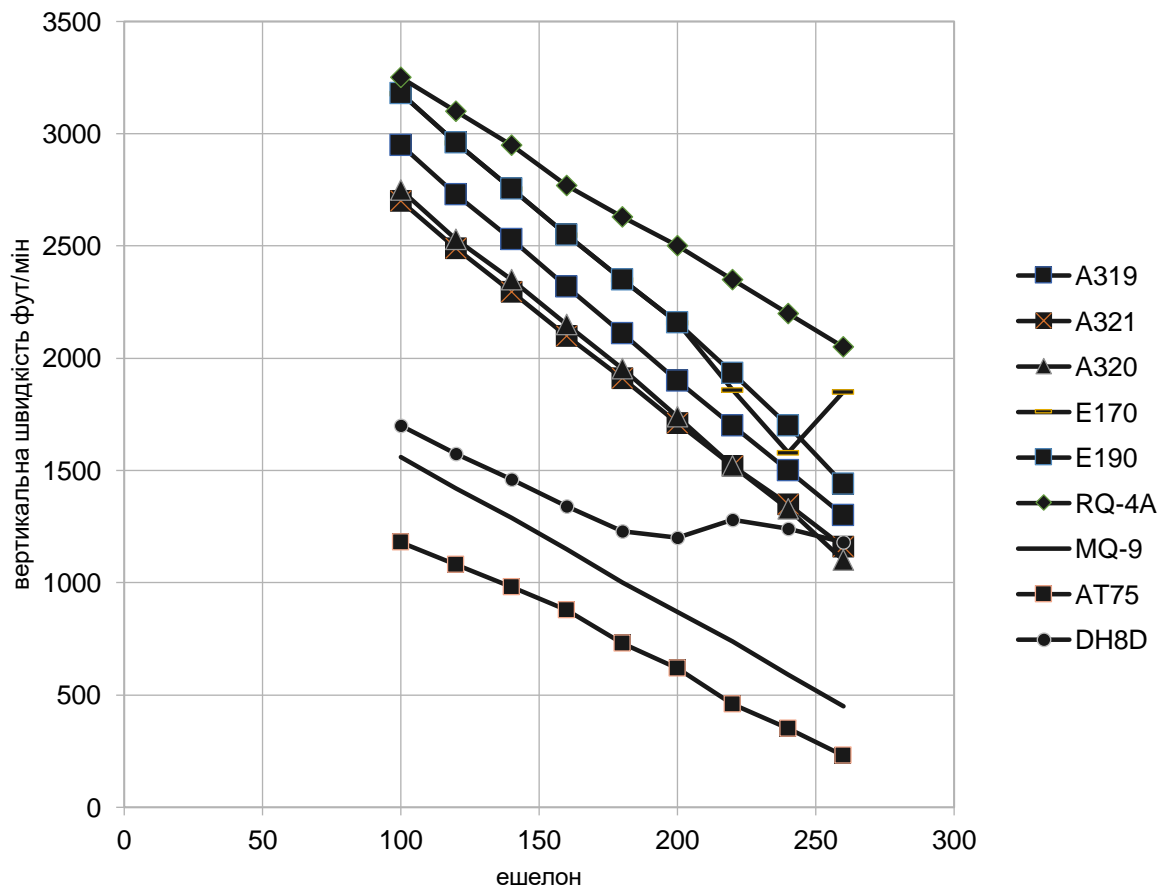


Рисунок 4.21 — Типові рівні значення вертикальної швидкості при наборі

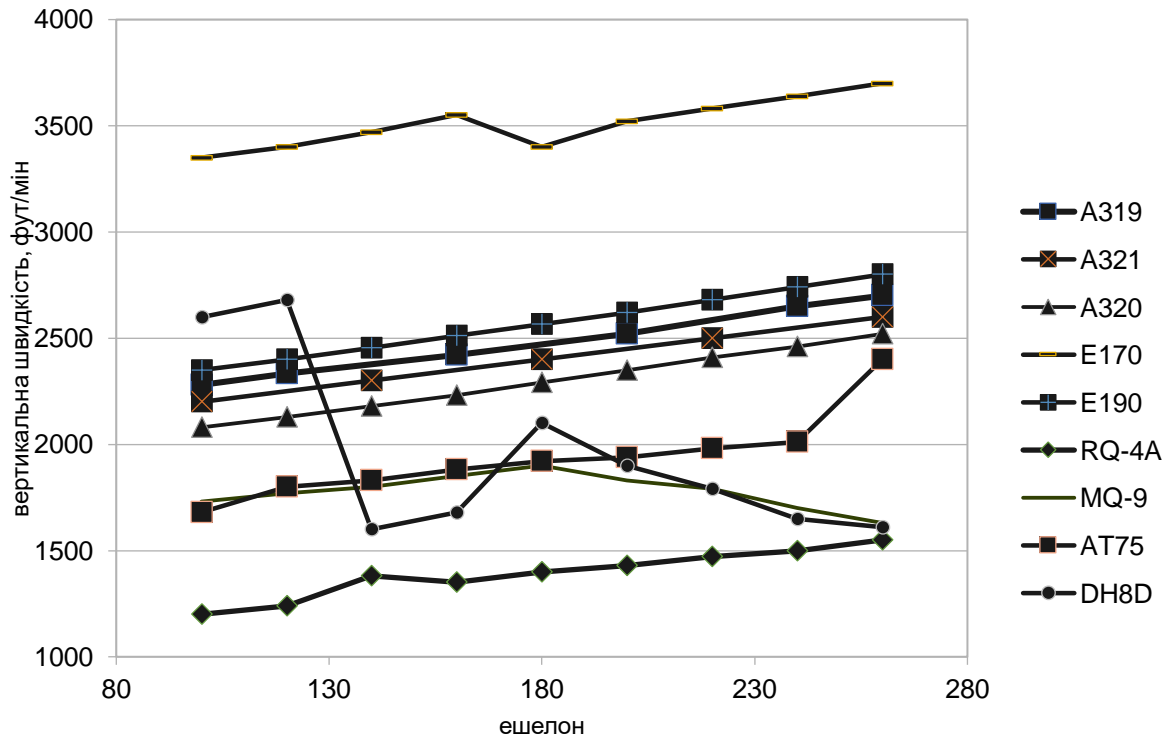


Рисунок 4.22 — Типові рівні значення вертикальної швидкості при зниженні

Як згадувалося раніше, ми вибрали особливий відділ, який є частиною відділу NCTA в районі FIR Langen. Координати сектора використовуються для створення багатокутника, а потім блок сектора визначається з цього багатокутника. Блок ділиться на три сектори УПР: SECTOR-DOWN (від 0 — до ешелону 115), SECT (від ешелону 115 - до ешелону 245), який є сектором, на який буде спрямовано аналіз, та SECTOR-UP (від ешелону 245 і вище). Два додаткові сектори ОПР (SECTOR-EAST та SECTOR-WEST) створюються таким же чином навколо SECT, таким чином, що польоти можна змоделювати за кілька хвилин до входу в сектор E-D-G-G-P-H-H-M.

Для кожного запуску час введення сектора рівномірно змінюється від мінус 60 до +60 секунд навколо початкового значення. Це забезпечує зміну часу входу в сектор польотів, що може відбутися через погодні умови або затримки в попередньому секторі ОПР. Загальний опис алгоритму Монте-Карло, який буде використовуватися в цьому випадку, виглядає наступним чином:

Розрахувати ситуацію входу в сектор X_i . Для кожного польоту в симуляції $i = 1, 53$; значення поділу, яке використовується, коли вхідний канал $C2$ не підтримує зв'язок; визначити тип БПЛА; визначити кількість ітерацій N , де $N \in \mathbb{N}$; У межах фактичного інтервалу часу входу в сектор ± 60 с для кожного $i=1, 53$ використовуйте закон рівномірного розподілу $X_{i, j}$, $j \in \mathbb{N}$; замініть один з пілотованих польотів на політ, який виконує безпілотник; Після кожного запуску N в легенді, $Z_N \wedge MC$ оцінюється.

Результати моделювання

Одним з головних важливих питань використання сімейства методів Монте-Карло для проведення статистичних досліджень наборів даних є збіжність результатів. Як зазначалося раніше, 14 легенд, які підлягають дослідженню, є двох типів: лише один пілотований літак був замінений на БПЛА (збій зв'язку $C2$), а кілька безпілотних літаків були замінені безпілотним (один збій зв'язку) проходом). $C2$, інших немає).

Спочатку кожна легенда була підрахована 1060 разів, кожен з 53 польотів був замінений дроном 20 разів, а на каналі $C2$ була здійснена неправильна транзакція. Кожен політ замінюється БПЛА однакову кількість разів, тому що ймовірність того, що будь-який політ буде БПЛА, вважається однаковою. Тоді час входу в сектор кожного рейсу змінюється на випадкове значення в межах ± 60 секунд від моменту входу в сектор.

Після виконання легенди 1060 разів результати всіх показників обробляються в середовищі моделювання. Середнє PE кожного типу PE та кожної легенди будується у вигляді графічної залежності середнього PE від кількості ітерацій. На малюнку. На рисунку 4.23 показано, як середня кількість потенційних конфліктів змінюється залежно від кількості запусків. На малюнку показано 5 легенд зверху вниз 4.23, перша базова (без змін польоту). На малюнку 4.24 показано, як змінюється середнє навантаження диспетчера повітряного руху, коли виконується більше ітерацій для 4 легенд.

Як видно на рис. 4.22 та 4.23, перших 1060 ітерацій достатньо для забезпечення збіжності продуктивності PE1 і PE2. Подібні тести були проведені на інших PE та легендах, і було визначено, що додаткові ітерації не потрібні.

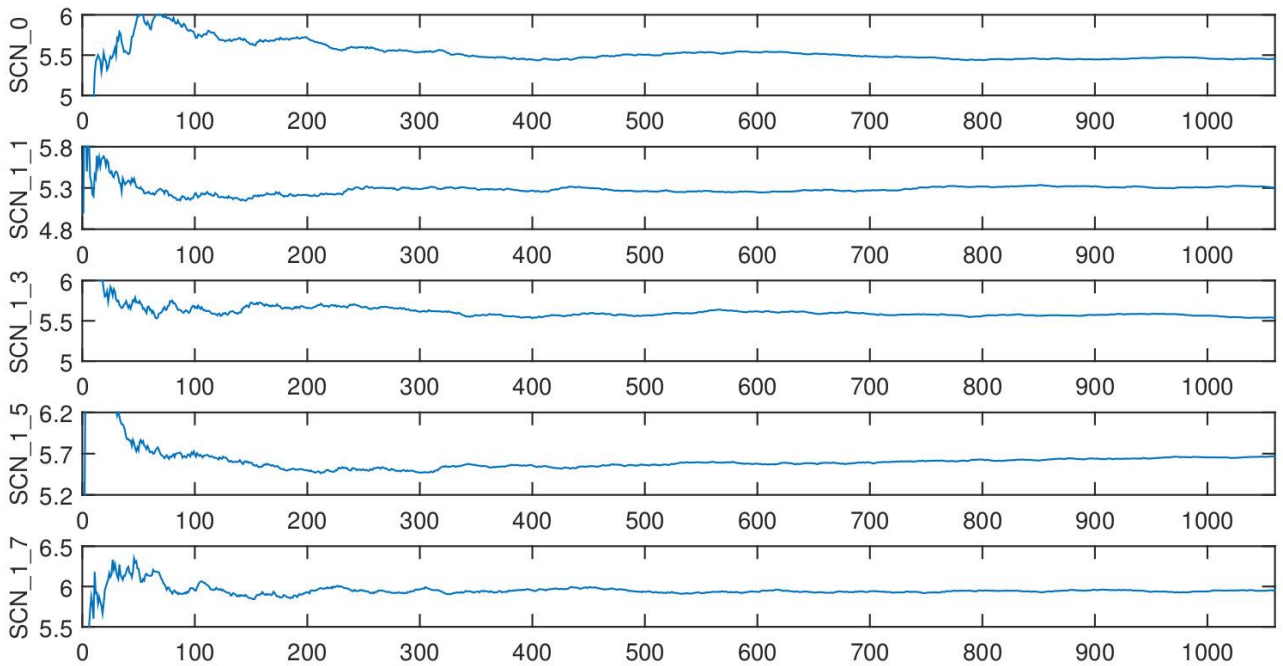


Рис. 4.23 — Показник ефективності PE1 (потенційні конфлікти) як функція від кількості ітерацій для легенд 0, 1.1, 1.3, 1.5, 1.7

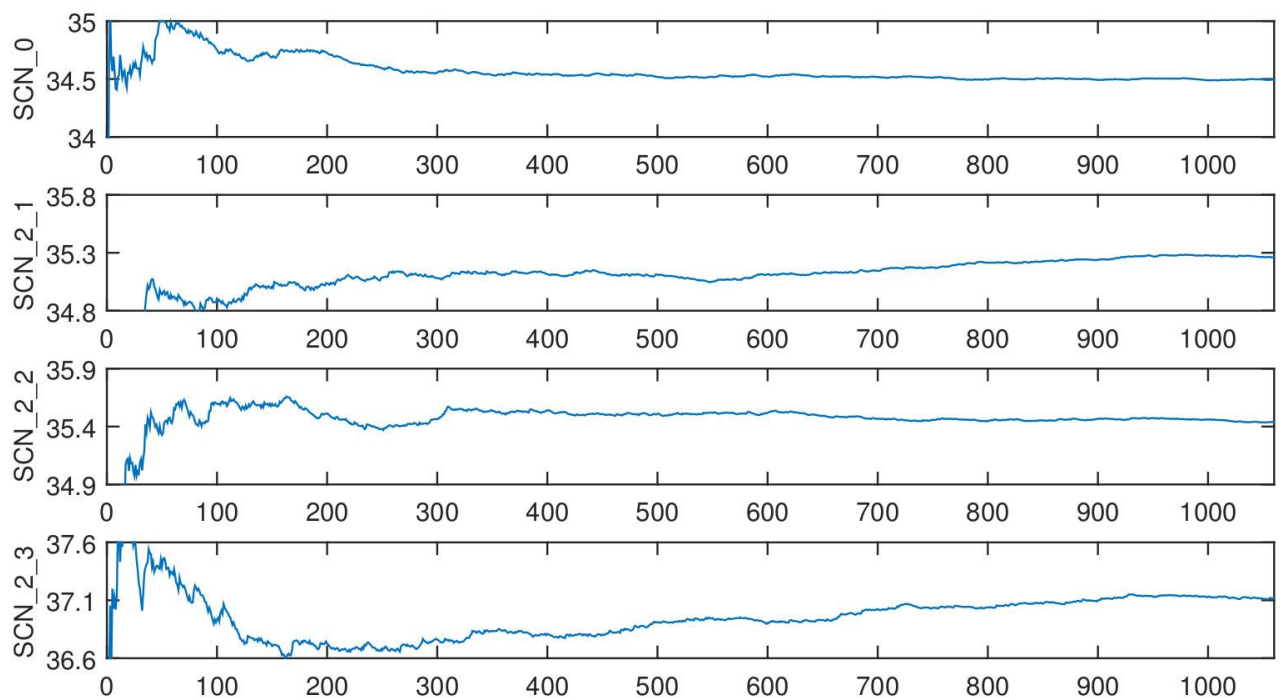


Рис. 4.24 — PE2 (завантаження авіадиспетчера) KPI_2 (ATCo task load) як функція від кількості ітерацій для легенд 0, 2.1, 2.2, 2.3

Доповніть моделювання, розрахувавши 95% ДІ, який застосовується до всіх ПЕ. Значення результату та довірчий інтервал кожного ключового показника ефективності наведено в таблиці. 4.7-4.16., по одному на кожен ПП. Ці таблиці містять середнє значення РЕ, стандартне відхилення (враховуючи квадратний корінь рівняння 3.25 при обчисленні), стандартну помилку (RMSE, з рівняння 3.26), межу помилки (МОЕ, рівняння 3.27), що становить 95% довіри до середнього значення. відстань між нижньою і верхньою межами інтервалу. Наприклад, таблиця 4.7 показує, що 5,45 потенційних конфліктів було зафіксовано в базовій лінії, з 95% ДІ 5,34 -5,56 (МОЕ 0,11).

Таблиця 4.7 — Результати ПЕ1 (потенційні конфлікти)

ДПЛА	Легенда	Середнє	Сігма	RMSE	МОЕ
немає	0 (базова)	5,45	1,78	0,05	0,11
RQ-4A	1.1	5,31	1,68	0,06	0,10
	1.2	5,38	1,82	0,06	0,11
	1.3	5,54	1,79	0,05	0,11
	1.4	5,63	1,78	0,06	0,11
MQ-9	1.5	5,67	1,89	0,06	0,11
	1.6	5,91	1,97	0,06	0,12
	1.7	5,95	2,07	0,06	0,12
	1.8	6,1	2,03	0,06	0,12
Чисельні ДПЛА	2.1	8,06	2,95	0,09	0,18
	2.2	8,55	3,02	0,09	0,18
	2.3	11,43	4,25	0,13	0,26
	2.4	7,62	2,67	0,08	0,16
	2.5	9,43	3,18	0,1	0,19

Таблиця 4.8 — Результати ПЕ2 (завантаження авіадиспетчера)

ДПЛА	Легенда	Середнє	Сігма	RMSE	МОЕ
немає	0 (базова)	34,50	1,40	0,04	0,08
RQ-4A	1.1	34,34	1,34	0,04	0,08
	1.2	34,34	1,41	0,04	0,08
	1.3	34,43	1,42	0,04	0,09
	1.4	34,37	1,35	0,04	0,08
MQ-9	1.5	34,62	1,50	0,05	0,09
	1.6	34,66	1,49	0,05	0,09
	1.7	34,66	1,54	0,05	0,09
	1.8	34,64	1,49	0,04	0,09
Чисельні ДПЛА	2.1	35,26	1,54	0,06	0,12
	2.2	35,44	1,46	0,06	0,13
	2.3	37,12	2,06	0,10	0,19
	2.4	35,20	2,08	0,06	0,11
	2.5	35,69	3,10	0,07	0,13

Таблиця 4.9 — Результати ПЕ3 (заняття сектору)

ДПЛА	Легенда	Середнє	Сігма	RMSE	МОЕ
немає	0 (базова)	5,47	0,07	0,00	0,00
RQ-4A	1.1	5,49	0,08	0,00	0,00
	1.2	5,49	0,08	0,00	0,00

	1.3	5,49	0,08	0,00	0,00
	1.4	5,49	0,08	0,00	0,00
MQ-9	1.5	5,51	0,09	0,00	0,01
	1.6	5,51	0,09	0,00	0,01
	1.7	5,52	0,09	0,00	0,01
	1.8	5,52	0,09	0,00	0,01
Чисельні ДПЛА	2.1	5,88	0,21	0,01	0,01
	2.2	5,87	0,21	0,01	0,01
	2.3	5,89	0,22	0,01	0,01
	2.4	5,67	0,16	0,01	0,01
	2.5	6,09	0,23	0,01	0,01

Таблиця 4.10 — Результати ПЕ4 (заняття сектору)

ДПЛА	Легенда	Середнє	Сігма	RMSE	MOE
немає	0 (базова)	33,77	0,23	0,01	0,01
RQ-4A	1.1	33,77	0,35	0,01	0,02
	1.2	33,76	0,36	0,01	0,02
	1.3	33,76	0,36	0,01	0,02
	1.4	33,77	0,38	0,01	0,02
MQ-9	1.5	33,80	0,35	0,01	0,02
	1.6	33,79	0,36	0,01	0,02

	1.7	33,80	0,36	0,01	0,02
	1.8	33,80	0,38	0,01	0,02
Чисельні ДПЛА	2.1	33,92	0,93	0,03	0,06
	2.2	33,97	0,93	0,03	0,06
	2.3	33,96	1,11	0,03	0,07
	2.4	33,93	0,69	0,02	0,04
	2.5	34,01	1,21	0,04	0,07

Таблиця 4.11 — Результати ПЕ5 (час польоту)

ДПЛА	Легенда	Середнє	Сігма	RMSE	MOE
немає	0 (базова)	319,53	2,79	0,09	0,17
RQ-4A	1.1	319,62	3,88	0,12	0,23
	1.2	319,48	3,81	0,12	0,23
	1.3	319,42	3,78	0,12	0,23
	1.4	319,67	4,00	0,12	0,24
MQ-9	1.5	319,92	3,83	0,12	0,23
	1.6	319,85	3,85	0,12	0,23
	1.7	319,83	3,84	0,12	0,23
	1.8	319,90	4,14	0,13	0,25
Чисельні ДПЛА	2.1	322,10	9,92	0,30	0,60
	2.2	322,84	9,64	0,30	0,58

2.3	322,88	11,25	0,35	0,68
2.4	321,79	6,97	0,21	0,42
2.5	323,96	12,57	0,39	0,76

Таблиця 4.12 — Результати ПЕ6 (споживання палива)

ДПЛА	Легенда	Середнє	Сігма	RMSE	МОЕ
немає	0 (базова)	151,58	0,75	0,02	0,05
RQ-4A	1.1	151,59	2,71	0,08	0,16
	1.2	151,52	2,85	0,09	0,17
	1.3	151,53	2,91	0,09	0,18
	1.4	151,57	2,97	0,09	0,18
MQ-9	1.5	151,70	2,77	0,08	0,17
	1.6	151,72	2,87	0,09	0,17
	1.7	151,83	2,89	0,09	0,17
	1.8	151,87	3,02	0,09	0,18
Чисельні ДПЛА	2.1	152,79	9,03	0,28	0,54
	2.2	152,84	9,20	0,28	0,55
	2.3	153,84	10,56	0,32	0,64
	2.4	152,70	6,76	0,21	0,41
	2.5	153,12	12,14	0,37	0,73

Таблиця 4.13 — Результати ПЕ7 (втрачена висота)

ДПЛА	Легенда	Середнє	Сігма	RMSE	МОЕ
------	---------	---------	-------	------	-----

немає	0 (базова)	10004,87	98,54	3,03	5,93
RQ-4A	1.1	10000,44	113,48	3,49	6,83
	1.2	10001,10	118,31	3,63	7,12
	1.3	9999,16	116,14	3,57	6,99
	1.4	9994,12	126,17	3,88	7,60
MQ-9	1.5	9998,18	119,39	3,67	7,19
	1.6	9995,63	126,02	3,87	7,59
	1.7	9994,05	128,70	3,95	7,75
	1.8	9987,90	129,95	3,99	7,82
Чисельні ДПЛА	2.1	9895,53	291,82	8,96	17,57
	2.2	9885,52	282,36	8,67	17,00
	2.3	9833,31	374,61	11,51	22,55
	2.4	9940,42	204,10	6,27	12,29
	2.5	9848,87	360,39	11,07	21,70

Таблиця 4.14 — Результати ПЕ8 (набрана висота)

ДПЛА	Легенда	Середнє	Сігма	RMSE	MOE
немає	0 (базова)	4390,66	72,35	2,22	4,36
RQ-4A	1.1	4392,06	133,00	4,09	8,01
	1.2	4390,73	133,61	4,10	8,04

	1.3	4394,79	129,07	3,96	7,77
	1.4	4389,21	129,90	3,99	7,82
MQ-9	1.5	4394,98	129,34	3,97	7,79
	1.6	4390,04	132,84	4,08	8,00
	1.7	4392,25	139,68	4,29	8,41
	1.8	4390,07	145,57	4,47	8,76
Чисельні ДПЛА	2.1	5105,14	396,39	12,17	23,86
	2.2	5095,32	411,93	12,65	24,80
	2.3	5114,84	436,41	13,40	26,27
	2.4	5080,61	300,02	9,22	18,06
	2.5	5111,34	516,42	15,86	31,09

Таблиця 4.15 — Результати ПЕ9 (відхилення висоти)

ДПЛА	Легенда	Середнє	Сігма	RMSE	MOE
немає	0 (базова)	8134,91	70,39	2,16	4,24
RQ-4A	1.1	8132,86	103,26	3,17	6,22
	1.2	8128,89	104,13	3,20	6,27
	1.3	8129,81	103,82	3,19	6,25
	1.4	8122,74	106,81	3,28	6,43
MQ-9	1.5	8132,61	103,25	3,17	6,22

	1.6	8127,65	105,44	3,24	6,35
	1.7	8128,32	110,65	3,40	6,66
	1.8	8124,20	117,86	3,62	7,10
Чисельні ДПЛА	2.1	8079,47	292,48	8,98	17,61
	2.2	8069,17	286,31	8,79	17,24
	2.3	8040,67	318,02	9,77	19,14
	2.4	8091,14	198,72	6,10	11,96
	2.5	8050,65	364,16	11,19	21,92

Висновки до розділу 3

Цей розділ присвячено виконанню статистичних досліджень. Частота відмов вибирається для статистичної оцінки відмови в каналі зв'язку БПЛА С2. Для першого експерименту було розроблено дев'ять легенд, які відрізняються кількістю дронів, що вийшли з ладу в каналі зв'язку С2, і трьома різними значеннями частоти відмов. Вплив значень довірчого інтервалу 95%, 98% і 99% на точність оцінюється за допомогою моделювання. Для другого експерименту характерні дані пілотованих літальних апаратів і безпілотників, а також дані руху окремих підрозділів управління повітряним рухом. Визначено дев'ять показників продуктивності та розроблено легенд 14. Різниця полягає в кількості БПЛА, розмірі зони ізоляції, створеної навколо БПЛА, і збоєм зв'язку каналу С2. Розроблено алгоритм застосування методу Монте-Карло до цієї задачі з урахуванням значення збільшення розміру зони поділу на вході в сектор БПЛА у разі збою в каналі зв'язку С2.

ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

У контексті авіації безпека – це "стан, при якому можливість заподіяння шкоди особам або майну знижена до прийнятного рівня та підтримується на цьому або нижчому рівні за допомогою постійного процесу виявлення небезпечних факторів та управління факторами ризику безпеки польотів".

Хоча усунення авіаційних пригод та/або серйозних інцидентів залишається кінцевою метою людської діяльності в цій галузі, проте визнається, що авіаційні системи не можуть бути повністю вільні від небезпечних факторів та пов'язаних з ними ризиків. Ніяка діяльність людини або створена ним система не гарантована від повної відсутності експлуатаційних помилок та їх наслідків.

Канал зв'язку C2 між дистанційним пілотом (СК ДПЛА) та ДПЛА є єдиним об'єктом, якій дозволяє реалізувати польоти ДПЛА в межах операцій RLOS та BRLOS - відстані від десятків до тисяч кілометрів, завдяки передаванню команд від дистанційного пілота до безпілотного літака і отриманню телеметричних даних від ДПЛА. Втрата зв'язку по каналу C2 значно підвищує ризик повітряного конфлікту в конкретному секторі диспетчерського обслуговування.

На основі доступних даних про обсяг трафіку в регіоні Західної Європи, а також даних про характеристики реальних пілотованих та безпілотних ЛА розроблено два обчислювальні експерименти для моделювання ситуацій різної кількості ДПЛА що знаходяться в районі обраної зони польотної інформації, а також в обраному секторі цієї зони, а також моделювання ситуації відмови в каналі зв'язку C2, що за нормативними документами призводить до збільшення зони розділення навколо ДПЛА с відмовою в каналі C2.

Відомчі експерименти визначають ступінь впливу різної кількості безпілотників, які поступово вводяться в імітаційне середовище замість пілотованих літаків, що вплине на кількість потенційних конфліктів, які можуть виникнути, оскільки один з БПЛА втратить зв'язок C2.

Акцентовано основні положення статистичних досліджень щодо випадкових величин та показників, які характеризують імовірнісний характер

змін випадкових величин. У розрахунковому дослідженні обрано метод статистичного тесту Монте-Карло, який визначає вирази для розрахунку середньоквадратичної помилки, верхньої та нижньої межі довірчого інтервалу та межі помилки.

Моделювання підтверджує той факт, що відсоток потенційних конфліктів збільшується зі збільшенням кількості дронів із збоями зв'язку в каналі C2, і використовує метод найменших квадратів для встановлення лінійного характеру залежності потенційних конфліктів від зростання кількості ДПЛА з відмовою.

Результати показують, що коли межа довірчого інтервалу збільшується до більш ніж 95%, збіжність результатів моделювання істотно не покращується, тим самим зменшуючи кількість ітерацій у моделюванні Монте-Карло.

Серед вибраних показників продуктивності вибираються: кількість потенційних конфліктів, навантаження на контролер УПР, навантаження сектора, відстань, час польоту, витрата палива, втрата висоти, набрана висота, втрата висоти. Крім втрати висоти, зі збільшенням кількості дронів у секторі збільшуються інші показники (з 10% до 30%), а значення показника втрати висоти зменшується, оскільки БПЛА не зупиняє процедуру спуску.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. [International Civil Aviation Organization. Doc.10019, Manual on Remotely Piloted Aircraft System \(RPAS\), 2015.](#)
2. Матійчик М.П. Ергодизайн безпілотних повітряних суден / Монографічне видання / М.П. Матічик, А.Л. Рубцов, В.О. Свірко, В.П. Харченко, М.І Фузік – Київ: УкрНДІ ДЕ, 2019. – 192 с.
3. *Wingrin, Dean. "Seeker 1". - [Режим доступу -saairforce.co.za. Retrieved 4 May 2014. - доступ 29.10.2020.](#)*
4. [UAV Trends: Shrinking Aircraft, Better Brains «Remote Sensing, Satellite Images, Satellite Imagery./ Earth Imaging Journal.- режим доступу - https://ejournal.com/news/industry-insights-trends/uav-trends-shrinking-aircraft-better-brains - доступ 30.11.2020.](#)
5. [Bell Eagle Eye. Технические характеристики./AviaPro - Режим доступу - https://avia.pro/blog/bell-eagle-eye-tehnicheskije-harakteristiki-foto](#)
6. RQ-4 Global Hawk/Avia.pro режим доступу - [https://avia.pro/blog/rq-4-global-hawk/ - доступ 11.11.2020.](#)
7. [EUROCONTROL. RPAS ATM CONOPS. Internal Document Code: ATM.STR.CONOPS-RPAS.V\(E\), 2016.](#)
8. [International Civil Aviation Organization. ICAO Cir 328, Unmanned Aircraft Systems \(UAS\), 2011.](#)
9. [JARUS CONOPS. Annex D - C2 Link, 2016.](#)
10. [The European Organisation for Civil Aviation Equipment \(EUROCAE\). COMMAND, CONTROL AND ATC COMMUNICATIONS OPERATIONAL CONCEPT \(C3 CONOPS\) FOR REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEMS \(RPAS\) \(UAS\). Concept of RPAS.-2015-96p.](#)
11. [The European Organisation for Civil Aviation Equipment \(EUROCAE\). WG-73 Unmanned Aircraft Systems \(UAS\). Concept of RPAS Required Communication Performance Methodology for the Command, Control and Communication Link, 2015.](#)

12. [R. Jay Shively et al. Human performance considerations for Remotely Piloted Aircraft Systems \(RPAS\).Remotely Piloted Aircraft Systems Panel \(RPASP\) - Second Meeting, Montreal, 2015.](#)
13. [H. Jung et al. RPAS Integration in Non-segregated Airspace within Comparison between Radar Vectoring and Trajectory Based Operation Using a Real-Time ATC Simulation. Air Transport Research Society World Conference, 2016.](#)

14. M. Perez-Batlle et al. Real-time Simulations to Evaluate RPAS Contingencies in Shared Airspace. Fifth SESAR Innovation Days, December 2015.
15. E. Pastor et al. Preparing for an Unmanned Future in SESAR Real-time Simulation of RPAS Missions.Third SESAR Innovation Days, 2013.
16. International Civil Aviation Organization. Manual on Required Communication Performance (RCP).Doc. 9869, First Edition, 2006.
17. Joint Authorities for Rulemaking of Unmanned Systems. RPAS C2 link Required Communication Performance (C2 link RCP) concept. - [Режим доступу](#) - http://jarus-rpas.org/sites/jarus-rpas.org/files/jar_02_doc_-_jarus_rpas_c2_link_rcp_-_10_oct_2014_1.pdf.- доступ- 21.03.2019.
18. Тюрин Ю.Н. , Макаров А.А., Статистический анализ данных на компьютере/ под ред. В.Э. Фигурнова. М.:Инфа*М, 1998 г. - 528 с.
19. Соболев И.М. Метод Монте-Карло. - М.: Наука, 1968 г. - 64 с.
20. Doc ICAO 4444. Procedures for Air Navigation Services. - [Режим доступу](#) -: <http://www.navcanada.ca/EN/media/Publications/ICAO-Doc-4444-EN.pdf>. Доступ- 21/03/2017.
21. International Civil Aviation Organization. Annex 11 to the Convention on International Civil Aviation, 13th edition, 2001.
22. Айвазян С. А. Прикладная статистика. Основы эконометрики. Том 2. — : Юнити-Дана, 2001. — 432 с.
23. <http://harekatmemuru.com/resimler/fir/fir2.png> - доступ - 30.11.2020.
24. SESAR Digital Academy Webinar Virtual Center: Operational Uses Cases / SESAR.eu - [Режим доступу](#) -

<https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/webinars/webinar%20virtual%20centres%20-%20ENAV%20TechnoSKy%20-%20Maurizio%20Romano.pdf>. - доступ 30.11.2020.

25. Luftverkehr in Deutschland. Mobilitätsbericht 2018 — Режим доступу - https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Presse/Publikationen/Mobilitaetsbericht_2018_Web_k.pdf — доступ - 02.12.2020]

26. MQ-9 Reaper (Predator B) / Уголок неба. Большая авиационная энциклопедия. - Режим доступу - <http://www.airwar.ru/enc/bpla/mq9.html>- доступ - 02.12.2020.

27. Ларін В.Ю., Білик О.В., Національний авіаційний університет, м. Київ, ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПР ПРИ ЗНАХОДЖЕННІ В РАЙОНІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДПЛА ІЗ ВТРАТОЮ КАНАЛУ С2: тези доповідей науково-технічної конференції, 23-25 листоп. 2021 – К. : НАУ, 2021-. – у друці.