

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: «*Моделювання прийняття рішень оператора БПЛА при польоті в складних метеоумовах*»

Виконавець: _____ **В.К. Садовська**

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

Нормоконтролер _____ **Т.Ф. Шмельова**

Київ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Аеронавігації, Електроніки та Телекомунікацій

Кафедра Аеронавігаційних Систем

Освітній ступінь «Магістр»

Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д-р техн. наук, професор

_____ Ларін В.Ю.

«___» _____ 2021р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Садовської Валерії Костянтинівни

1. Тема дипломної роботи «Моделювання прийняття рішень оператора БПЛА при польоті в складних метеоумовах» затверджена наказом ректора від 22.10.2021 р. № 2339/ст.
2. Термін виконання роботи: з 22.10.2021 по 27.12.21.
3. Вихідні дані до роботи: дані організацій EASA, ICAO.
4. Зміст пояснювальної записки: Визначення оптимального місця посадки безпілотного літального апарату в умовах невизначеності. Дослідження критеріїв прийняття рішення та їх застосування в складних метеоумовах при польоті.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: графіки результатів даних, таблиці, формули.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін Виконання	Відмітка про виконання
1.	Підготовка та написання 1 розділу «Організація польотів безпілотних літальних апаратів»	27.09.21 – 15.10.21	Виконано
2.	Підготовка та написання 2 розділу «Моделі і методи для оптимізації польотів БПЛА в інтегрованому просторі»	18.10.21 – 05.11.21	Виконано
3.	Підготовка та написання 3 розділу «Моделювання прийняття рішень в умовах аварійної посадки в складних метеоумовах»»	08.11.21 – 26.11.21	Виконано
4.	Підготовка та написання 4 розділу «Програмна реалізація – практичне застосування»	29.11.21 – 10.12.21	Виконано
5.	Підготовка та написання 5 розділу «Підготовка презентації та доповіді»	13.12.21 – 17.12.21	Виконано

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

Керівник: д-р техн. наук, проф.

_____ Т.Ф. Шмельова

Завдання прийняла до виконання:

_____ В.К. Садовська

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Моделювання прийняття рішень оператора БПЛА при польоті в складних метеоумовах» містить 90 сторінок, 11 рисунків, 7 таблиць, 15 формул, 25 використаних джерел.

Об'єкт дослідження – система польоту БПЛА в інтегрованому просторі.

Предмет дослідження – прийняття рішень оператора БПЛА при польоті в складних метеоумовах.

Мета роботи – розробка моделей для вибору оптимальної посадки на аеродромі/місці посадки.

Методи дослідження – критерії прийняття рішень в умовах невизначеності: Вальда, Лапласа, Гурвича, Севіджа.

У дипломній роботі досліджується процес моделювання прийняття рішень оператора БПЛА при польоті в складних метеоумовах; моделі і методи для оптимізації польотів в інтегрованому просторі; вимоги до авіаційного персоналу; визначення оптимального місця для посадки за допомогою критеріїв Вальда, Лапласа, Гурвича та Севіджа; система підтримки прийняття рішення оператором БПЛА.

БЕЗПЛОТНИЙ ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ, ОПЕРАТОР, СКЛАДНІ
МЕТЕОУМОВИ, УМОВИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ, СИСТЕМА ПІДТРИМКИ
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ

АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ

ЗМІСТ

Умовні позначення.....	8
Вступ.....	10
1. Організація польотів безпілотних літальних апаратів.....	12
1.1 Основні етапи розвитку БПЛА.....	12
1.2 Статистика EASA, ICAO.....	15
1.2.1 Цивільні безпілотні літальні апарати в авіації.....	16
1.2.2 Порядок використання повітряного простору безпілотними суднами та сертифікація БПЛА.....	18
1.3 Вимоги до авіаційного персоналу, який здійснює обслуговування та експлуатацію БПЛА	22
1.4 Класифікація та статистика БПЛА.....	23
1.5 Аварійні ситуації безпілотних авіаційних систем.....	31
Висновок до розділу 1.....	39
2. Моделі і методи для оптимізації польотів БПЛА в інтегрованому просторі.....	41
2.1 Прийняття рішень в умовах визначеності.....	41
2.2 Прийняття рішень в умовах невизначеності.....	44
2.3 Метод експертних оцінок.....	47
Висновок до розділу 2.....	51
3. Моделювання прийняття рішень в умовах аварійної посадки в складних метеоумовах.....	52
3.1 Складні метеорологічні умови.....	52
3.2 Критерії знаходження оптимального рішення в умовах невизначеності.....	60
3.2.1 Критерій Вальда.....	60
3.2.2 Критерій Лапласа.....	61
3.2.3 Критерій Гурвича.....	62
3.2.4 Критерій Севіджа.....	63

3.3 Матриця.....	64
Висновок до розділу 3.....	70
4. Програмна реалізація – практичне застосування	72
4.1 Система підтримки прийняття рішень оператора БПЛА.....	72
4.2 Моделі розрахунків прийняття рішень за умови невизначеності в Microsoft Excel.....	78
4.3 Практичні застосування і методичні рекомендації.....	80
4.3.1 Проблематика транспортування та перспектива вирішення.....	80
Висновок до розділу 4.....	85
Загальні висновки.....	86
Використана література.....	87

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

АНС – Аеронавігаційна система

АП – Авіаційна подія

АС ППІ – Автоматизована система підготовки передпольотної інформації

БАК – Безпілотний авіаційний комплекс

БАС – Безпілотна авіаційна система

БПЛА - Безпілотний літальний апарат

ДПЛА - Дистанційно-пілотований літальний апарат

ВМУ - Візуальні метеорологічні умови

ЛА – Літальний апарат

ЛТХ – Льотно-технічні характеристики

ОВП – Особливий випадок в повітрі

ОПР – Обслуговування повітряного руху

ОрПР – Організація повітряного руху України

ПР – Прийняття рішення

ПС – Повітряне судно

СМУ – Складні метеоумови

СППР – Система підтримки прийняття рішень

УПР – Управління повітряним рухом

ЦА – Цивільна авіація

EASA (European Aviation Safety Agency) – Європейська агенція безпеки авіації

ICAO (International Civil Aviation Organization) – Міжнародна організація цивільної авіації

NATO (North Atlantic Treaty Organisation) – Організація Північноатлантичного договору

ВСТУП

Відомо, що на сьогоднішній день розвиток БПЛА є стрімким та перспективним для майбутнього авіації. Різноманітність нових розробок та технологій допомагає з кожним днем все більше розширювати межі галузей, для яких призначуються безпілотні літальні апарати. Єдине що потрібно для кращого функціонування використання БПЛА - це правове регулювання нормативів, які повинні бути задіяні навіть для літального апарату без пілота. Правовий статус безпілотників в Україні все ще не досконалий, і не затверджений на законодавчому рівні.

При польоті БПЛА в складних метеорологічних умовах, часто можуть складатися аварійні ситуації. Їх статистика досить висока, проте є ключі, за допомогою яких можна мінімізувати ризики та розробити алгоритм, який буде побудовано для кожної позаштатної ситуації.

Прийняття рішень оператором являється важливою складовою, від якої залежатимуть всі подальші події. Для того щоб спростити модель поведінки та вибору ПР в інтегрованому просторі, можна визначити за критеріями невизначеності. Також мають важливу роль методи та моделі для прийняття рішень. На випадок непередбачуваної ситуації тепер достатньо проаналізувати стратегії для виконання роботи та зробити розрахунки щодо оптимального вибору.

Метою дипломної роботи: моделювання прийняття рішень оператора БПЛА при польоті в складних метеоумовах.

Для цього поставлені такі завдання:

1. Аналіз організації польотів безпілотних літальних апаратів;
2. Моделі і методи для оптимізації польотів БПЛА в інтегрованому просторі;

3. Моделювання прийняття рішень в умовах аварійної посадки в складних метеоумовах;

4. Програмна реалізація – практичне застосування.

Об'єкт дослідження: система польоту БПЛА в інтегрованому просторі.

Предмет дослідження: прийняття рішень оператора БПЛА при польоті в складних метеоумовах.

РОЗДІЛ 1. ОРГАНІЗАЦІЯ ПОЛЬОТІВ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

1.1 Основні етапи розвитку БПЛА

Безпілотники, що літають, вже не перше століття займають конструкторів і вчених. Якщо у ХХ столітті безпілотник був сміливою фантазією, як і багато наукових та технічних ідей, то сьогодні він стає частиною реальної економіки, створює нові методи діагностики та моніторингу, а ще — робочі місця.

Перші попередники сучасних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) – австрійські аеростати для повітряного бомбардування. Їх уперше використали у 1849 році.

Передумови для повноцінного розвитку літаючих безпілотників - винахід електрики та радіозв'язку. Першопроходцями у цій сфері стали геніальні вчені та вічні вороги Томас Едісон та Нікола Тесла.

Едісон представив свою розробку трохи раніше, в 1892 році, і це був безпілотник далеко не в сучасному розумінні цього слова: торпедою Едісона можна було керувати лише проводами. Нікола Тесла пішов далі і до 1899 створив маленький безпілотник на радіокеруванні.

Довгий час БПЛА сприймали виключно як військову техніку. Під час Першої світової війни німецькі та американські виробники розробляли безпілотники та змагалися, чий підніме більше вибухівки. Максимум досягли США в 1916 році: їхній безпілотник міг забрати 450 кілограмів. У військових діях БПЛА так і не взяли участь, але отримані напрацювання пізніше використали.

У міжвоєнний період інженери активно експериментували (рис. 1.1.) з різними способами запуску та посадки безпілотників. Їх запускали з катапульт та з бомбардувальників, садили на воду та за допомогою парашутів. Свій внесок

і розробники з ССРСР: вони створили безпілотний планер, який міг нести торпеду і прямував за допомогою інфрачервоного променя.



Рисунок 1.1 – Експерименти інженерів щодо запуску БПЛА задля вибору найоптимальнішого варіанту

Скидання торпед стало головним інтересом розробників під час Другої світової війни, аж до кінця 1992 року цей інтерес не зміщувався. Поки що все не змінило винахід GPS.

Безпілотники почали набувати все більше ідей щодо їхньої техніки взльоту та посадки (рис. 1.2.), і їх стали використовувати для цілей, близьких до того, що ми маємо сьогодні: моніторинг, зйомка, розвідка, місцезнаходження [7].



Рисунок 1.2 – Посадка БПЛА за допомогою парашута

Після закінчення Другої світової війни безпілотники активно використовувалися у військово-розвідувальному комплексі Америки та Радянського Союзу.

Громадянські дрони з'явилися лише у 2000-х – вони технічно відрізняються від військових безпілотників, вважаються більш технологічними завдяки невеликим обсягам виробництва та вузької спеціалізації. Дві останні обставини дозволяють інженерам швидко реагувати на пріоритети, що змінюються, і потреби споживчого ринку.

Деякі стартапи вражають своїми можливостями навіть скептиків, адже вони вже становлять конкуренцію службам доставки, а у перспективі можуть серйозно потіснити малогабаритні повітряні судна.

Таким чином, безпілотні технології є досить давно, з минулого століття. Спочатку БВС були складними і дорогими, що мали лише військове застосування. Але за останні три десятиліття у цій галузі стався справжній прорив. Мініатюризація обчислювальних систем та розвиток супутникової навігації (GPS/ГЛОНАСС) дозволили створювати безпілотні повітряні судна, у яких габарити, маса, а головне, вартість на порядки менша за колишні. Сьогодні

прогрес у розвитку цивільних безпілотних систем має високий темп, сформувалася нова промисловість послуг.

БПЛА вважаються дуже перспективними засобами для цивільних завдань, що відрізняються одноманітною чи небезпечною діяльністю, виконання яких пов'язане з монотонністю чи небезпекою для пілота, що пілотує повітряне судно. Потреби зростання в БПЛА у різних країнах цілком закономірний. Практичний досвід застосування БПЛА провідними країнами виявив широкий набір цивільних завдань, під час вирішення яких безпілотники показують високу ефективність.

Модельний ряд БПЛА за останні три десятиліття суттєво зріс, разом з цим збільшився і обсяг авіаційних робіт, що їх виконує БПЛА, потенційний попит на які з багатьох причин, у тому числі економічних, сьогодні дуже великий. В даний час БПЛА набувають все більшого поширення, знижується їх вартість і відкриваються широкі можливості для використання в різних сферах народного господарства. Сьогодні БПЛА виконують безліч різних функцій, від спостереження та розвідки до транспортного застосування. Перспектива розвитку ринкового сегмента, в якому широко розвивається застосування БПЛА, викликано як здешевленням компонентів, необхідних для їх будівництва, так і розширенням доступного програмного забезпечення для систем управління БПЛА різного класу. Незважаючи на стрімкий розвиток БПЛА військового призначення, не можна забувати і про цивільний сектор, де за багатьма напрямками використання БПЛА вже незамінні [16].

1.2. Статистика EASA, ICAO

Протягом багатьох десятиліть БПЛА широко використовуються для виконання військових завдань, головним чином у сфері тактичної та стратегічної розвідки. Понад 30 країн розробляють або виробляють понад 250 моделей БПЛА. У понад 40 країнах діють понад 80 видів БПЛА, що демонструють широкий

діапазон продуктивності системи щодо швидкості, висоти, завдання тривалість і можливість корисного навантаження. Весь спектр авіаційних компаній і досліджень інститути, як малі, так і великі, розробляють і експлуатують БПЛА, а також експедиторські пов'язані з ними технології [18].

На наступні роки розробка та експлуатація європейських БПЛА – чи військових, чи то цивільних - це один з найважливіших викликів і водночас один з найбільших можливості Європейського Співтовариства та його галузей утриматися на технологічному та комерційному кордоні аерокосмічної промисловості.

У 2000 році світовий ринок систем БПЛА досяг близько одного мільярда євро в перерахунку річний дохід із продовженням сукупного прогнозу річного зростання приблизно на 7 відсотків на наступні роки. На сьогодні приблизно 90 відсотків усього фінансування систем БПЛА є прямим результатом вимог національного уряду, які спрямовуються через їхні військові структури та елементи оборонної програми. За деякими винятками, це загальносвітова тенденція, яка ймовірно триватиме, доки не буде вирішено питання національного повітряного простору. Тому решта цього десятиліття буде в значній мірі тримати особливий акцент і впливати на цю тенденцію фінансування, і технологічний розвиток буде слідувати переважно національним вимогам [12].

1.2.1 Цивільні безпілотні літальні апарати в авіації

Регламенти ЄС 2019/947 та 2019/945 встановлюють рамки для безпечної експлуатації цивільних безпілотників у європейському небі. Вони використовують підхід, що ґрунтується на оцінці ризику, і, як такий, не розрізняє дозвілля чи комерційну діяльність безпілотників. Вони враховують вагу та характеристики цивільного безпілотника та операцію, яку він має проводити.

Регламент (ЄС) 2019/947, який застосовується з 31 грудня 2020 року в усіх країнах-членах ЄС, включаючи Норвегію та Ліхтенштейн (очікується, що незабаром він стане застосовним також у Швейцарії та Ісландії), обслуговує більшість видів цивільних безпілотників та рівень їх ризику. Він визначає три категорії цивільних операцій безпілотників: «відкриту», «специфічну» та «сертифіковану».

Категорія «Відкрита» стосується операцій з цивільними безпілотниками з меншим ризиком, де безпека забезпечується за умови, що оператор цивільного БПЛА відповідає відповідним вимогам для його передбачуваної експлуатації. Ця категорія підрозділяється на три підкатегорії, а саме А1, А2 і А3. Операційні ризики в категорії «відкриті» вважаються низькими, тому перед початком польоту не потрібно експлуатаційного дозволу.

«Спеціальна» категорія охоплює більш ризиковані цивільні безпілотники, де безпека забезпечується оператором дрона шляхом отримання дозволу на експлуатацію від національного компетентного органу перед початком операції. Щоб отримати експлуатаційний дозвіл, оператор дрона повинен провести оцінку ризику, яка визначить вимоги, необхідні для безпечної експлуатації цивільних дронів.

У категорії «сертифікований» ризик безпеки є значно високим; тому для забезпечення безпеки завжди потрібна сертифікація оператора дрона та його дрона, а також ліцензування віддалених пілотів.

Керування трафіком безпілотників буде забезпечуватися через U-space: набір послуг, які будуть розгорнуті в повітряному просторі, де очікується інтенсивний рух, наприклад, у міських районах. Регламент U-космос встановлює та гармонізує необхідні вимоги до пілотованих і безпілотних повітряних суден для безпечної експлуатації в повітряному просторі U-космічного простору, щоб запобігти зіткненням між повітряними суднами та зменшити ризики повітряного та наземного характеру. Нормативна база U-space забезпечить безпечні операції

повітряних суден у всіх областях і для всіх видів безпілотних літальних апаратів. Регламент U-space був прийнятий у квітні 2021 року [1].

1.2.2 Порядок використання повітряного простору безпілотними повітряними суднами та сертифікація БПЛА

У продовж роботи над удосконаленням регулювання правового статусу БПЛА 06.07.2017 року Державна авіаційна служба України оновила проект зазначеної концепції щодо інтеграції БПЛА до існуючої системи використання повітряного простору і створила «Правила повітряної експлуатації безпілотних повітряних суден в Україні ». Згідно, даної концепції державній реєстрації підлягають БПЛА вагою від 20 до 150 кг (середні) та від 150 кг (великі). Для управління такою технікою пілот повинен мати посвідчення, яке надає право керувати даним безпілотним апаратом. Концепція передбачає й медичну сертифікацію персоналу, який буде здійснювати льотну експлуатацію безпілотного повітряного судна. Але, до теперішнього часу цей документ залишається на рівні проекту, а концепція, насамперед, слугує визначенню цілей створення закону або іншого нормативно-правового акту для вирішення певних проблем, наприклад, правового регулювання відносин за потребою, скасування наявних прогалів, протиріч у праві або законодавстві. Саме з розробки концепції має початися робота по створенню закону, в даному випадку, про безпілотні літальні апарати.

Впродовж цієї роботи, Державна авіаційна служба України розробила загальні рекомендації дистанційним пілотам БПЛА, а саме: перевіряти своє безпілотне повітряне судно перед кожним польотом; виконувати польоти на висоті не більш ніж 100 метрів; утримувати відстань між БПЛА та людьми, тваринами, спорудами та майном не менше 50 метрів; перед польотом свого БПЛА перевіряти, що він буде виконуватись у межах повітряного простору, дозволеного для використання; ніколи не підіймати у повітря свій БПЛА, якщо

це може бути небезпечним для пілота, інших людей чи тварин; заздалегідь планувати траєкторію польоту власного БПЛА, оцінювати можливі перешкоди та визначати місця його можливої вимушеної посадки; завжди припиняти політ БПЛА на вимогу представників правоохоронних органів або військових формувань, утворених відповідно до законодавства України, якщо вони вважають, що БПЛА загрожує інтересам національної безпеки чи безпеці інших людей тощо [10].

Здається логічним, на нашу думку, додати до правил використання БПЛА в нашій країні наступних положень, передбачених Управлінням цивільної авіації Великобританії в Правилах використання БПЛА, а саме:

- отримання операторами дозволу Державної авіаційної служби України при використанні безпілотних апаратів у комерційних цілях;
- сертифікацію безпілотних літальних апаратів вагою більше 150 кг Європейським агентством з авіаційної безпеки.

Відповідно до вимог Правил використання повітряного простору, польоти безпілотних повітряних суден масою до 20 кг включно виконуються без подання заявок на використання повітряного простору, без отримання дозволів на використання повітряного простору, без інформування органів управління Повітряних Сил Збройних Сил України та органів об'єднаної цивільно-військової системи організації повітряного руху України, органів Державної прикордонної служби України, органів обслуговування повітряного руху та відомчих органів управління повітряним рухом, за умови дотримання таких вимог:

- польоти виконуються без перетинання державного кордону України;
- польоти виконуються поза межами встановлених заборон та обмежень використання повітряного простору, крім випадків, установлених Положенням про використання повітряного простору;
- польоти виконуються не ближче 5 км від зовнішніх меж злітно-посадкових смуг аеродромів або не ближче 3 км від зовнішніх меж

- злітно-посадкової смуги ЗПМ/вертодромів, крім випадків узгодження з експлуатантом аеродрому/ЗПМ/вертодрому;
- польоти виконуються не ближче 500 м від пілотованих повітряних суден;
 - польоти не виконуються над:
 - 1) скупченням людей на відкритому просторі та над місцями щільної забудови;
 - 2) скупченням людей на відкритому просторі та над місцями щільної забудови;
 - 3) об'єктами (зонами), які визначені Міністерством оборони України, Міністерством інфраструктури України, Міністерством внутрішніх справ України, Державною прикордонною службою України, Службою безпеки України, Національною поліцією України, Національною гвардією України, Державною фіскальною службою України, Службою зовнішньої розвідки України, Управлінням державної охорони України, іншими військовими формуваннями та правоохоронними структурами, утвореними відповідно до законів України, та відносно яких здійснюється охорона / державна охорона (за умови позначення території навколо цих об'єктів інформаційними знаками про заборону польотів безпілотних повітряних суден та/або шляхом оприлюднення меж такої заборони), крім випадків виконання польотів за дозволом зазначених вище повноважних органів;
 - польоти виконуються в межах прямої видимості (VLOS);
 - максимальна висота польоту не вище:
 - 1) 120 м над рівнем земної (водної) поверхні поза межами CTR , AFIZ , ATCA, ATCZ, спеціально встановлених зон, іншого спеціально зарезервованого повітряного простору;
 - 2) 50 м над рівнем земної (водної) поверхні в межах CTR, AFIZ, ATCA, ATCZ, спеціально встановлених зон, іншого спеціально зарезервованого повітряного простору, якщо інформація про

фактичний статус елементів структури повітряного простору на час виконання польоту відсутня;

3) 50 м над статичними перешкодами на горизонтальній відстані не більше 100 м від таких перешкод, як відхилення від зазначених вище обмежень по висоті, на запит власника такого об'єкту;

- швидкість польоту безпілотного повітряного судна складає не більше 160 км/год.;
- в інших випадках польоти безпілотного повітряного судна масою до 20 кг включно та усі без винятку польоти безпілотного повітряного судна масою більше 20 кг виконуються у межах спеціально встановлених зон та маршрутів з дотриманням вимог щодо подання заявок на використання повітряного простору, отримання дозволів та умов використання повітряного простору, інформування органів управління Повітряних Сил Збройних Сил України, органів Державної прикордонної служби України, органів ОЦВС, органів ОПР/УПР.

Тобто БПЛА вагою більше 20 кг має реєструватися в Держреєстрі, а це значить, що на нього розповсюджуються усі вимоги стосовно допуску до експлуатації, йому надаються державний та реєстраційний знаки та видається реєстраційне посвідчення.

Наразі нормативна база в національному законодавстві щодо сертифікації БПЛА відсутня. Крім того, відповідно до статей 49, 51 Повітряного кодексу України до управління повітряними суднами допускається атестований персонал. Кандидат на одержання свідоцтва, рейтингу повинен мати відповідну професійну підготовку за затвердженою програмою у сертифікованому навчальному закладі, належний досвід та придатність за станом здоров'я, підтвержені в установленому порядку [11].

1.3 Вимоги до авіаційного персоналу, який здійснює обслуговування та експлуатацію БПЛА

Наразі в національному авіаційному законодавстві не визначені вимоги до авіаційного персоналу, який здійснює обслуговування та експлуатацію БПЛА. Таким чином, на сьогодні застосування БПЛА у сфері цивільного захисту України перебуває у початковій фазі, переважно в експериментальному порядку, що характеризується значним рівнем розробки апаратів та їх елементів, з одного боку, та відсутністю засад застосування безпілотних літальних апаратів (комплексів) у реальних технологічних процесах, з другого. У 2015 році в УРДДА було проведено міжвідомчу нараду, на якій Державіаслужбою України згідно зі стратегією інтеграції України до ЄС щодо адаптації нормативно-правових актів до відповідних вимог та стандартів і рекомендованої практики ІКАО і ЄС було презентовано проект концепції Положення та процедур по забезпеченню безпеки польотів повітряних суден авіації загального призначення, спортивних, аматорських та безпілотних літальних апаратів.

Цією Концепцією передбачалося врегулювання питання польотів БПЛА в рамках повітряного руху України. На сьогодні, на жаль, нічого не зроблено, у Державіаслужбі тривають обговорення щодо застосування БПЛА в Україні. Зокрема, розглядають запровадження електронного обліку, що значно спростить отримання дозволів на польоти. А також – сертифікацію, реєстрацію, право на керування безпілотними системами в залежності від їхнього розміру і призначення. В принципі, подібні норми є у багатьох країнах світу. Натомість Управлінням регулювання діяльності державної авіації України відповідно до статей 7,45 Повітряного кодексу України з метою визначення порядку виконання польотів БПЛА державної авіації України розроблено Правила виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України (далі – Правила), які введено в дію наказом Міноборони від 08.12.2016 № 661 [8].

При цьому загальний порядок організації та проведення польотів БпАК суб'єктів державної авіації регламентується Правилами виконання польотів державної авіації України, а порядок виконання польотів БПЛА в повітряному просторі України – Правилами польотів державної авіації в повітряному просторі України. Правила розроблено з урахуванням стандартів і рекомендованої практики міжнародної організації цивільної авіації та організації Північноатлантичного договору. Правилами передбачено створення класифікації БпАК на основі аналізу світових тенденцій розвитку з урахуванням визначеної основної класифікаційної системи ознак, особливостей застосування і перспектив розвитку інформаційних і літакобудівних технологій.

Льотна експлуатація БПЛА здійснюється операторами або так званими зовнішніми пілотами. Зовнішні пілоти грають важливу роль в забезпеченні безпечної експлуатації БПЛА. Їх основні обов'язки аналогічні обов'язкам пілотів пілотованих повітряних суден, в частині, що стосується експлуатації безпілотної системи у відповідності до правил польотів, законодавства, правил та процедур держав, на території яких виконуються польоти. Тому питання про кваліфікацію цих осіб потребує ретельного розгляду, що обумовлено необхідністю забезпечення відповідності знань та навичок для виконання цих нових видів польотів [9].

1.4 Класифікація та статистика БПЛА

Згідно з визначенням, схваленим Асамблеєю ІКАО, «безпілотний літальний апарат є повітряним судном без пілота, яке виконує політ без командира повітряного судна на борту і або повністю дистанційно керується з іншого місця з землі, з борту іншого повітряного судна, з космосу, або запрограмовано та повністю автономно».

Вперше цивільне застосування дронів анонсував Amazon для доставки споживчих товарів у 2013 році. Після цього ринок став стрімко розвиватися,

відкриваючи нові сфери комерційного та приватного застосування. Крім самих виробників безпілотних літальних апаратів інтерес до теми виявляють компанії-дистрибутори таких пристроїв, виробники компонентів, оптики та систем комп'ютерного зору, програмного забезпечення, компанії картографічних сервісів та аерофотозйомки, аграрний сектор, широке коло державних служб (поліція, швидка допомога, пожежні, аварійні служби), страхові та інвестиційні компанії та інші [19].

Безпілотні літальні апарати складно класифікувати, оскільки вони мають дуже різні характеристики. Ця різноманітність походить від великої кількості змін та компонентів БПЛА. Виробники поки що не обмежені жодними стандартами. В результаті сьогодні відсутні вимоги з боку авіаційних регуляторів щодо того, як БПЛА має бути оснащений.

Для розуміння всієї різноманітності вибору, можна навіть на основі ваги виділити наступні типи БПЛА:

- нано, БПЛА вагою менше 250 г;
- мікро, БПЛА вагою понад 250 г і менше 2 кг;
- малі, БПЛА вагою понад 2 кг і менше 25 кг;
- середні, БПЛА вагою понад 25 кг і менше 150 кг;
- великі, БПЛА вагою понад 150 кг.

Наприклад, нано БПЛА можуть сягати ваги до 250 грамів. В основному призначені для збору розвідувальних даних про дії противника у важкодоступних районах під час виконання бойових завдань, оснащений цілодобовими датчиками, що дозволяють оператору виявляти та вести спостереження за військами, технікою та обладнанням противника. Застосовуються для оснащення тактичних підрозділів рівня «відділення» та окремих військовослужбовців.

Розглянемо на прикладі PD-100 Black Hornet Nano (Рис 1.2) — це крихітний безпілотний апарат (БПЛА), розроблений Flir Systems. БПЛА Black Hornet дозволяє збройним військам шпигувати за потенційними загрозами. Невеликий дистанційно

керований гвинтокрилий апарат допомагає рятувати життя фронтовикам. Black Hornet забезпечує розвідку, спостереження та розвідувальну підтримку збройним силам у критично важливих операціях. Чи дає доступ до віддалених місцях і забезпечує ситуаційну обізнаність на поле бою.

Розробка Black Hornet була ініційована Prox Dynamics у квітні 2008 року. Безпілотник пройшов кілька тестових польотів і всілякі випробування, перш ніж увійти в фазу серійного виробництва на початку 2012 року.

Міністерство оборони Великобританії уклало контракт на 31 мільйон доларів з Prox Dynamics через Marlborough Communications на поставку 160 одиниць Black Hornets для її збройних сил.

Black Hornet розгорнуто в Афганістані, щоб відповідати вимогам спостереження збройних сил Великобританії. БПЛА також перебуває на озброєнні сил безпеки ряду інших країн.

Prox Dynamics поставила 100 БПЛА Black Hornet nano на початку 2013 року. У листопаді 2016 року компанію придбала FLIR Systems за 134 мільйони доларів.

Чорний шершень виготовлений з міцного пластикового корпусу. Аеродинамічна форма nano БПЛА витримує штормові вітри. Крихітний дрон оснащений трьома камерами спостереження, прихованими в носі. Повна система PD-100 Black Hornet включає два БПЛА та базову станцію. Передача даних на станцію керування апаратом здійснюється у режимі реального часу.

Black Hornet nano керується оператором із землі за допомогою пристрою, схожого на джойстик. Технологія на борту БПЛА дозволяє оператору керувати дроном з максимальної дальності до 1000 метрів.

Базова станція Black Hornet пропонує послуги планування, виконання та аналізу оператору системи. Він включає в себе підключення дисплея та з'єднання керування системою.

Характеристики БПЛА PD-100 Black Hornet Nano:

- довжина – 100 мм;

- ширина – 25 мм;
- діаметр ротора – 120 мм;
- вага комплект без дисплея – 1,3 кг;
- вага апарату – 18 гр;
- максимальна швидкість – 10 м/с;
- тривалість польоту – 25 хв;
- радіус дії – 1,6 км [5].



Рисунок 1.2 – Безпілотний літальний апарат PD-100 Black Hornet Nano
(Норвегія) [5]

У конструкції кожного безпілотного апарату є супутниковий навігатор та програмований модуль. Якщо БПЛА використовується для отримання, збереження та передачі інформації на пульт оператора, в ньому додатково встановлюються картка пам'яті та передавач.

Конструкція та функціональність змінюються залежно від призначення апарата. Є моделі БПЛА, які вміють приймати команди людини та реагувати на них. У таких пристроях встановлені спеціальні модулі-приймачі команд.

В основному безпілотні літальні апарати класифікуються за такими основними критеріями:

- по дизайну/конфігурації;
- за типом зльоту;
- за цільовим призначенням:
- за технічними характеристиками;
- за типом живлення силової установки;
- по корисному навантаженню;
- за типом системи автоматизації;
- за системою запобігання зіткненням;
- за типом навігації;
- за типами захисту від глушіння сигналів;
- за пропускнуою спроможністю радіочастотного спектра;
- з бортової обробки даних;
- за спеціалізацією програмного забезпечення [2].

Наразі головними характеристиками щодо типів БПЛА наведеними у табл.

1.1 можна вважати:

- класифікація за призначенням;
- класифікація за тривалістю польоту;
- класифікація за вагою;
- класифікація за типом конструкції;
- класифікація у вигляді зльоту;
- класифікація у вигляді посадки;
- класифікація за кількістю використань [25].

Таблиця 1.1 – Типи БПЛА [25]

№	Клас	Класифікація	Підклас	Кодове ім'я
1	А	Класифікація БПЛА за призначенням	БПЛА спостереження	A_1
			Сільськогосподарські БПЛА	A_2
			БПЛА релейного зв'язку	A_3
			...	A_n
2	В	БПЛА класифікація за тривалістю польоту	БПЛА короткого польоту (1 година)	B_1
			БПЛА середнього польоту (від 1 до 6 годин)	B_2
			Ранній політ БПЛА (6 годин)	B_3
			...	B_n
3	С	Класифікація БПЛА за вагою	Мікро БПЛА (до 1 кг).	C_1
			Маленька вага 1-100 кг.	C_2
			Легка вага 100-500 кг	C_3
			Середня вага 500-5000 кг.	C_4
			Важка вага 5000-15000 кг.	C_5
			Надважкий 15 000 кг або більше	C_6
			...	C_n
4	D	Класифікація БПЛА за типом літака	Літак БПЛА (з нерухомим крилом)	D_1
			Безпілотні вертольоти (вертокрил)	D_2
			БПЛА з крилами, що махають	D_3
			...	D_n
5	Е	Класифікація БПЛА у вигляді зльоту	Аеродромний зліт БПЛА	E_1
			Неаеродромний БПЛА, що злітає з катапульт;	E_2
			Неаеродромний БПЛА, що злітає з рук	E_3
			...	E_n
6	F	Класифікація БПЛА у вигляді посадки	Аеродромний десантний БПЛА	F_1
			Посадка без аеродрому БПЛА за допомогою парашута;	F_2
			Посадка неаеродромних БПЛА за допомогою сильця;	F_3
			...	F_n
7	G	БПЛА за кількістю застосувань	БПЛА одноразового використання	G_1
			БПЛА багаторазового використання	G_2
			...	G_n

БПЛА у народному господарстві широко використовуються сьогодні для вирішення наступних завдань:

Аерофотозйомка об'єктів. Найбільш затребуваний вид робіт, що виконуються з повітря. Розрізняють планову та панорамну (видову) аерофотозйомку.

Аеровідомість об'єктів. У зв'язку з розширювальною здатністю сучасних відеокамер і відмінною якістю картинки безпілотну аеровідеозйомку застосовують не рідше, ніж звичайну фотозйомку з повітря.

Проектування ділянок. Складання кадастру земель є складним та затребуваним завданням. Застосування дистанційно пілотованого літального апарату дає можливість маловитратного та ефективного рішення для кадастрової аерофотозйомки. БПЛА часто використовується визначення меж земельних ділянок, оцінки вартості забудови.

Контроль периметрів територій, що охороняються. БПЛА здатне без участі людини в роботизованому режимі піднятися в повітря, облетіти територію за заданим маршрутом з увімкненою відеокамерою або фотокамерою і повернутися на місце старту. У разі виявлення порушника (людини або транспортного засобу), що проник на територію, що охороняється, або наближається до неї, безпілотник подає сигнал тривоги на станцію.

Допомога у пошуково-рятувальних роботах. Під час проведення пошуково-рятувальних робіт допомогу безпілотного літального апарату важко переоцінити. Цей пристрій здатний надати необхідну першочергову інформаційну підтримку службам порятунку під час робіт на морі, у пустелі, на території непрохідних боліт, у зонах стихійного лиха або техногенної катастрофи.

Виявлення об'єктів. Роботизований комплекс авіапостереження забезпечує пошук, виявлення та ідентифікацію об'єктів у режимі реального часу. Визначає їх точне розташування за допомогою супутникових систем GPS або ГЛОНАСС і передає дані на наземну станцію керування.

Координація дій щодо запобігання та гасіння пожеж. Постійна пожежонебезпечна ситуація в лісах, що призвела до колосальних матеріальних збитків, катастроф, стихійних лих та інших надзвичайних ситуацій вимагають наявності у служб порятунку та ліквідації аварій ефективних технічних засобів оперативної координації дій.

Спостереження за перебігом робіт. Нерідко виникають ситуації, коли необхідно проконтролювати хід виконання робіт, наприклад, на висотному будинку, що будується. Щоб піднятися пішки на верхні поверхи, що будуються і проінспектувати роботу, знадобиться досить багато часу.

Контролює температуру на об'єкті. Роботизований авіаційний комплекс із встановленими тепловізором та пірометром здатний проводити дистанційний контроль температури в реакторах на таких складних об'єктах, як АЕС. Апарат може зависати над об'єктом і проводити, за необхідності, ретельніший аналіз. В решту часу БПЛА може обстежити обладнання станції у режимі патрулювання за заданою програмою.

Контролює вміст токсичних речовин та рівня радіації. На багатьох небезпечних виробництвах, навіть за дотримання всіх заходів безпеки, не виключені аварійні ситуації з можливим викидом в атмосферу токсичних речовин або радіовипромінювання в аварійних випадках. Для раннього виявлення та оповіщення персоналу про витік отруйних речовин та радіацію вже зараз на деяких підприємствах застосовуються надлегкі безпілотні літальні апарати із встановленими на них датчиками-аналізаторами.

Виявлення несанкціонованих врізок у трубопроводі. При дуже високій інтенсивності польотів є ймовірність виявлення зловмисників та їх технологічного транспорту безпосередньо в момент відкачування рідини.

І це не повний перелік авіаційних робіт, у яких ефективно можуть використовуватися БВС. Авіаційні роботи в цивільній авіації залежно від їхньої мети, правил та технології їх виконання поділяються на такі види:

- авіаційно-хімічні роботи;
- повітряні зйомки;
- авіаційно-лісові роботи;
- будівельно-монтажні та вантажно-розвантажувальні роботи;
- роботи з метою медичної допомоги;

- літні перевірки наземних засобів радіотехнічного забезпечення польотів.

Окрім цих робіт, цивільна авіація традиційно забезпечувала споживачів послуг виконанням:

- перевезень легких вантажів та пошти;
- моніторингу трубопроводів;
- льодової розвідки;
- розвідки риби;
- моніторингу рибних господарств та виявлення браконьєрів та інших видів моніторингу та спостереження [6].

1.5 Аварійні ситуації безпілотних авіаційних систем

Згідно документу ІКАО Doc 10019 AN/507 «Керівництво по дистанційно пілотованим авіаційним системам (ДПАС)» [13] до аварійних ситуацій і непередбачені обставин відносяться:

Місця аварійної посадки / аварійного приводнення. При плануванні польотів ДПАС повинна бути передбачена можливість виконання аварійної посадки ДППС в місцях, де ризик для безпеки людей або майна на землі буде мінімальним.

Враховуючи те, що в аварійній ситуації зовнішні пілоти, на відміну від пілотів, які перебувають на борту і виконують політ у візуальних умовах, мають у своєму розпорядженні обмежені можливості спостереження за фактичною обстановкою на землі поблизу своїх повітряних суден. Тому вони повинні покладатися на попередньо заплановані сценарії аварійних ситуацій, які можуть виникнути при виконанні польоту по заданому маршруту.

При виборі місць для виконання аварійної посадки зовнішній пілот повинен враховувати наступні умови:

- рельєф місцевості, наземні перешкоди, щільність населення, масові скупчення людей на відкритому повітрі;

- місця посадки / аварійного приводнення, включаючи їх доступність для евакуації повітряного судна або ліквідації пожежі.

Для цього відповідно він повинен виконати наступні дії:

1. виконати спостереження за фактичною обстановкою на землі;
2. виконати аварійну посадку на місцевості.

При плануванні польотів ДПАС повинна бути передбачена можливість виконання аварійної посадки ДППС в місцях, де ризик для безпеки людей або майна на землі буде мінімальним.

Втрата лінії С2. Планування польотів повинно передбачати заходи на випадок втрати лінії С2 і здійснюватися відповідно до рекомендацій, викладених в льотному керівництві і / або керівництві по виробництву польотів. Процедури на випадок втрати лінії С2, які використовуються ДППС, які виконують контрольовані польоти, повинні бути попередньо затверджені органами УПР. Зовнішні пілоти повинні негайно повідомити орган УПР про задіявання цих процедур при виконанні будь-якого польоту, здійснюваного під керуванням органу УПР, або будь-якого польоту, який може вплинути на інші контрольовані органами УПР польоти, як з пілотами, так і без пілотів на борту.

При застосуванні лінії С2 використовують наступні режими роботи: режим "холодного резерву", режим "гарячого резерву" та "подвійний режим".

Режим "холодного резерву". Режим, при якому одна лінія працює і забезпечує весь трафік повідомлень, а інша лінія відключена. У разі втрати першої лінії для застосування резервної лінії її необхідно включити і ініціювати процедуру підключення / входу в систему для з'єднання з іншим кінцем лінії. Для цього може знадобитися протокол реєстрації з постачальником мережі, що є третьою стороною. Щоб уникнути необхідності ініціювання процедури на випадок втрати лінії С2 час затримки, пов'язаної з цією процедурою, має бути досить невеликим.

Режим "гарячого резерву". Режим, при якому обидві лінії мають живлення, підключені і готові до негайного застосування, хоча для передачі даних по лінії C2 в будь-який час використовується тільки одна лінія. (Для підтримки готовності ліній зв'язку до негайного переключенню в режимі очікування можуть передаватися дані з низькою швидкістю.)

Подвійний режим. Режим, при якому всі інформаційні повідомлення одночасно передаються по лініях C2 і бортова EOM вибирає ті повідомлення, що передаються по лінії зв'язку, які мають найкращу цілісність. Цей режим зводить до мінімуму ймовірність того, що при одиничному перериванні або відмові лінії зв'язку буде мати місце переривання потоку даних, що передаються по лінії C2.

Для цих двох ліній зв'язку рекомендується використовувати різні частоти / технології (наприклад, наземні системи, що працюють в межах прямої радіовидимості, або супутникові системи BRLOS), оскільки це забезпечить значно більший рівень захисту від можливої втрати лінії C2.

Зовнішній пілот повинен постійно отримувати інформацію про експлуатаційний статус всіх ліній C2.

В разі відмови лінії C2 і в залежності від ділянки польоту, на якому відбувається відмова, а також ризику, який він представляє для інших користувачів повітряного простору.

Тому у випадках позаштатних ситуацій використовуються наступні варіанти дії:

а) Продовження польоту у відповідності з початковим планом польоту. Цей варіант може підходити для польотів невеликої довжини, коли запланованим пунктом призначення є незавантажені аеродроми або місця посадки або запланований політ виконується в повітряному просторі з низькою щільністю руху. Однак в цілому реалізація цього варіанту може привести до виконання ДППС "непідконтрольного" польоту протягом тривалого періоду часу (або навіть протягом кількох днів), перетинанню великої кількості національних кордонів і в кінцевому підсумку до спроби виконати заходження на посадку і

посадку на завантаженому аеродромі в метеорологічних умовах (напрямок, швидкість вітру і видимість), що відрізняються від тих, які очікувалися на момент початку польоту. Як мінімум, в цьому випадку повинна бути передбачена функція управління польотом з високим ступенем цілісності. Цей варіант може бути неприйнятним для державних повноважних органів, органів УПР або інших користувачів повітряного простору.

б) Посадка на найближчому відповідному призначеному місці посадки. Цей варіант гарантує зведення до мінімуму тривалості невідконтрольного польоту і погодження з місцем посадки питання про виконання заходу на посадку і посадки невідконтрольного ДППС. (В залежності від характеристик польоту найближчим відповідним запасним аеродромом або місцем посадки можуть бути запланований пункт призначення, аеродром вильоту або місце вильоту).

в) Пряме повернення на аеродром вильоту або місце вильоту. Для цього варіанту характерні проблеми, що розглядаються в підпункті а), в тому плані, що ДПВС може перебувати на багатогодинному польоті відстані від аеродрому вильоту або місця вильоту, які вже не можуть забезпечити виконання неконтрольованого заходу на посадку в автоматичному режимі. Як наголошується в варіантом б), в деяких випадках найближчим відповідним призначеним місцем посадки може бути аеродром вильоту.

г) Припинення польоту. Як правило, слід уникати негайного припинення польоту, оскільки в цьому випадку при зниженні, результатом якого може стати втрата повітряного судна, ризику піддаються люди і майно на землі, а також інші користувачі повітряного простору. Однак в ряді випадків регулятивні органи можуть передбачити використання цього варіанту.

д) Набір до заданої висоти для вжиття заходів з відновлення лінії C2. Для контролюємого повітряного простору цей варіант може бути неприйнятним, якщо орган УПР не забезпечує достатнього періоду часу для відведення інших повітряних суден з цього району, в результаті чого значному ризику піддаються інші користувачі повітряного простору. Незважаючи на те що цей варіант може

бути реалізований як узгодженого плану на випадок непередбачених обставин (наприклад, виконання польоту до відомої точки з подальшим набором 5000 фут для вжиття заходів з відновлення лінії C2), є багато сценаріїв, в рамках яких такий підхід буде неефективним, що зумовить необхідність ініціювання альтернативної процедури.

Перехоплення. Експлуатанти ДПАС повинні дотримуватися Стандартів Додатки 2, що стосуються перехоплення. Змінювати ці вимоги з метою охоплення ДППС найближчим часом не планується. Відповідно повноважні органи держав повинні враховувати наслідки виконуваних при перехопленні маневрів як для ДППС, так і для повітряних суден-перехоплювачів.

Відповідно до Стандартів польотів Додаток 2 необхідно виконувати наступні дії:

1. У разі можливості встановлення радіозв'язку перехоплюваному повітряному кораблю слід передавати по радіотелефону вказівки щодо напрямку польоту і відповідну інформацію.

2. У тих випадках, коли перехоплюваному повітряному кораблю даються вказівки щодо направлення польоту, необхідно передбачати, щоб повітряне судно не потрапило в умови, в яких видимість може бути нижче встановленого мінімуму для польотів в візуальних метеорологічних умовах, і щоб виконання маневрів, необхідних від перехоплюваного повітряного судна, щоб не збільшувало вже існуючу небезпеку у випадку, коли погіршилися льотно-технічні характеристики повітряного судна.

3. У виняткових випадках, коли від перехоплюваного повітряного корабель потрібно зробити посадку над територією, яку пролітає ПК, необхідно також передбачити, щоб:

а) зазначений аеродром був придатний для безпечної посадки даного типу повітряного судна, особливо в тих випадках, якщо аеродром, як правило, не використовується для цивільних повітряних перевезень;

b) навколишня місцевість була придатною для польоту по колу, заходу на посадку і відходу на друге коло;

c) перехоплюється повітряне судно мало достатній запас палива для проходження до аеродрому;

d) якщо перехоплюється повітряне судно є цивільним транспортним літаком, зазначений аеродром повинен мати ВПП довжину еквівалентну 2500 м на середньому рівні моря, і міцність покриття, достатню для посадки цього повітряного судна; і

e) у міру можливості, вказаний аеродром був аеродромом, який детально описаний у відповідному збірнику аеронавігаційної інформації [21].

Аварійні ситуації за даними EASA в основному виникають за наступних причин:

- втрата лінії C2;
- складні метеорологічні умови;
- аварійна посадка/аварійне приводнення;
- електромагнітні перешкоди;
- лиха.

Крім того, дистанційний пілот повинен знати робочі межі обладнання щодо погодних умов. За даними ASSSIST [20] є такі види надзвичайних ситуацій, які можуть бути на борту БПЛА:

- удар птахів;
- попередження про бомбу;
- проблеми з гальмами;
- збій зв'язку;
- проблеми з електрикою;
- аварійна ситуація спуск;
- поломка двигуна;

- пожежа на борту;
- проблеми з паливом;
- проблеми з передачею;
- проблеми з гідравлічною системою;
- обмерзання;
- скидання палива;
- аварійна посадка;
- припинення зльоту;
- низький тиск масла.

ASSIST (Acknowledge, Separate, Silence, Inform, Support, Time):

- попадання птиці;
- повідомлення про закладену бомбу;
- проблеми з гальмами;
- відмова зв'язку (при візуальних метеоумовах);
- відмова зв'язку (при відсутності візуальних метеорологічних умов);
- проблеми з електропостачанням;
- аварійне зниження;
- відмова двигуна на багатомоторні ПС;
- пожежа двигуна або допоміжної установки;
- аварійний злив палива;
- проблеми з паливом - малий залишок палива;
- проблеми з шасі - індикація невипуску;
- незаконне втручання;
- проблеми з гідравлікою;
- обледеніння;
- удар блискавки;
- низький тиск масла;

- аварійна посадка поза а / д;
- проблеми з наддувом. розгерметизація;
- дим або вогонь в пілотської кабіни;
- перерваний зліт;
- втрата працездатності одного з членів екіпажу;
- турбулентність.

Виконання дій оператора УПР виконується згідно з технологією ASSIST:

Acknowledge. Підтвердить отримання повідомлення від зовнішнього пілота про аварійну ситуацію .

Separate. Забезпечуйте польот ДППС, що знаходиться в аварійній ситуації відносно інших ДППС. Дайте даному ДППС простір для маневру.

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

Inform. Інформуйте керівника польотів і всіх заінтересованих операторів БАС, операторів органів ОПР.

Support. Надавайте зовнішньому пілота ДППС будь-яку можливу допомогу в ситуації, що склалася.

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

Пропонується виконання дій оператора ДППС згідно з технологією ASSIST:

Acknowledge. Підтвердить отримання повідомлення від зовнішнього пілота про аварійну ситуацію.

Separate. Забезпечуйте польот ДППС, що знаходиться в аварійній ситуації відносно інших ДППС. Дайте даному ДППС простір для маневру.

Sinergetica. Синергічне управління в нових умовах, наприклад, ЗС:

- *coordinated;*
- *cooperation;*

– *consolidation*.

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

Inform. Інформуйте керівника польотів і всіх заінтересованих операторів БАС, операторів органів ОНР.

Support. Надавайте зовнішньому пілоту ДППС будь-яку можливу допомогу в ситуації, що склалася.

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

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1

Безпілотні літальні апарати складають з себе перспективи в майбутній авіації. На сьогоднішній день існує різноманітний вибір, якщо раніше існували тільки такі типи як: великі, середні і малі, то тепер є мікро і навіть нано БПЛА. Стрімкий розвиток нових характеристик для моделей БПЛА надає можливість для більш широкого використання в таких галузях як: архітектура; містобудування; міське та сільське господарство, картографія; кадастр; фотомистецтво; кінематограф. Основною привілецією безпілотного літального апарату являється відсутність пілота на борту, завдяки чому відкрились нові можливості, наприклад, такі як дослідження зон радіоактивного, біологічного, хімічного зараження. Тобто тепер потенційно життю людини, яка раніше повинна була досліджувати такі зони сама – тепер нічого не загрожує.

Найближчим часом велика кількість задач, поставлених перед БПЛА, може стати затребуваною, а саме: моніторинг технічного стану, безпеки та експлуатації об'єктів, розташованих на значній відстані; постійний моніторинг радіаційного характеру території України та окремих об'єктів з метою фіксації рівня зараження території; постійне повітряне спостереження за територією для

підтримки запобігання природним і техногенним катаклізмам; моніторинг повітря в умовах техногенних стихійних лих, пожеж на лісопромислових зонах спостереження, прогнозування та боротьба з лісовими пожежами; контроль над станом окремих акваторій і прибережних смуг; пошуко-рятувальна служба у випадку надзвичайних ситуацій.

Проте зараз кожен може використовувати БПЛА і для своїх особистих цілей, які не завжди є доброзичливими. Таке повсюдне використання БПЛА потребує детального правового регулювання діяльності. Однак, правовий статус безпілотних літальних апаратів в Україні належним чином не визначений і вимагає всебічного регулювання на законодавчому рівні. Загалом, немає конкретних нормативних документів для польотів дронів, їх сертифікації та реєстрації. Загалом на даний момент БПЛА підлягають регулюванню такими нормативно-правовими актами, як Повітряний кодекс України, Правила реєстрації цивільних повітряних суден України, Положення про використання повітряного простору України.

РОЗДІЛ 2. МОДЕЛІ І МЕТОДИ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОЛЬОТІВ БПЛА В ІНТЕГРОВАНОМУ ПРОСТОРИ

2.1 Прийняття рішень в умовах визначеності

У випадку вироблення рішень за умов визначеності увага спрямована на пошук максимальної віддачі або у вигляді максимізації вигоди (доходу, прибутку або корисності), або мінімізації витрат. Такий пошук називається оптимізаційним аналізом. Три методи оптимізації, використовуються особою, яка приймає рішення: граничний аналіз, лінійне програмування та прирістний аналіз прибутку.

Граничний аналіз. В умовах визначеності доходи та витрати будуть відомі для будь-якого рівня виробництва та продажу. Завдання полягає в тому, щоб знайти їх оптимальне співвідношення, що дозволяє максимізувати прибуток. Граничний аналіз дозволяє це зробити. В ньому використовуються концепції граничних витрат та граничного доходу.

Граничний дохід визначається як додатковий дохід (зміна загального доходу), що отримується від продажу додаткової одиниці товару.

Граничні витрати визначаються як додаткові витрати (зміна величини загальних витрат) на придбання або виробництво додаткової одиниці продукції.

Прирістний аналіз. Слід нагадати, що граничний аналіз має справу зі змінами значень взаємозалежних, але постійних функцій. В реальному світі, однак, функції попиту, доходу, виробництва і витрат не можуть бути відомі досить точно і зазнають змін. Тим не менш, ці завдання можуть бути вирішені методом прирістного аналізу прибутку, що розвиває концепцію граничного аналізу стосовно до ширшим практичним завданням.

Прирістний аналіз прибутку оперує з будь-якими і всіма змінами у доходах, витратах і прибутку, що стали наслідком певного рішення. Таким чином,

концепція прирістного аналізу охоплює зміни як самих функцій, так та їх значень. Основне правило рішення полягає в тому, щоб прийняти будь-яку пропозицію, що підвищує прибуток, або відкинути будь-яку пропозицію, її зменшує.

Оскільки у прирістному рішенні розглядається лише змінні, що зазнають змін, постійні складові витрат (такі, як страхування та знецінення грошей) не розглядаються. Таким чином, прирісні рішення відносяться до короткострокової концепції. На жаль, багато управляючих не використовують приріст терміни; навпаки, вони приймають рішення виходячи з середніх значень загальних витрат, включаючи них постійні та змінні складові (цілком розподілені витрати). Майже завжди короткострокові рішення, засновані на середніх значеннях повністю розподілених витрат, невірні, якщо метою фірми буде максимізація прибутку.

Лінійне програмування. Моделі лінійного програмування відрізняються наочністю та відносною простотою. Їх використання в багатьох практично важливих задачах, пов'язаних із прийняттям рішень, виявилось високоефективним, у зв'язку з чим вони отримали достатньо широке розповсюдження. До найбільш відомих задач лінійного програмування відносяться:

- завдання про розподіл обмежених ресурсів (завдання оптимального планування);
- задачі про оптимальний кошик продуктів (завдання про дієту, завдання оптимального змішування);
- завдання оптимального розкрою (матеріалів, заготовок);
- транспортні завдання;
- завдання про призначення;
- завдання оптимізації грошових потоків;
- завдання оптимізації графіків платежів.

Умовою визначеності прийняття рішення є ситуація, коли особа, яка приймає рішення, відповідає тому, що станеться під час прийняття рішення. Це умова, коли майбутнє впевнене на 100 відсотків.

Майбутня ситуація узгоджується через наявність достовірної інформації та відомі їх причини та наслідки. Завдяки відомим умовам конфліктів у прийнятті рішень немає. Так само це економить час на прийняття рішень.

Як відомо, для прийняття рішення ми вибираємо найкращий спосіб дій з доступних альтернатив. Тут вибирається одна найкраща альтернатива, а її результати також відомі, що забезпечує оптимальні результати.

Ця умова існує в рутинних рішеннях, таких як повсякденна діяльність, виплата заробітної плати, тощо. Інший приклад, коли людина збирається купити автомобіль, він може зібрати всю відповідну інформацію про цей автомобіль, і він отримує підтвердження, який тип автомобіля він купує.

Тому приймати рішення в умовах визначеності легко і просто, і шанси на неоднозначність менше.

Алгоритм побудови мережевого графу

1. Визначити технологію роботи Л-О для виконання проекту;
2. Декомпозиція технології роботи на операційні процедури $\alpha_i, i=\overline{1, n}$;
3. Побудова блок-схеми виконання технології робіт;
4. Визначення часу $t_i, i=\overline{1, n}$, на виконання операційних процедур за допомогою методу експертних оцінок (експериментально, за статистичними даними);

Визначення середнього часу для кожної операційної процедури:

$$t_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{m} \quad (2.1)$$

де m – кількість експертів;

5. Узгодженість експертів:

- 5.1. Дисперсія:

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^m (t_{R \times j} - t_i)^2}{m-1} \quad (2.2)$$

5.2. Середньоквадратичне відхилення:

$$\delta_j = \sqrt{D_j} \quad (2.3)$$

5.3. Коефіцієнт варіації:

$$\gamma_j = \frac{\delta_j}{t_{g \times j}} \times 100\% \quad (2.4)$$

6. Структурно-часова таблиця переліку операційних процедур і часу на виконання операційної процедури ($t_i, i = \overline{1, n}$);
7. Мережевий графік виконання операційних процедур;
8. Визначення критичного часу $T_{кр}$ для виконання проекту;
9. Визначення критичного шляху виконання проекту.

2.2 Прийняття рішень в умовах невизначеності

Невизначеність — властивість об'єкта прийняття рішення, що виражається в його невизначеності, неясності, необґрунтованості, що призводить до недостатньої можливості для осіб, які приймають рішення, усвідомлення, розуміння, визначення його сьогодення та майбутнього стану. В умовах невизначеності особа, яка приймає рішення, має дуже мало інформації про альтернативи. Чого недостатньо, щоб скласти план дій.

Таким чином, щоб прийняти правильне рішення, керівник повинен якомога швидше зібрати відповідну інформацію. Через недостатню кількість інформації статистичний аналіз тут неможливий. Такі якісні інструменти, як судження, інтуїція та досвід, відіграють життєво важливу роль у зборі інформації в невизначеній ситуації.

Після цього рішення можна прийняти в умовах невизначеності, але є більше шансів на неоднозначне майбутнє і більше можливостей помилки.

Ризик — можлива небезпека, дія навмання, що вимагає, з одного боку, сміливості в надії на щасливий результат, з іншого — врахування математичного обґрунтування ступеня ризику. В умовах ризику особа, яка приймає рішення, знає про альтернативи, але не знає про їх результати чи наслідки. Тут не можна правильно оцінити майбутній стан. Це умова, коли майбутнє впевнене, але менше ніж на 100 відсотків.

Через неповну інформацію, людині, яка приймає рішення, важко передбачити майбутні умови. Таким чином, щоб отримати повну інформацію, він може зібрати необхідну інформацію за допомогою досліджень, знань, досвіду, іншої доступної інформації. Після збору інформації її можна проаналізувати за допомогою суджень і статистичного аналізу, і можна вибрати альтернативу, яка має найвищий очікуваний результат.

Тому приймати рішення в умовах визначеності легко і просто, і шанси на неоднозначність менше.

Прийняти рішення в умовах ризику в порівнянні з умовою визначеності досить складно і трудомістко. І є ймовірність неоднозначності та непрактичних рішень.

Практика прийняття рішень характеризується сукупністю умов та обставин (ситуацією), що створюють певні відносини, обстановку, становище у системі прийняття рішень. Враховуючи кількісні та якісні характеристики інформації, що знаходиться у розпорядженні осіб, що приймають рішення, виділяють рішення, що приймаються в умовах:

1. визначеності (достовірності);
2. невизначеності (ненадійності);
3. ризик (ймовірнісної визначеності).

У разі визначеності особи, приймають рішення, досить точно визначають можливі альтернативи рішення. Проте практично важко оцінити чинники, створюють умови до ухвалення рішення, тому ситуації повної визначеності найчастіше відсутні.

Джерелами невизначеності очікуваних умов у розвитку підприємства можуть бути поведінка конкурентів, персоналу організації, технічні та технологічні процеси та зміни кон'юнктурного характеру. У цьому умови можуть поділятися на соціально-політичні, адміністративно законодавчі, виробничі, комерційні, фінансові. Таким чином, умовами, що створюють невизначеність, є вплив факторів зовнішнього та внутрішнього середовища організації. Якщо існує кілька варіантів майбутнього розвитку навколишнього середовища, що зумовлюють відповідні економічні результати, може виникнути ситуація ризику чи невизначеності. І тут можна, використовуючи теорію ймовірності, розрахувати ймовірність тієї чи іншої зміни середовища; у ситуації невизначеності значення ймовірності отримати не можна. Невизначеність є у неможливості визначення ймовірності настання різних станів зовнішнього середовища через їхню необмежену кількість і відсутність способів оцінки. Невизначеність враховується у різний спосіб. Вона зменшується, якщо звести її до умов ризику.

Зниження невизначеності, яка потрібна на прийняття рішення, практично забезпечується:

- збором інформації, що зменшує невизначеність очікувань;
- обробкою інформації методами аналізу, прогнозу, сценарію та визначення причин, форм та наслідків невизначеності;
- розробкою моделей, адекватних ситуаціям, що складаються, і отриманням в результаті моделювання значень цільових величин, функціональних залежностей станів об'єкта управління і навколишнього його середовища.

У ринкових умовах поряд із ситуаціями невизначеності і ризику як наслідок конкурентної боротьби виникає конфлікт. У такій ситуації одна із сторін виграє за рахунок програшу іншої. Конфліктна ситуація аналізується із застосуванням теорії ігор. При прийнятті обґрунтованих рішень необхідно оцінити рівень

ризик як об'єктивну (кількісну міру можливості настання випадкового впливу) і суб'єктивну можливість втрат (встановлювану експертним способом).

Виплати - прибуток або збиток від ухвалення рішення.

Таблиця виплат - спосіб подання інформації, зручний для аналізу та вибору оптимального рішення. Виплати в таблиці наводяться за окремими варіантами рішення та станів середовища.

Умова невизначеності. Невизначеність – це ситуація, коли особа, яка приймає рішення, має дуже мало інформації про альтернативи. Чого недостатньо, щоб скласти план дій.

Через недоступну інформацію керівник не знає про ситуацію, з якою він стикається, не знає про наслідки, пов'язані з альтернативами. Невизначеність виникає через брак інформації, впровадження нового продукту чи послуги, впровадження нової технології тощо. Це створює труднощі для розуміння навколишнього середовища, прогнозування майбутнього та прийняття рішення.

Таким чином, щоб прийняти правильне рішення, керівник повинен якомога швидше зібрати відповідну інформацію. Через недостатню кількість інформації статистичний аналіз тут неможливий. Такі якісні інструменти, як судження, інтуїція та досвід, відіграють життєво важливу роль у зборі інформації в невизначеній ситуації.

Після цього рішення можна прийняти в умовах невизначеності, але є більше шансів на неоднозначне майбутнє і більше можливостей помилки.

2.3 Метод експертних оцінок

Теорія прийняття рішень є назвою математичного апарату, який використовується в цій сфері. Її головне завдання полягає у визначенні найкращого варіанту серед кількох можливих. Спосіб прогнозування та оцінки майбутніх результатів дій на основі прогнозів фахівців називають методом експертних оцінок. При застосуванні методу експертних оцінок проводиться

опитування спеціальної групи експертів з метою визначення певних змінних величин, необхідних для оцінки досліджуваного питання. Залучені експерти можуть висловити свою думку щодо значущості параметрів пілотування, складності процедур управління повітряним рухом, найкращих способів мобілізації резервів, залучення інвестицій, строків досягнення поставлених завдань, критеріїв відбору оптимальних варіантів рішення тощо. Необхідною умовою ефективного застосування методів експертної оцінки є достатня обізнаність експерта з досліджуваною проблемою, високий рівень ерудиції, здатність його давати чіткі вичерпні відповіді. За допомогою методу експертних оцінок визначаються переваги ЛПР щодо значущості досліджуваних параметрів.

Метод експертних оцінок реалізується шляхом обробки думок досвідчених спеціалістів про можливі значення збитків та ймовірність їх настання і є використовується в неформалізованій задачі ситуації, коли відсутність достатнього масиву інформації або її ненадійність не дозволяє використовувати формальних математичних методів в чистому вигляді. Цей метод заснований про використання інтуїції, минулого досвіду, аналогії та логіки. Процедури методу експертних оцінок засновані на використанні особи для отримання кількісної оцінки якісних суджень.

Після проведення опитування групи експертів здійснюється обробка результатів. Початковою інформацією для обробки є числові дані, що виражають переваги експертів, і змістовне обґрунтування цих переваг. Метою обробки є отримання узагальнених даних і нової інформації, що міститься в прихованій формі в експертних оцінках. На основі результатів обробки формується вирішення проблеми. Наявність, як числових даних, так і змістовних висловлювань експертів призводить до необхідності застосування якісних і кількісних методів обробки результатів групового експертного оцінювання. Питома вага цих методів істотно залежить від класу проблем, що вирішуються експертним оцінюванням. Залежно від цілей експертного оцінювання і

вибраного методу виміру при обробці результатів опитування виникають наступні основні завдання:

- побудова узагальненої оцінки об'єктів на основі індивідуальних оцінок експертів;
- побудова узагальненої оцінки на основі парного порівняння об'єктів кожним експертом;
- визначення відносних важливості об'єктів;
- визначення узгодженості думок експертів;
- визначення залежності між ранжуваннями;
- оцінка надійності результатів обробки.

Рациональне використання інформації, що отримується від експертів, можливо за умови перетворення її у форму, зручну для подальшого аналізу, спрямованого на підготовку ПР. Форма представлення експертних даних залежить від прийнятого критерію, на вибір якого у свою чергу істотний вплив робить специфіка досліджуваної проблеми. Значить, для нас найважливіше - формалізувати цю інформацію так, щоб допомогти ЛПР вибрати з безлічі дій одне (чи декілька), найбільш прийнятне відносно деякого критерію. Якщо експерт в змозі порівняти і оцінити можливі варіанти дій, приписавши кожному з них певне число, вважатимемо, що він має певну систему переваг. Залежно від того, за якою шкалою можуть бути задані ці переваги, експертні оцінки містять більший або менший об'єкти інформації і мають різну здатність до математичної формалізації.

У випадках, коли досліджувані об'єкти можна в результаті порівняння розташувати в певній послідовності з урахуванням якого-небудь істотного чинника, використовуються порядкові шкали, що дозволяють встановлювати рівноцінність або домінування. Використання порядкових шкал дозволяє розрізняти об'єкти і в тих випадках, коли чинник не заданий в явному виді, тобто, коли ми не знаємо ознаки порівняння, але можемо частково або повністю упорядкувати об'єкти на основі системи переваг, яку має експерт.

При рішенні багатьох практичних завдань часто виявляється, що чинники, що визначають кінцеві результати, не піддаються безпосередньому виміру. Розташування цих чинників в порядку зростання (чи зменшення) значущості називається ранжуванням. Ранжування дозволяє вибрати з досліджуваної сукупності чинників найбільш суттєвий. В цьому випадку отримують рангову шкалу – шкала, яка містить елементи, що розташовані за порядком значущості. При ранжуванні експерт повинен розташувати об'єкти (параметри) в порядку, який представляється йому найбільш раціональним, і приписати кожному з них числа натурального ряду - ранги. При цьому ранг 1 отримує найбільш прийнятна альтернатива, а ранг N - найменш переважна. Отже, порядкова шкала, що отримується в результаті ранжування, повинна задовольняти умові рівності числа рангів N числу об'єктів n , що ранжуються. Буває так, що експерт не в змозі вказати порядок дотримання для двох або декількох об'єктів або він привласнює різним об'єктам один і той же ранг, і в результаті число рангів N виявляється не рівним числу об'єктів n , що ранжуються. У таких випадках об'єктам приписуються так звані стандартизовані ранги. З цією метою загальне число стандартизованих рангів вважають рівним n , а об'єктам, що мають однакові ранги, привласнюють стандартизований ранг, значення якого представляє середнє суми місць, поділених між об'єктами з однаковими рангами. При оцінці об'єктів дослідження експерти частенько розходяться в думках з вирішуваної проблеми. У зв'язку з цим виникає необхідність кількісної оцінки міри згоди експертів – узгодженості думки експертів. Отримання кількісної міри узгодженості дозволяє більше обґрунтовано інтерпретувати причини розбіжності думок. Використовуючи методи парного порівняння, можна знайти рангову кореляцію між оцінками кожної пари експертів. При великій кількості експертів розрахунки стають надзвичайно трудомісткими, тому узгодженість думок експертів оцінюється за допомогою коефіцієнта конкордації W , тобто загального коефіцієнта рангової кореляції для групи, що складається з m експертів [22].

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2

В цьому розділі стисло розглянуто принципи прийняття рішень в умовах визначеності та невизначеності, з цього можемо зробити висновок, що при достатній кількості інформації, джерел та ресурсів, і навпаки, коли всього цього бракує ми повинні вибрати оптимальний варіант вирішення поставленої задачі за допомогою аналізу, програмування та формул для розрахунків. Також для невизначеності потрібно знайти більше інформації даних для спрощення вирішення завдання.

В умовах визначеності особа, яка приймає рішення, знає все про можливі стани сутності явищ, що впливають на рішення, і знає, яке рішення буде ухвалено. Вона вибирає стратегію, напрямок дій або проект, які дадуть максимальну віддачу.

У випадку з невизначеністю через недоступну інформацію людина, яка приймає рішення не знає про ситуацію, з якою вона стикається, не знає про наслідки, пов'язані з альтернативами. Невизначеність виникає через брак інформації, впровадження нового продукту чи послуги, впровадження нової технології тощо. Це створює труднощі для розуміння навколишнього середовища, прогнозування майбутнього та прийняття рішення.

Метод експертних оцінок допомагає в ситуації коли відсутність достатнього масиву інформації або її ненадійність не дозволяє використовувати формальних математичних методів в чистому вигляді. Цей метод заснований про використання інтуїції, минулого досвіду, аналогії та логіки.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ АВАРІЙНОЇ ПОСАДКИ В СКЛАДНИХ МЕТЕОУМОВАХ

3.1 Складні метеорологічні умови

Згідно з даними Бюро безпеки на транспорті 21,3% авіаційних подій відбувається через погодні умови, з них 39,1% через складні метеоумови. При цьому основною причиною авіаційних подій у БМУ (до 68%) визнається неправильне і несвоєчасне прийняття рішень екіпажем повітряного судна [14].

Як відомо, для групи метеорологічних несприятливих явищ для польоту більш актуальні наявні варіації за техніко-експлуатаційними характеристиками.

Хоча існують безпілотники, які важать більше 1 тонни і можуть літати на висоті вище 60 000 футів, більшість операцій включає невеликі літаки, які літають близько до землі, і, таким чином, вони більш вразливі до несприятливих погодних умов, які виникають на малих висотах.

Перед початком польоту, крім знання керівництва з експлуатації обладнання, дистанційний пілот повинен знати всю інформацію, необхідну для планування польоту. Однією з необхідних для польоту інформацій є ретельна оцінка погодних умов.

Погодні умови ідеальні для безпечної роботи БПЛА повинні бути сонячні дні зі штилем або слабким вітром, і становлять менший ризик для безпеки роботи цього типу обладнання. Однак може знадобитися експлуатувати RPAS в погодних умовах, які не завжди відповідають ідеальному робочому профілю. У цій ситуації необхідно подбати про те, щоб не поставити під загрозу безпеку експлуатації та уникнути пошкодження обладнання та, зокрема, ризику зіткнення з об'єктами, людьми та літаками.

Щоб уникнути польоту РРА за несприятливих погодних умов, дистанційному пілоту рекомендується знати інформацію про погоду перед польотом і знати про ризики, які можуть спричинити певні явища для цього типу операції. Така турбота допоможе підвищити вашу ситуаційну обізнаність.

Крім того, дистанційний пілот повинен знати робочі межі обладнання щодо погодних умов. Швидкість вітру понад 20 вузлів, сніг, дощ і туман є несприятливими погодними умовами для роботи деяких моделей, таких як Phantom 4 (рис. 3.1.) і Mavic (Рис. 3.2.).



Рисунок 3.1 – квадрокоптер DJI Phantom 4



Рисунок 3.2 – квадрокоптер DJI MAVIC AIR Arctic White

Дощ. Дощі утворюються з крапель води діаметром більше 0,5 мм, видимо відокремлених від хмар. Зазвичай вони викликані зіткненням двох повітряних мас (маси холодного повітря і маси теплого повітря) внаслідок фронту або підняття хмари висхідними течіями.

Політ під час дощу може призвести до руйнування обладнання, оскільки більшість дронів не є водонепроникними або водонепроникними. Дощова вода, навіть під час невеликих дощів, може стикатися з гарячими батареями та двигунами та викликати поломки в електронних системах.

Крім того, ці погодні умови можуть спричинити більші труднощі для роботи дронів, які використовують камери для забезпечення стабільності та навігації, оскільки дощ може зменшити контраст, необхідний камері для розпізнавання руху.

Дія дощової води може погіршити продуктивність зв'язку керування та керування, а також може призвести до значного зменшення радіодіапазону. Крім того, надлишок вологи може стати причиною тимчасового виходу обладнання з ладу.

Іншою небезпекою, з якою можна зіткнутися під час роботи ДПЛА в умовах дощу, є складність перегляду дрона віддаленим спостерігачем / пілотом, що критично важливо для операцій VLOS, або іншим літаком. Дощова вода також може значно зменшити огляд фронтальної камери - на літаках, оснащених таким обладнанням.

Якщо під час роботи почнеться дощ, настійно рекомендується припинити політ і висушити всі вологі частини обладнання.

Один із способів уникнути ризику дощу під час польоту дрона — перевірити доступну інформацію про погоду перед початком операції та переглянути останні звіти про погоду та прогнози погоди. Таке планування вимагає адекватного передбачення часу зльоту обладнання.

Пориви вітру та зсув вітру. Вітри стають сильними, коли між двома точками існує велика різниця тиску. У цій ситуації повітря буде рухатися від

точки найбільшого тиску до точки найменшого тиску в горизонтальному напрямку.

У регіонах, де часті сильні вітри, політ дрона може стати потенційно небезпечним, оскільки за умов вітру та зсуву вітру корекції пілотування RPA може бути недостатнім для забезпечення безпечної експлуатації.

Кожен RPA має стійкість до сильного вітру, про яку повідомляє виробник. Політ за межі допуску може спричинити проблеми з навігацією, оскільки обладнання може не мати сили подолати опір вітру або може дуже швидко набирати екстремальні швидкості.

Якщо швидкість вітру перевищує 15 вузлів (32 км/год), дистанційний пілот може відчувати труднощі з керуванням навігацією обладнання, що може призвести до ризику зіткнення з людьми, літаками або перешкодами.

При перевищенні цієї швидкості рівень стійкості обладнання до впливу вітру буде змінюватися залежно від розміру пропелерів, обертання двигуна та ваги обладнання. Можна використовувати датчики вимірювання швидкості, які можна встановити на безпілотники. У разі багатопривідних дронів установка цих датчиків стає дещо складнішою, оскільки датчик необхідно закріпити в місці, на яке не впливає вітер самих пропелерів дрона.

Виконання роботи дрона в умовах сильного вітру вимагає багато практики, терпіння та турботи про поповнення заряду акумулятора.

Це має місце, наприклад, коли дистанційний пілот вирішує літати на висоті, вищій, ніж дозволена інструкцією з обладнання. У цій ситуації RPA може зіткнутися з труднощами подолання опору вітру. Важливо зазначити, що на більш високих рівнях швидкість вітру може змінюватися швидше через зниження атмосферного тиску, що вимагає більшої уваги до параметра швидкості вітру під час роботи.

Іншою потенційно небезпечною ситуацією є експлуатація під дією бічного вітру - коли вітер має напрямок у бік RPA.

Якщо бічний вітер буде на великій швидкості, дистанційний пілот може бути здивований. У цій ситуації обладнання може вийти з прямої видимості і втратити сигнал радіо, перейшовши в режим FailSafe. Якщо висота, встановлена для повернення, недостатня, обладнання може зіткнутися з рослинністю або з перешкодами в землі.

Бічні вітри поширені при обльоті гірських районів (рис. 3.3.), переважно в районі виходу з гір.



Рисунок 3.3 – Політ БПЛА в гірському районі

Інша обережність, яку необхідно дбати дистанційному пілоту щодо вітру, полягає в тому, щоб знати його напрямок перед початком роботи РРА, щоб планування операції було сумісним із терміном служби батареї обладнання.

Якщо операцію розпочати на користь напрямку вітру, а політ зворотного відтягування до основи здійснюється проти напрямку вітру, то на зворотній ділянці, безумовно, буде більше використання батареї. Цю деталь необхідно враховувати при плануванні операції.

Також важливо, щоб дистанційний пілот знав усі межі автономності свого обладнання, щоб уникнути спусків з дуже високою швидкістю, що може

посилити градієнт вітру та спричинити ризик зіткнення з землею, перешкодами та людьми.

Щоб пом'якшити небезпеку поривів вітру, бічного вітру або зсуву вітру під час роботи РРА, важливо враховувати дані вітру на поверхні під час планування польоту. Існують веб-сторінки, які виводять інформацію в режимі реального часу і тенденцію на наступні години напрямом і швидкість вітру на поверхні.

Небезпека вітру в місцях з перешкодами. Якщо операція проводиться поблизу ділянок з великими будівлями, штучними укриттями або природними перешкодами, такими як великі дерева, необхідно приділяти додаткову увагу. Перешкоди в ґрунті впливають на потік вітру. З цієї причини перед початком роботи в цих місцях рекомендується ознайомитися з різними вітрами місцевості.

Туман. Політ на далекій відстані при тумані (рис 3.4.), не рекомендується проводити. Віддалений пілот ДПАС повинен надавати перевагу операціям візуальної лінії видимості (VLOS), при яких пілот підтримує зоровий контакт з ДПАС протягом усього польоту.

Обмеження видимості можуть перешкодити дистанційному пілоту підтримувати прямий зоровий контакт з РРА.



Рисунок 3.4 – Політ БПЛА при тумані

Втрата зорового контакту з RPA. У цій ситуації операція VLOS може перетворитися на операцію EVLOS, коли дистанційному пілоту знадобиться допомога об'єктів, іншого обладнання та спостерігачів RPA, щоб безпечно виконувати політ, уникаючи зіткнень літаків і перешкод.

Якщо обмеження видимості стає більш інтенсивним через явище туману, дистанційний пілот повинен дотримуватися вимог, що застосовуються до пілотів пілотованого повітряного судна, щодо правил польоту за приладами (ППП), передбачених у ICAO 100-12 - Правила повітряного судна.

Щоб уникнути несподіваного входження в умови польоту за приладами (IFR), дистанційний пілот повинен знати про мінімуми видимості і не виконувати операцію в умовах туману.

Туман – це явище, фізична конституція якого нагадує хмару, яка відрізняється лише розташуванням, оскільки виникає поблизу поверхні. Він утворений надзвичайно дрібними крапельками води, які ширяють у повітрі, зменшуючи горизонтальну видимість до менш ніж 1 тисячі метрів.

Утворення відбувається, коли температура повітря досить низька, щоб водяна пара стала рідкою. Для цього необхідно, щоб середовище було дуже вологим, у повітрі була велика кількість крапель води.

Під час польотів у гірських районах дистанційний пілот повинен знати про раптове зниження видимості, оскільки висота впливає на зниження температури та на перехоплення мас вологого повітря, що надходять з інших місцевостей, що підвищує ймовірність виникнення туману. Такої ж обережності слід бути в разі обльоту ділянок поблизу водотоків, наприклад, річок і особливо озер, оскільки вдень відбувається виділення великої кількості вологи у вигляді пари, яка вночі конденсується, утворюючи густіший туман у ранкові години.

У вертикальному напрямку туман спричиняє погіршення видимості, в деяких випадках може повністю затьмарити небо.

Сприятливими умовами для утворення туману є слабкі приземні вітри, висока відносна вологість повітря (близька або дорівнює 100%) і велика кількість ядер конденсації.

Якщо дистанційний пілот вирішує керувати обладнанням після того, як туман розсіявся, йому слід збільшити свою увагу. Під час розсіювання туману, хоча умови видимості на землі покращуються, часто утворюється товстий шар хмар, що покривають все небо, основа яких може бути від 50 до 100 метрів від землі. Ці погодні умови можуть погіршити роботу VLOS, при якій пілот повинен підтримувати зоровий контакт з ДПАС протягом усього польоту.

У деяких ситуаціях виникнення стаціонарного фронту в зафронтівій зоні можна перевірити наявність туману та хмарності, що обмежує видимість.

На етапі планування польоту можна отримати інформацію про ймовірність виникнення туману в місці, де буде здійснюватися політ, за допомогою метеорологічних бюлетенів.

Нічний політ. Відсутність денного світла при польоті вночі (рис 3.5.) може погіршити підтримку VLOS (стан візуальної лінії видимості, при якому RPA залишається в полі зору пілота).



Рисунок 3.5 – Політ БПЛА вночі

Через це DECEA рекомендує дистанційному оператору RPA надавати перевагу операціям у світлий час доби, уникаючи польотів вночі [4].

3.2 Критерії знаходження оптимального рішення в умовах невизначеності

3.2.1 Критерій Вальда

Критерій Вальда (minmax) ґрунтується на принципі «conservative attitude» (консервативне ставлення) і застосовується, якщо необхідно знайти гарантоване рішення. Теоретичний погляд на статистику, висунутий Абрахамом Вальдом, мав очевидне тлумачення з точки зору прийняття рішень за повного незнання, в якому було показано, що максимінна стратегія є найкращою відповіддю проти мінімаксної стратегії природи. Критерій Вальда надзвичайно консервативний навіть у контексті повного незнання. Критерій Максиміна – песимістичний підхід. Це припускає, що особа, яка приймає рішення, розглядає лише мінімальні вигоди від альтернатив і вибирає альтернативу, результат якої найменш поганий. Цей критерій привабливий для обережної особи, яка приймає рішення, і прагне впевнитися, що в разі несприятливого результату існує принаймні відома мінімальна виплата. Такий підхід може бути виправданим, оскільки мінімальні виплати можуть мати більшу ймовірність настання або найменша виплата може призвести до вкрай несприятливого результату.

Цей критерій є найбільш обережним, оскільки він ґрунтується на виборі найкращої із найгірших можливостей. Оптимальне вирішення визначається за таким правилом:

$$A^* = \max_i \min_j \{ u_{ij} \} \quad (3.1)$$

Отримане рішення дає гарантований результат – найкраще рішення з найгірших альтернатив.

3.2.2 Критерій Лапласа

Критерій Лапласа базується на принципі «insufficient reason» (недостатне обґрунтування). Критерій недостатньої причини Лапласа базується на тому, що якщо немає інформації про ймовірності різних результатів, розумно припустити, що вони однаково вірогідні. Отже, якщо є n результатів, ймовірність кожного дорівнює $1/n$. Цей підхід також передбачає, що особа, яка приймає рішення, розраховує очікувану виплату для кожної альтернативи та вибирає альтернативу з найбільшим значенням. Використання очікуваних значень відрізняє цей підхід від критеріїв, які використовують лише екстремальні виплати. Ця характеристика робить підхід схожим на прийняття рішень під ризиком. Критерій Лапласа вказує, що особа, яка приймає рішення, передбачає, що ймовірність настання різного характеру є рівними ситуаціями, тому він зробив порівняння на основі найкращих очікуваних значень, тому вибирає альтернативу, яка досягає найбільшого прибутку при порівнянні прибутку та альтернативу, яка досягає найнижчих результатів при порівнянні витрат.

Цей критерій спирається на відомий принцип недостатнього обґрунтування і застосовується в тих випадках, коли рішення приймається багато разів. Стану $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_j, \dots, \lambda_n$ мають рівні ймовірності, тоді вихідне завдання може розглядатися як завдання прийняття рішення в умовах ризику, та вибирається дія A_i , що дає найбільший очікуваний виграш. Тобто, знаходиться дія (альтернатива) – A^* , відповідне:

$$A^* = \max \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_{ij} \right\} \quad (3.2)$$

де n – кількість факторів.

3.2.3 Критерій Гурвича

Найбільш відомим критерієм є критерій Гурвича, який визначає мінімальну та максимальну виплату для кожної даної дії x . Критерій Гурвича намагається знайти золоту середину між крайнощами оптимістів і песимістів. Замість того, щоб припускати повний оптимізм чи песимізм, Гурвич включає в себе міру обох, приписуючи певну відсоткову вагу оптимізму та рівновагу песимізму. Однак цей підхід намагається знайти баланс між критеріями максимуму та максимуму. Це передбачає, що мінімум і максимум кожної стратегії повинні бути усереднені з використанням α та $1 - \alpha$ як ваг. α представляє індекс песимізму та вибрано альтернативу з найвищим середнім значенням. Індекс α відображає ставлення особи, яка приймає рішення, до ризику. Обачний той, хто приймає рішення, встановить $\alpha = 1$, що зводить критерій Гурвича до критерію максимуму. Особа, що приймає рішення, що приймає авантюри, встановить $\alpha = 0$, що зводить критерій Гурвича до критерію максимального.

Цей критерій охоплює низку різних підходів до прийняття рішень: від найбільш оптимістичного до найбільш песимістичного за допомогою коефіцієнта оптимізму-песимізму α :

$$A^* = \max_i \{ \alpha \max_j u_{ij} + (1 - \alpha) \min_j u_{ij} \} \quad (3.3)$$

де $0 \leq \alpha \leq 1$.

При найбільш оптимістичному підході ($\alpha = 1$) можна вибрати дію, дає:

$$A^* = \max_i \max_j \{ u_{ij} \} \quad (3.4)$$

Аналогічно за найбільш песимістичних припущень ($\alpha = 0$) вибирається дія:

$$A^* = \max_i \min_j \{ u_{ij} \} \quad (3.5)$$

Критерій Гурвича трансформується на критерій Вальда, що характеризується обережністю під час виборів рішення.

Значення α між 0 і 1 може визначатися в залежності від схильності особи, яка приймає рішення, до песимізму чи оптимізму. При відсутності яскраво вираженої схильності вибирають $\alpha = 1/2$, що є найбільш розумним.

3.2.4 Критерій Севіджа

Оптимальне рішення за критерієм Севіджа знаходиться за допомогою матриці «жалю», що ЛПР не прийняла кращого рішення. У разі прибутків елемент матриці жалю визначається різницею між найкращим значенням у стовпці λ_j та значенням r (u_i, λ_j) при тому ж λ_j . Таким чином, ЛПР виражає побудовою матриці ijr свій «жаль» з приводу того, що не була обрана краща дія за стану λ_j . Після цього у кожному рядку нової матриці обирається мінімальний «жаль» та визначається стратегія (рядок) з найбільшим значенням. Приймавши це рішення, ЛПР має гарантію, що в найгірших умовах можливий прибуток виявляється не меншим, ніж знайдений. У випадку, якщо матриця виграшів містить елементи, що визначають витрати, ЛПР діє за принципом мінімаксу, передбачаючи, що природа набуває такого стану, який буде для ЛПР найгіршим, що потребує найбільших можливих витрат. Це визначення «жалю» дозволяє особі, яка приймає рішення, трансформувати матрицю виплат у матрицю «жалю». Мінімальний критерій передбачає, що особа, яка приймає рішення, дивиться на максимальний «жаль» кожної стратегії і вибирає ту, яка має найменше значення. Цей підхід підходить до обережних осіб, які приймають рішення, які хочуть переконатися, що обрана альтернатива працює добре порівняно з іншими альтернативами, незалежно від ситуації, що виникає. Це особливо привабливо для особи, яка приймає рішення, яка знає, що кілька конкурентів стикаються з ідентичними або подібними обставинами, і який усвідомлює, що результативність особи, яка приймає рішення, буде оцінюватися

по відношенню до конкурентів. Цей критерій застосовується до тієї ж ситуації прийняття рішення і перетворює матрицю виплат у матрицю «жалю».

Модифікацією критерію Вальда є критерій Севіджа. Він мінімізує втрати ЛПР за рахунок вибору належного варіанта A_j . Оптимальне рішення щодо критерієм Севіджа визначаємо за таким правилом:

$$A^* = \min_i \max_j r_{ij} \quad (3.6)$$

де r_{ij} матриця втрат: $r_{ij} = \max_j u_{ij} - u_{ij}$, $i = 1, m$

Необхідно сформувати проміжну матрицю «жалю» (втрат) r_{ij} . У кожному рядку вихідної матриці визначаємо максимальний елемент $\max u_{ij}$ і віднімаємо з нього решту елементів рядка. Виходить нова матриця втрат ЛПР, якщо вона приймає оптимального рішення. Мінімаксий критерій, що застосовується до отриманої матриці втрат, призводить до вибору раціонального рішення [21].

3.3 Матриця

Завдання вибору запасного аеродрому можна вирішити, застосувавши методи математичного програмування, а саме прийняття рішень в умовах невизначеності за допомогою відомих класичних критеріїв прийняття рішення – Лапласа, Вальда, Севіджа та Гурвича.

Дані, необхідні прийняття рішень за умов невизначеності, зазвичай задаються у вигляді матриці наведеної в табл. 3.1, рядки якої відповідають можливим діям (альтернативам, стратегіям): $A = \{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m\}$, а стовпці – можливим станам (чинникам, що впливають на ПР) системи: $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_j, \dots, \lambda_n\}$.

Формування результатів u_{ij} : $i=1, m$; $j=1, n$ матриці рішень визначається експертним методом АС ПП.

Таблиця 3.1 – Вихідна матриця

		Фактори								
		λ_1	λ_2		...		λ_j		...	λ_n
Стратегії	A_1	U_{11}	U_{12}		...		U_{1j}		...	U_{1n}
	A_2	U_{21}	U_{22}		...		U_{2j}		...	U_{2n}

	A_j	U_{j1}	U_{j2}		...		U_{jj}		...	U_{jn}

	A_m	U_{m1}	U_{m2}		...		U_{mj}		...	U_{mn}

Для знаходження оптимального рішення необхідно скласти матрицю рішення. Матрицю рішення формують безліч стратегій та безліч факторів, що впливають на прийняття рішення [24].

Як приклад для нашого завдання розглянемо рейс з аеродрому Харків до Кривого Рогу з можливими альтернативними пунктами призначення: Полтава, Павлоград, Дніпро та Кременчук (рис. 3.6.).

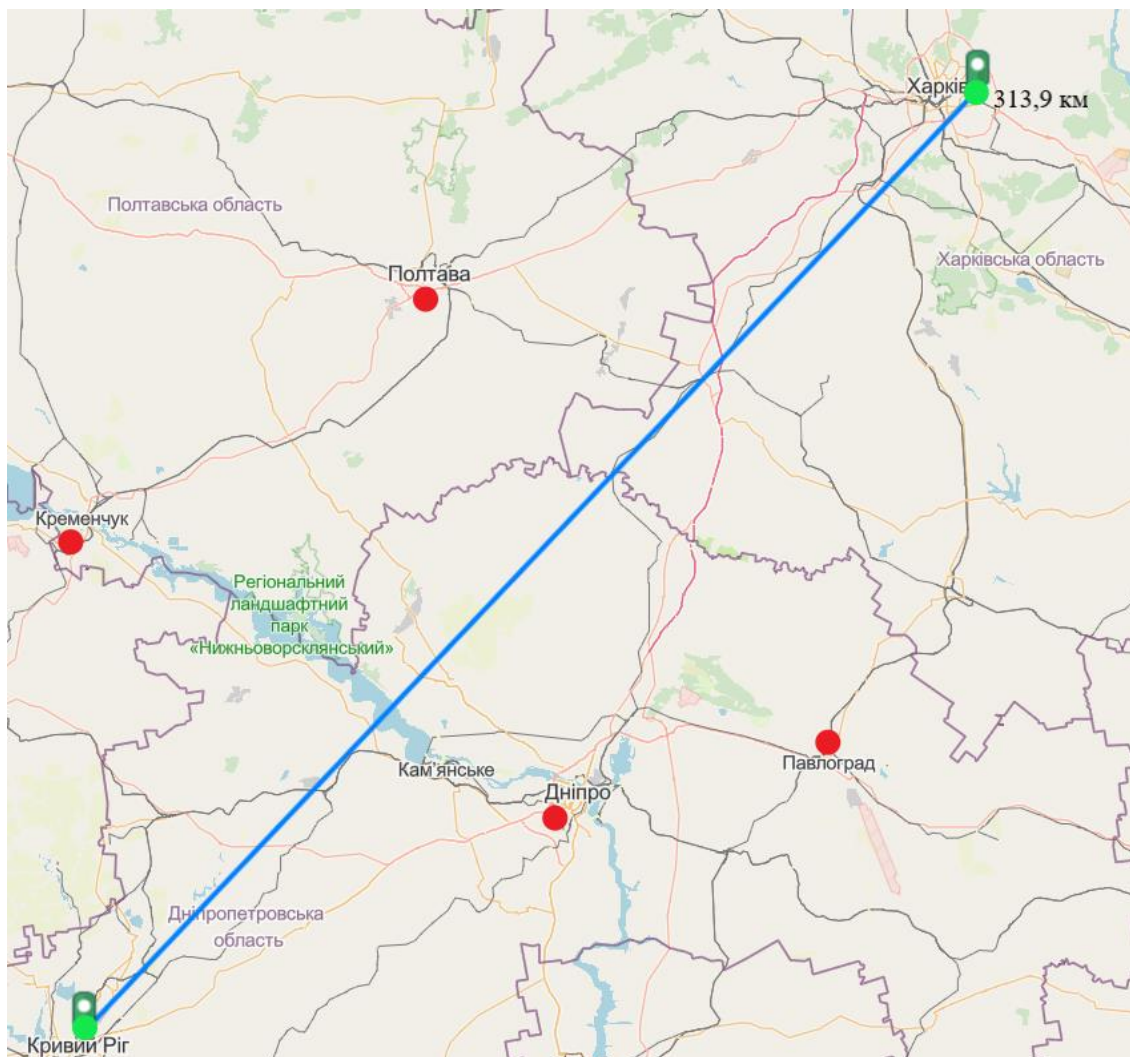


Рисунок 3.6 – Аеронавігаційна карта та зображений на ній маршрут БПЛА Харків-Кривий Ріг

Для кожного аеродрому ми ввели параметри ризику та відповідний коефіцієнт, які послужать основою для нашого дослідження. Метою дослідження є складні метеорологічні умови при польоті БПЛА за маршрутом Харків-Кривий Ріг. Під час польоту виникають погані погодні умови (рис 3.7.), через які потрібно прийняття рішення для вибору найоптимальнішого місця для посадки, всі вихідні дані наведено в табл. 3.2.

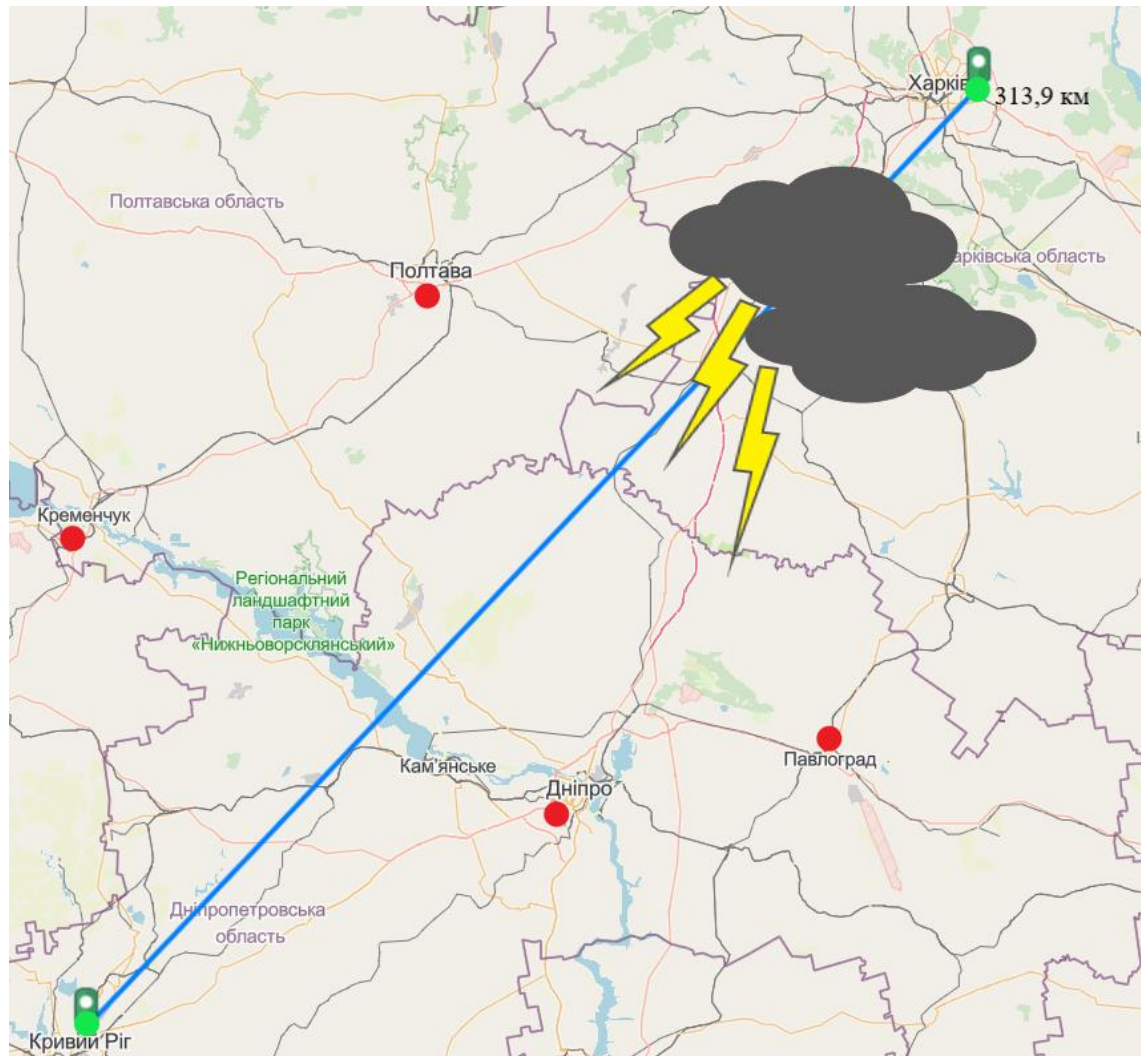


Рисунок 3.7 – Виникнення складних метеоумов при польоті БПЛА за маршрутом Харків-Кривий Ріг

Безліч стратегій: $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ - альтернативних варіантів для місця посадки:

1. A_1 – Харків;
2. A_2 – Полтава;
3. A_3 – Павлоград;
4. A_4 – Дніпро;
5. A_5 – Кременчук;
6. A_6 – Кривий Ріг.

Багато факторів, що впливають на прийняття рішення оператором БПЛА

$$\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}:$$

1. λ_1 – метеорологічні умови на запасному аеродромі/місці;
2. λ_2 – можливість зв'язку з органами УПР;
3. λ_3 – навігація;
4. λ_4 – характер місцевості;
5. λ_5 – пункт дистанційного пілотування;
6. λ_6 – професійна авіаційна підготовка;
7. λ_7 – достатність запасу палива / енергії;
8. λ_8 – відстань до запасного аеродрому/місця;
9. λ_9 – надійність ліній С2 для з'єднання з РРА.

Оптимальне рішення за критерієм Вальда визначаємо за таким правилом:

$$A^*_j = \max_i \min_j \{u_{ij}\} \quad (3.6)$$

Визначаємо безліч оптимальних рішень $A_j = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$:

$$A_1 = \min\{7;8;5;7;4;4;8;4;3\} = 3$$

$$A_2 = \min\{10;7;6;10;4;7;8;6;10\} = 4$$

$$A_3 = \min\{9;5;5;8;3;4;7;4;9\} = 3$$

$$A_4 = \min\{6;3;5;8;7;6;6;6;7\} = 3$$

$$A_5 = \min\{4;6;4;5;5;3;5;6;2\} = 2$$

$$A_6 = \min\{2;4;3;6;6;6;4;7;2\} = 2$$

Таблиця 3.2 – Матриця заданих параметрів

		Фактори								
		λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7	λ_8	λ_9
Стратегії	A_1	7	8	5	7	4	4	8	4	3
	A_2	10	7	6	10	4	7	8	6	10
	A_3	9	5	5	8	3	4	7	4	9
	A_4	6	3	5	8	7	6	6	6	7
	A_5	4	6	4	5	5	3	5	6	2
	A_6	2	4	3	6	6	6	4	7	2

Оптимальне рішення: $A^* = \max\{10; 7; 6; 10; 4; 7; 8; 6; 10\} = 10$

Оптимальне рішення за критерієм Лапласа визначаємо за таким правилом:

$$A^* = \max\left\{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_{ij}\right\} \quad (3.7)$$

Визначимо безліч альтернативних рішень:

$$A_1 = \frac{1}{9} (7+8+5+7+4+4+8+4+3) = \frac{50}{9} = 5,5$$

$$A_2 = \frac{1}{9} (10+7+6+10+4+7+8+6+10) = \frac{68}{9} = 7,5$$

$$A_3 = \frac{1}{9} (9+5+5+8+3+4+7+4+9) = \frac{54}{9} = 6$$

$$A_4 = \frac{1}{9} (6+3+5+8+7+6+6+6+7) = \frac{54}{9} = 6$$

$$A_5 = \frac{1}{9} (4+6+4+5+5+3+5+6+2) = \frac{40}{9} = 4,4$$

$$A_6 = \frac{1}{9} (2+4+3+6+6+6+4+7+2) = \frac{40}{9} = 4,4$$

Оптимальне рішення: $A^* = \max\{10; 7; 6; 10; 4; 7; 8; 6; 10\} = 10$

Цей критерій використовується у тих випадках, якщо доводиться часто приймати рішення або якщо всі фактори приймаються рівноцінними.

Оптимальне рішення за критерієм Гурвича визначаємо наступним чином:

$$A^* = \max_i \{ \alpha \max_j u_{ij} + (1 - \alpha) \min_j u_{ij} \} \quad (3.8)$$

де $0 \leq \alpha \leq 1$.

При найбільш оптимістичному підході ($\alpha = 1$) можна вибрати дію, дає:

$$A^* = \max_i \max_j \{ u_{ij} \} \quad (3.9)$$

Аналогічно за найбільш песимістичних припущень ($\alpha = 0$) вибирається дія:

$$A^* = \max_i \min_j \{ u_{ij} \} \quad (3.10)$$

Оптимальні стратегії:

$$A_1 = \{7; 8; 5; 7; 4; 4; 8; 4; 3\} + (1 - 0,5) \min\{7; 8; 5; 7; 4; 4; 8; 4; 3\} = \{0,5 * 8 + 0,5 * 3\} = 5,5$$

$$A_2 = \{0,5 \max\{10;7;6;10;4;7;8;6;10\} + (1-0,5) \min\{10;7;6;10;4;7;8;6;10\}\} = \{0,5 * 10 + 0,5 * 4\} = 7$$

$$A_3 = \{9;5;5;8;3;4;7;4;9\} + (1-0,5) \min\{9;5;5;8;3;4;7;4;9\} = \{0,5 * 9 + 0,5 * 3\} = 6$$

$$A_4 = \{6;3;5;8;7;6;6;6;7\} + (1-0,5) \min\{6;3;5;8;7;6;6;6;7\} = \{0,5 * 8 + 0,5 * 3\} = 5,5$$

$$A_5 = \{4;6;4;5;5;3;5;6;2\} + (1-0,5) \min\{4;6;4;5;5;3;5;6;2\} = \{0,5 * 6 + 0,5 * 2\} = 4$$

$$A_6 = \{2;4;3;6;6;6;4;7;2\} + (1-0,5) \min\{2;4;3;6;6;6;4;7;2\} = \{0,5 * 7 + 0,5 * 2\} = 4,5$$

Оптимальне рішення: $A^* = \max\{10;7;6;10;4;7;8;6;10\} = 7$

Оптимальне рішення за критерієм Севіджа визначаємо за таким правилом:

$$A^* = \min_i \max_j r_{ij} \quad (3.11)$$

Оптимальні стратегії:

$$A_1 = \max\{7;8;5;7;4;4;8;4;3\} = 5$$

$$A_2 = \max\{10;7;6;10;4;7;8;6;10\} = 6$$

$$A_3 = \max\{9;5;5;8;3;4;7;4;9\} = 6$$

$$A_4 = \max\{6;3;5;8;7;6;6;6;7\} = 5$$

$$A_5 = \max\{4;6;4;5;5;3;5;6;2\} = 4$$

$$A_6 = \max\{2;4;3;6;6;6;4;7;2\} = 5$$

Оптимальне рішення:

1. $A^* = \max\{10;7;6;10;4;7;8;6;10\} = 6$

2. $A^* = \max\{9;5;5;8;3;4;7;4;9\} = 6$

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3

Отримані інтегровані моделі для ефективного ПР операторів БПЛА в нормальних і незвичайних ситуаціях підлягають для розрахунків за критеріями Вальда, Лапласа, Гурвича та Севіджа. У випадку зі складними метеорологічними умовами, не дивлячись на брак часу, потрібно прийняти найоптимальніше рішення. Алгоритм пошуку оптимального посадкового аеродрому/місця для БПЛА в аварійній ситуації слід виконувати на прикладі прийняття рішення в

аварійній ситуації з БПЛА на підході до місця призначення в місті за поганих погодних умов.

Основна відмінність між зазначеними критеріями визначається стратегією поведінки особи, яка приймає рішення в умовах невизначеності.

Наприклад, при виборі за критерієм Лапласа, прийняття рішень ґрунтується на більш оптимістичних припущеннях, ніж мінімаксий критерій, він використовується у разі регулярних рейсів. Критерій Вальда використовується у разі рідко виконуваних рейсів і є песимістичним. Критерій Гурвича у свою чергу можна використовувати при різних підходах: від найбільш оптимістичного до найбільш песимістичного за допомогою коефіцієнта оптимізму-песимізму. За допомогою нього приймається рішення, що дає гарантований результат.

Критерій Севіджа мінімізує втрати у випадку, якщо ЛПР прийняла не найкраще для нього рішення.

Виходячи із результатів розрахунків, які досліджено за допомогою критеріїв невизначеності, можна підвести підсумки що найоптимальнішим вибором ПР оператором БПЛА при польоті в умовах виникнення складних метеоумов, являється посадка на аеродромі/місця посадки: A_2 – Полтава. До такого рішення схильють розрахунки критеріїв Вальда, Лапласа та Гурвича. Критерій Севіджа становить два оптимальних варіанти для посадки, а саме: A_2 – Полтава та A_3 – Павлоград. Тому можемо схилитись все-таки до варіанту, де кращим вибором буде A_2 – Полтава.

РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ – ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ

4.1 Система підтримки прийняття рішень оператора БПЛА

Системи дистанційно пілотованих літаків (ДПАС) є новим компонентом авіаційної системи, де ІКАО, держави та галузь працюють над розумінням, визначенням та безпечною інтеграцією ДПАС у несегрегований повітряний простір. Ці системи засновані на передових розробках аерокосмічних технологій, пропонуючи досягнення, які можуть відкрити нові та вдосконалені цивільні/комерційні застосування, а також покращити безпеку та ефективність усієї цивільної авіації. Безпілотні літальні апарати мають ряд переваг, а саме низьку експлуатаційну вартість, хорошу приховування та гнучкість, простоту та доступність технології порівняно з пілотованими літальними апаратами, а безпілотні літальні апарати можуть використовуватися у випадках, коли використання пілотованих літаків недоцільно, дорого або ризиковано. Метою ІКАО в розв'язанні безпілотної авіації є забезпечення фундаментальної міжнародної нормативної бази за допомогою стандартів і рекомендованої практики (SARP) з допоміжними процедурами для аеронавігаційного обслуговування (PANS) та інструктивними матеріалами [23].

Ці системи засновані на передових розробках аерокосмічних технологій, пропонуючи досягнення, які можуть відкрити нові та вдосконалені цивільні/комерційні застосування, а також покращити безпеку та ефективність усієї цивільної авіації. Безпечна інтеграція RPAS в несегрегований повітряний простір є довгостроковою діяльністю, в якій багато зацікавлених сторін додають свій досвід з таких різноманітних тем, як ліцензування та медична кваліфікація віддалених пілотів, технології виявлення та уникнення систем, частотний спектр

(включаючи його захист від ненавмисних або незаконне втручання), стандарти відокремлення від інших літаків та розробка надійної нормативної бази.

Основною перевагою у використанні БПЛА являються завдання, які передбачають ризик для людини та ефективність у вирішенні економічних проблем. Очевидно, що БПЛА ефективні для спостереження за лісовими пожежами, пошуково-рятувальних робіт при переробці сільськогосподарських культур, ретрансляційного зв'язку та переміщення вантажів. У цьому сенсі більш доцільним є використання БПЛА: для ретрансляції зв'язку в місцях, де антенне покриття неможливо встановити через складний рельєф, у сільському господарстві, аерофотозйомці, переміщенні вантажів, у військових цілях. Надзвичайні ситуації можуть виникнути при польоті як в ручному, так і в автономному управлінні. Для операцій, що проводяться «вручну», важливу роль відіграє людський фактор і значна частина аварійних ситуацій виникає через неправильні дії оператора.

Сьогодні впровадження RPAS необхідно, оскільки вони:

- трансформували уявлення про авіацію в сучасний воєнний час;
- менші та дешевші, ніж реактивні літаки;
- не наражайте пілотів під час аварії.

До цього моменту цивільна авіація базувалася на уявленні про пілота, який керує літаком із самого літака і частіше, ніж без пасажирів на борту. Зняття пілота з літака викликає важливі технічні та експлуатаційні питання, масштаби яких активно вивчаються авіаційною спільнотою. Найважливішим є те, що впровадження дистанційно пілотованих повітряних суден у несегрегований повітряний простір та в аеропортах жодним чином не повинно підвищувати ризики безпеки для пілотованих літаків.

Глобальна оперативна концепція управління повітряним рухом, яка відображає бачення ІКАО про єдину узгоджену та засновану на глобальних сучасних взаємних системах ANS, повинна забезпечити колективну консолідацію для управління рухом. Важливу роль в управлінні повітряним

рухом відіграє консолідація інформаційних потоків. У сучасному стрімкому розвитку авіації до людини надходить велика кількість інформації від різноманітних систем управління. Для прийняття правильного рішення інформація, яка надходить до авіадиспетчерів, повинна мати структуровані та консолідовані інформаційні потоки. Необхідно створити систему, яка буде структурувати інформацію для збору та консолідації розрізнених інформаційних потоків та вихідного файлу готових рішень для управління повітряним рухом. У реалізації цієї системи важливу роль відіграє вибір бази даних. Аналіз існуючих рішень показує необхідність використання бази даних. Ці системи здатні забезпечити необхідну швидкість. А завдяки особливому підходу до агрегування даних стає можливою стандартизація методів консолідації потоків.

Кожен БПЛА, що виконує різні завдання, має оператора який за допомогою технологічних процедур «ASSIST» приймає рішення в надзвичайних ситуаціях польоту. На певному етапі польоту можливі надзвичайні або аварійні ситуації (наприклад: втрата керованості, відмова двигуна тощо), коли існує певний ризик втрати БПЛА. Враховуючи високу вартість БПЛА, пропонується побудувати алгоритм дій оператора БПЛА з використанням модуля «ASSIST» для кожного типу БПЛА. Модуль «ASSIST» включає в себе розподілену СППР для дистанційно пілотованих літаків (RPA) і має моделі ПР від Л-О в умовах визначеності, ризику та невизначеності.

Розподілена СППР являє собою складну систему зі складними взаємодіями географічно розподілених локальних операторів СППР дистанційно пілотованих літаків. БПЛА під час польоту може керуватися RPAS. RPA керується дистанційною пілотною станцією (RPS) за допомогою лінії командування та управління (C2). Разом з іншими компонентами, такими як стартове обладнання та обладнання для повернення, якщо воно використовується, RPA, RPS і лінія C2 складають RPAS.

У будь-який момент часу t_{ik} -RPA можна керувати лише з одного j RPS, якщо необхідно, в момент часу t_{i+1} для передачі на контрольний $(j+1)$ -й RPS для

використання розподіленої СППР (рис 4.1.). Це передача управління польотом j RPS на $(j+1)$ RPS, щоб бути безпечною та ефективною, що забезпечується через локальних операторів розподіленої СППР RPAS. Згідно з рекомендаціями керівних принципів ICAO система завдань може виконувати один або кілька вузлів (локальних операторів розподіленої СППР RPAS). При формуванні бази вирішуються питання, пов'язані з включенням RPA до існуючої нормативної бази цивільної аеронавігаційної системи; опис та класифікація БПЛА та супутніх компонентів; правила польотів, такі як польоти за правилами польотів за приладами і візуальними правилами польотів у межах візуальної прямої видимості і за межею прямої видимості [3].

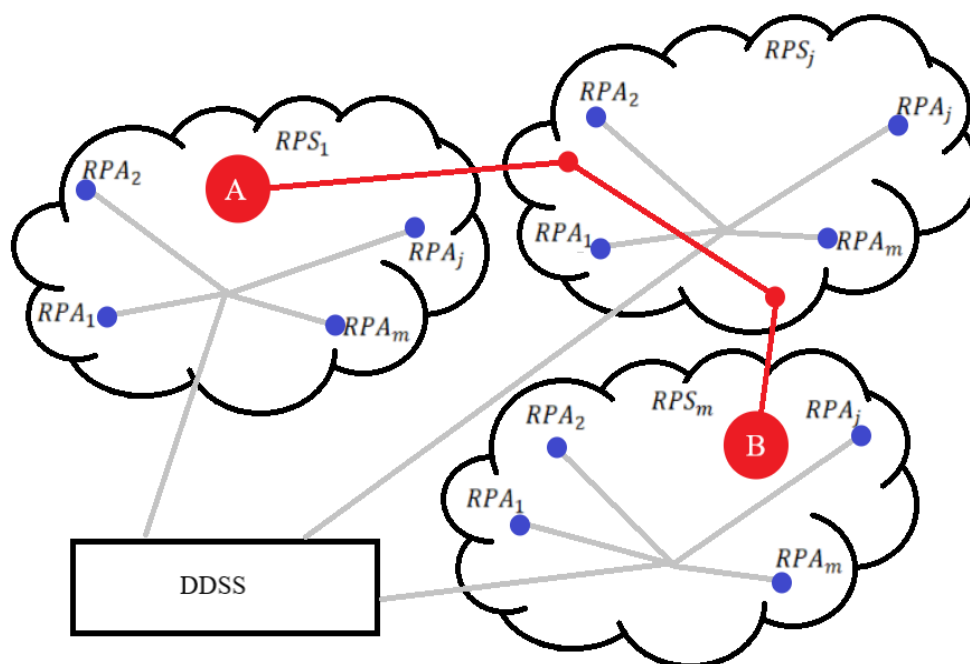


Рисунок 4.1 – Структура розподілених БПЛА управління польотами RPS

Ефективність СППР залежить від її організації. При визначенні структури системи ставляться такі завдання:

- вивчення проблем, які вирішує СППР;

- задачі реалізації алгоритму вибору;
- визначити рівні та компоненти в системі;
- розподіл завдань на вузли (рівні);
- визначення комплексних систем технічних засобів;
- відповідний контент та база даних управління.

Інструкції з монтажних застосувань для приватного використання при плануванні польотів містять такі компоненти:

- характеристики RPAS, RPA, RPS, зв'язку, навігації, спостереження;
- атестація RPAS, RPA, RPS;
- зобов'язання оператора RPAS;
- управління безпекою;
- підключення до банкомату;
- процедури ручних посадкових місць, аеропортів;
- порядок роботи RPA, правила експлуатації тощо.

Передпольотне планування повинно включати розгляд альтернативних аеродромів/місць відновлення, у разі необхідності, у разі надзвичайних ситуацій або метеорологічних ситуацій. Перед вибором альтернативного відновлення/посадки місце розташування дистанційного пілота має враховувати достатність палива/енергії, запаси, надійність зв'язку C2 з ДПВС, можливості зв'язку УПР за необхідності та метеорологічні умови на запасному. Для використання відомих критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності є пошук оптимального аеродрому посадки в аварійних польотах. Використовуючи цей підхід, завдання буде ігнорувати конкретні об'єкти та їх атрибути та працюватиме з окремими потоками з цілісними сутностями. Це дозволяє використовувати стандартизований підхід до консолідації всіх інформаційних потоків у предметній області, а також визначити для кожного використання пріоритет і правила польотів RPAS і RPA.

Експлуатаційні процедури RPAS визначаються метою польоту, правилами польоту, районами польотів і функціональним каналом передачі даних від RPAS.

У міру розвитку технологій RPA здійснюють перехід від суто військового використання до цивільної авіації і в даний час служать для виконання багатьох цивільних цілей. Насправді дуже цікаво використовувати СППР для вирішення завдань передпольотної підготовки, планування польотів, ПР в надзвичайних ситуаціях.

Головним правилом ефективного виконання польотів для пілотованої та безпілотної авіації є обов'язкове виконання передпольотної підготовки, включаючи огляд та обслуговування RPAS і RPS, обов'язкову перевірку обладнання зв'язку та функцій керування, налаштування RPS, завантаження та перевірку інформації, що стосується процедури планування польоту. Крім того, у разі потреби необхідно отримати дозвіл від організацій УПР.

Одним із завдань, які вирішує пілот ДПВ у процесі передпольотної підготовки, є вибір запасних аеродромів/місць для процедури повернення на випадок аварійної ситуації, спричиненої невідповідними метеорологічними умовами. Вибір запасного аеродрому регламентують такі документи: льотна інструкція, «Експлуатація прийняття рішень під час зльоту та посадки повітряних суден цивільної авіації України за ППП» та інші нормативні документи. Використання RPA повинно регулюватися тими ж нормативними документами, що й для звичайних літаків. Пілот RPA повинен враховувати наступні фактори:

- достатність запасу палива / енергії;
- відстань до запасного аеродрому/місця;
- надійність ліній С2 для з'єднання з RPA;
- можливість зв'язку з органами УПР;
- метеорологічні умови на запасному аеродромі/місці.

Для економічної ефективності виконання польотів RPAS запропоновано багатофункціональну модель вибору запасного аеродрому/місця RPA, яка використовується в дистанційній системі підтримки прийняття рішень оператором БПЛА [17].

4.2 Моделі розрахунків прийняття рішень за умови невизначеності в Microsoft Excel

Усі розрахунки, які потрібні для того, щоб порахувати з точністю показники критеріїв невизначеності, обчислені в програмному забезпечення Microsoft Excel. Завдяки можливості отримати розрахунки за формулами – отримано точне вирішення поставлених задач.

Отримавши всі вихідні дані потрібно були виконати наступні завдання:

- визначення оптимального рішення серед альтернативних варіантів за допомогою критерія Вальда, визначено в табл. 4.1;
- визначення оптимального рішення серед альтернативних варіантів за допомогою критерія Лапласа визначено в табл. 4.2;
- визначення оптимального рішення серед альтернативних варіантів за допомогою критерія Гурвича визначено в табл. 4.3;
- визначення оптимального рішення серед альтернативних варіантів за допомогою критерія Севіджа визначено в табл. 4.4.

Таблиця 4.1 – Обчислення критерія Вальда в Microsoft Excel

Стратегії	Фактори	Метеорологічні умови на запасному аеродромі/місці	Можливість зв'язку з органами УПР	Навігація	Характер місцевості	Пункт дистанційного пілотування	Професійна авіаційна підготовка	Достатність запасу палива/енергії	Відстань до запасного аеродрому/місця	Надійність ліній С2 для з'єднання з RPA	Критерій Вальда
A ₁	Харків	7	8	5	7	4	4	8	4	3	3
A ₂	Полтава	10	7	6	10	4	7	8	6	10	4
A ₃	Павлоград	9	5	5	8	3	4	7	4	9	3
A ₄	Дніпро	6	3	5	8	7	6	6	6	7	3
A ₅	Кременчук	4	6	4	5	5	3	5	6	2	2
A ₆	Кривий Ріг	2	4	3	6	6	6	4	7	2	2

Таблиця 4.2 – Обчислення критерія Лапласа в Microsoft Excel

Стратегії	Фактори	Метеорологічні умови на запасному аеродромі/місці	Можливість зв'язку з органами УПР	Навігація	Характер місцевості	Пункт дистанційного пілотування	Професійна авіаційна підготовка	Достатність запасу палива/енергії	Відстань до запасного аеродрому/місця	Надійність ліній С2 для з'єднання з RPA	Критерій Лапласа
A ₁	Харків	7	8	5	7	4	4	8	4	3	5,55 556
A ₂	Полтава	10	7	6	10	4	7	8	6	10	7,55 556
A ₃	Павлоград	9	5	5	8	3	4	7	4	9	6
A ₄	Дніпро	6	3	5	8	7	6	6	6	7	6
A ₅	Кременчук	4	6	4	5	5	3	5	6	2	4,44 444
A ₆	Кривий Ріг	2	4	3	6	6	6	4	7	2	4,44 444

Таблиця 4.3 – Обчислення критерія Гурвича в Microsoft Excel

Стратегії	Фактори	Метеорологічні умови на запасному аеродромі/місці	Можливість зв'язку з органами УПР	Навігація	Характер місцевості	Пункт дистанційного пілотування	Професійна авіаційна підготовка	Достатність запасу палива/енергії	Відстань до запасного аеродрому/місця	Надійність ліній С2 для з'єднання з RPA	Критерій Гурвича
A ₁	Харків	7	8	5	7	4	4	8	4	3	5,5
A ₂	Полтава	10	7	6	10	4	7	8	6	10	7
A ₃	Павлоград	9	5	5	8	3	4	7	4	9	6
A ₄	Дніпро	6	3	5	8	7	6	6	6	7	5,5
A ₅	Кременчук	4	6	4	5	5	3	5	6	2	4
A ₆	Кривий Ріг	2	4	3	6	6	6	4	7	2	4,5

Таблиця 4.4 – Обчислення критерія Севіджа в Microsoft Excel

Стратегії	Фактори	Метеорологічні умови на запасному аеродромі/місці	Можливість зв'язку з органами УПР	Навігація	Характер місцевості	Пункт дистанційного пілотування	Професійна авіаційна підготовка	Достатність запасу палива/енергії	Відстань до запасного аеродрому/місця	Надійність ліній С2 для з'єднання з RPA	Критерій Севіджа
A ₁	Харків	7	8	5	7	4	4	8	4	3	5
A ₂	Полтава	10	7	6	10	4	7	8	6	10	6
A ₃	Павлоград	9	5	5	8	3	4	7	4	9	6
A ₄	Дніпро	6	3	5	8	7	6	6	6	7	5
A ₅	Кременчук	4	6	4	5	5	3	5	6	2	4
A ₆	Кривий Ріг	2	4	3	6	6	6	4	7	2	5

4.3 Практичні застосування і методичні рекомендації

4.3.1 Проблематика транспортування та перспектива вирішення

Оскільки нинішня система наземного транспорту стає все більш перевантаженою більшою кількістю автомобілів і в умовах старої інфраструктури БПЛА вважаються майбутнім транспорту. Населення кожної країни зростає, і водночас із цим збільшуються інфраструктури в містах, і відповідно кількість автомобілей почала стрімко зростати і рух стає некомфортний для пересовування. БПЛА можуть бути використані як нове покоління транспортування людей і вантажів з одного місця в інший, що станеться на небі. Хоча є багато складних проблем вирішені до того, як ця майбутня транспортна система може бути реалізована, ці проблеми вирішуються дослідниками з багатодисциплінарних сфер. За останні роки значні успіхи було досягнуто застосуванням БПЛА в транспортній сфері. Проте є деякі проблеми та обмеження поточного розвитку подій, які необхідно дослідити і вирішено

найближчим часом. Потенційні напрямки досліджень, пов'язані з просування БПЛА до майбутнього транспортування обговорюється наступним чином.

Штучний інтелект та автономні БПЛА. Використання БПЛА для автоматизації транспортних систем – нова дослідницька парадигма розглядається серед транспортних експертів. Одним із ключових елементів майбутнього ITS буде інтеграція ШІ з автономними БПЛА в транспортну систему. Автономні Безпілотники керуються програмним забезпеченням без участі людини. Інтеграція ШІ з автономними БПЛА забезпечує автоматичне регулювання БПЛА для моніторингу руху та збір даних про трафік. ШІ дозволяє потокову передачу даних у реальному часі, що забезпечує безперервну передачу даних моніторинг і зворотний зв'язок. Хоча ШІ полегшує загальну автоматизацію ITS, регулювання та навігація автономних БПЛА є досить складними. Є декілька густонаселені райони з великою інфраструктурою, де може автономне регулювання БПЛА бути дуже складним у реалізації. У майбутньому це питання має бути вирішене.

Для досягнення автоматизації всієї транспортної системи, лише автоматизація БПЛА може бути недостатньою. Інші компоненти транспортної системи, польова група підтримки, моніторинг дорожнього руху та аварійно-рятувальні групи. Ці компоненти мають бути автоматизованими і за допомогою штучного інтелекту. Майбутня транспортна система, яка включає БПЛА та інші автоматизовані транспортні засоби не є простою транспортною системою, яку необхідно розробити. Багато міждисциплінарних практик і перспектив слід розглянути перед фактичним втілення в реальність.

Оптимізація розгортання БПЛА. Існує ряд проблем з розгортанням БПЛА, які все ще досліджуються. Існуюче регулювання та політика повітряного руху для БПЛА обмежують повне використання БПЛА в ІТС. Хоча можна було б регулювати звичайні БПЛА під національною політикою використання, це може бути складним і непередбачуваним з автономними БПЛА. Головною метою в майбутньому передбачається використання автономних БПЛА для ITS,

впроваджуючи системи уникнення зіткнень в автономних БПЛА слід спочатку дослідити, щоб переконатися, що БПЛА безпечні зайняті в спільному повітряному просторі з поточними літаками та космічними апаратами.

Ще однією потенційною проблемою розгортання БПЛА є координація БПЛА та транспортних засобів для максимального покриття. Будуть як БПЛА, так і інші наземні (люди й безпілотні) транспортні засоби є дуже динамічними у своєму робочому стані. Хоча було кілька проблем з оптимізацією були розроблені для досягнення максимального охоплення та планування шляху, ці зусилля часто робляться не розглядати автоматизовані БПЛА. Більше того, розгортання зграї БПЛА є ще одним сектором, який потребує великого обсягу увагу. У майбутніх сценаріях транспортної системи, як більшого масштабу рої БПЛА будуть розгорнуті одночасно в іншій частині міст, усі проблеми оптимізації розгортання повинні включати обмеження щодо можливостей зграї БПЛА та умови експлуатації, а також коефіцієнти безпеки.

Проектування БПЛА для ІТС. Щоб створити надійний ІТС на базі БПЛА, дизайн БПЛА має відповідати всім ІТС вимоги. Хоча в технології БПЛА досягнуто величезного прогресу, він має все ще деякі обмеження як у БПЛА, так і в конструкції інфраструктури. Однією з головних проблем звичайних БПЛА є їх здатність літати так довго, як потрібен моніторинг. БПЛА в основному все ще працюють від батарейок і мають час роботи обмеження. Однак ІТС також вимагає постійного моніторингу трафіку. Використання альтернативних джерел енергії та оптимізація часу зарядки може бути потенційним напрям дослідження. Це може збільшити час польоту для БПЛА, щоб забезпечити безперервну роботу моніторинг руху.

Крім того, більше проблем полягають у зборі цінних даних за допомогою БПЛА. Це вимагає додавання різноманітних датчиків у БПЛА. В даний час GPS і візуальні дані можуть збираються за допомогою БПЛА. Ці дані обробляються для отримання корисної інформації. В У майбутньому дослідження мають зосередитися на розробці вбудованого блоку обробки зображень БПЛА, щоб

можна було скоротити час обробки даних. Крім того, багатосенсорна обробка даних можливо може бути включена в конструкцію БПЛА.

Безпека в ITS. Хоча проблем безпеки, пов'язаних із системами з підтримкою БПЛА, було багато розглядається в багатьох дослідницьких роботах, забезпечення максимальної безпеки все ще досліджується. Майбутній ITS буде включати взаємопов'язані системи БПЛА, транспортних засобів (повітряних, наземних, водні та залізничні) та придорожньої інфраструктури. БПЛА можуть перевозити, генерувати та передавати цінні дані та конфіденційна інформація як про користувачів транспортних засобів, так і про операторів БПЛА. Це інформація включає інформацію про транспортний засіб, місцезнаходження та дані про дорожній рух. Як БПЛА, так і транспортні засоби підключені до мережі зв'язку, їх можна відстежувати, а інформацію можна бути витоком у зловмисних цілях. Крім того, деякими БПЛА можна маніпулювати для виконання атаки на конфіденційні дані ITS. Будь-яка з цих даних має бути належним чином захищена невідомі зловмисники. Забезпечення безпеки, щоб запобігти будь-якому несподіваному вторгненню значний виклик. Крім того, конфіденційність користувачів має бути забезпечена нова технологія ITS. Хоча кібербезпека завжди була широко досліджуваною сферою, він все ще потребує більших вдосконалень, оскільки майбутні ITS будуть базуватися на мережі безпілотних транспортних засобів.

Оптимізація енергії. Енергетичні обмеження БПЛА є великою проблемою для створення довгострокової системи моніторингу БПЛА в застосуванні ITS через короткий термін служби батареї. Час роботи батареї звичайних БПЛА зазвичай становить менше півгодини, що може створити значні проблеми для роботи ITS з автономними БПЛА. Через короткий термін служби батареї середній час польоту також зменшується. Хоча різні моделі енергоспоживання для БПЛА є розвинутими, енергоспоживання автономних БПЛА ще належить дослідити. У майбутніх ITS безпілотники повинні мати тривалий час польоту, більшу працездатність датчиків, безперервне з'єднання з мережею зв'язку, а

також можливість реагування на надзвичайні ситуації. Усі ці операції вимагають значної кількості енергії, яка в типових умовах обмежена БПЛА. На додаток до прогресу в матеріалах і опціях для батарей, дослідження максимізація часу польоту, працездатності та покриття автономних БПЛА шляхом оптимізації енергію можна буде досліджувати в майбутньому. Крім того, використання сонячної та відновлюваної енергії також можна дослідити додатково.

Обмеження в інформації. ITS майбутнього – це складна область досліджень, яка все ще досліджується. Хоча у цій сфері зроблено великий розвиток, обсяг доступної інформації є обмежені, оскільки більшість компонентів системи все ще не впроваджені широко. Багато дослідників запропонували пошарову систему, яка дає уявлення про майбутнє на базі БПЛА. Оскільки він ще не реалізований, багато обмежень і проблем досі невідомі. це є важко прийняти повсякденні проблеми впровадження БПЛА в майбутні ITS. Там буде багато непередбачених ризиків, а також можливостей. Проведення більше експериментів Застосування БПЛА в ITS можна буде вивчати в майбутніх дослідженнях.

Завдяки досягненням у світовій технології, загальній поточній транспортній системі дійсно змінюється в бік концепції ITS. Оскільки БПЛА є одним із найважливіших елементів майбутніх ITS, значні вдосконалення, переобладнання та оновлення мають бути здійснені існуюча інфраструктура транспортної системи. Ці зусилля потребують ретельного дослідження та експерименти БПЛА в меншому масштабі до фактичного впровадження. Популярні дослідницькі галузі, які зараз досліджуються, — це ITS за допомогою БПЛА, маршрутизація даних і зв'язок, енергоефективні ITS, транспортування вантажів та реагування на надзвичайні ситуації. Хоча значний розвиток технологій включення БПЛА в ITS має Якщо спостерігати, то інші сфери, такі як питання політики, управління та безпеки, повинні бути помічені досліджено для досягнення кінцевої мети використання БПЛА в майбутніх ITS. Це дослідження дає огляд поточного стану мистецтва та спрямовує на майбутній розвиток. Виявлені проблеми можуть

допомогти як дослідникам транспорту, так і відділу транспорту розуміють основні покращення, необхідні для його розвитку [15].

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 4

Представлено концептуальні моделі СППР оператора БПЛА в надзвичайних ситуаціях польотів та показана програмна реалізація систем. СППР оператора БПЛА в надзвичайних ситуаціях польоту дає авіаційному оператору можливість кількісно оцінити альтернативи розвитку польотної ситуації та оперативно вибрати стратегію дій з мінімальною потенційною шкодою в умовах неповної та невизначеної інформації. СППР оператора БПЛА забезпечує швидкий пошук інформації та підтримку оператора під час прийняття рішення щодо можливості вильоту або щодо оптимального аеродрому/місця посадки у разі вимушеної посадки БПЛА. СППР оператора БПЛА доцільно використовувати під час реального управління повітряним рухом у аварійних польотах.

Розроблено структуру розподіленої DSS для RPA. БПЛА під час польоту може керуватися дистанційно пілотованим літальним апаратом. RPA контролюється RPS з лінією С2. Розроблено комп'ютерну програму для пошуку оптимального аеродрому/місця посадки в аварійній ситуації на борту RPA, спричиненої метеорологічними умовами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломної роботи був проведений аналіз моделювання прийняття рішення оператора БПЛА при польоті в складних метеоумовах. Також в ході виконання роботи розглядалися моделі і методи для оптимізації польотів БПЛА в інтегрованому просторі, вимоги до авіаційного персоналу, система підтримки прийняття оператором БПЛА. Було виконано дослідження та розрахунки в програмному забезпеченні Microsoft Excel, стосовно визначення оптимального прийняття рішення.

Розглянуто ситуацію польоту безпілотного літального апарату в складних метеорологічних умовах, алгоритм дій оператора, визначення параметрів ризику та відповідного коефіцієнту щодо стратегій та факторів, які можуть впливати на політ. Основним завданням оператора БПЛА було визначення оптимального рішення при посадці на аеродромі/місці посадки. Головними критеріями для визначення прийняття рішень в умовах невизначеності являються критерії: Вальда, Лапласа, Гурвича та Севіджа. Вони використовуються для того, щоб при різних позаштатних ситуаціях, оператор міг не зважаючи на брак часу, прийняти рішення для оптимального вибору за максимально короткий проміжок часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Авіаційні правила України, Частина 47. Правила реєстрації цивільних повітряних суден в Україні: Наказ Міністерства інфраструктури України від 25.10. 2012 р. № 636.
2. Беспилотные авиационные системы (БАС) / Circ. ICAO 328-AN/190. – Канада, Монреаль: ICAO, 2011. – 66 с.
3. Герасимов Б.М., Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка эффективности: Монография / Б.М. Герасимов, М.М. Дивизинюк, И.Ю. Субач – Севастополь: 2004. – 318 с.
4. [Електронний ресурс] / \www/URL: <https://www.anac.gov.br/en/safety/aeronautical-meteorology/drones-and-meteorology>
5. [Електронний ресурс] / \www/URL: <https://www.army-technology.com/projects/pd100-black-hornet-nano/>
6. [Електронний ресурс] / \www/URL: https://www.geoscan.aero/en/products/choose_uav
7. [Електронний ресурс] / \www/URL: <https://robogeek.ru/letayuschie-roboty/neopoznannye-letayuschie-na-chto-sposobny-bespilotniki>
8. Методологія ситуаційного колективного управління пілотованими і безпілотними літальними апаратами в єдиному повітряному просторі: наукові матеріали. В 3-х томах. Том 2. Інтегровані корпоративні моделі для колективного управління пілотованими і БПЛА в єдиному повітряному просторі в умовах ризику і невизначеності / Харченко В.П., Шмельова Т.Ф., Знаковська Є.А., Бугайко Д.О., Луппо О.Є., Лазоренко В.А., Аргунов Г.Ф., Мухіна М.П., Малютенко Т.Л., Кузьменко Н.С., Бондарев Д.І., Петрушевський А.О., Шостак О.В., Благая Л.В./ Под ред. Харченко В.П.: – К. : НАУ, 2017. – 120 с.

9. Методологія ситуаційного колективного управління пілотованими і безпілотними літальними апаратами в єдиному повітряному просторі: наукові матеріали. В 3-х томах. Том 1 Методичне забезпечення тренажерної підготовки операторів інтегрованої системи управління пілотованими і безпілотними літальними апаратами /Харченко В. П., Шмельова Т.Ф., Васильєв Д.В., Знаковська Є.А., Луппо О.Є., Лазоренко В.А., Аргунов Г.Ф., Малютенко Т.Л., Бондарєв Д.І., Петрушевський А.О., Чинченко О.Г./ Под ред. Харченко В.П.: – К. : НАУ, 2017. – 120 с.
10. Правила польотів повітряних суден та обслуговування повітряного руху у класифікованому повітряному просторі України: Затв. наказом Міністерства транспорту України від 16.04.2003 р. №293. – К.: МТУ, 2003. – 52 с.
11. Правила сертифікації суб'єктів, що надають послуги з аеронавігаційного обслуговування: наказ Мінтрансу від 22.01.2007 р. №42, зі змінами, внесеними наказом МТЗУ від 28.11.2011 р. №575. – К.: МТЗУ, 2007. – 24 с.
12. Приложение 11 к Конвенции о международной гражданской авиации. Обслуживание воздушного движения. — 13-е изд. — Монреаль: ИКАО, 2001. — С.114.
13. Руководство по дистанционно пилотируемым авиационным системам (ДПАС) / Doc. 10019/AN 507. 1-е изд. – Канада, Монреаль: ИКАО, 2015.-190 с.
14. Садовська В.К., МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ОПЕРАТОРОМ БПЛА ПРИ ПОЛЬОТІ В СКЛАДНИХ МЕТЕОУМОВАХ. «СТАЛИЙ РОЗВИТОК ГЛОБАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ, НАВІГАЦІЇ, СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО РУХУ CNS/ATM— 2021»: ВСЕУКР. НАУКОВО-ТЕХН. КОНФ., м. Київ, 23–25 листоп. 2021 р. Київ, 2021. С. 145–146.
15. Шмельова Т.Ф., Вплив факторів середовища менеджменту авіапідприємства на безпеку авіаційної діяльності / Т.Ф. Шмельова., Ю.В.

- Сікірда, О.Ю. Ассаул // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 3(22), т. 2, - С.17 – 24.
16. Шмельова Т.Ф., Моделі розвитку польотної ситуації при прийнятті рішення людиною-оператором аеронавігаційної системи / Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда, Т.Р. Джафарзаде // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. Міністерства оборони України. – 2013. – Вип. 8 (115). – С. 136 - 142.
17. Шмельова Т.Ф., Розподілена система управління дистанційно пілотованими повітряними суднами / Т.Ф. Шмельова, Г.Ф.Аргунов, А.В.Стратій // Вісник Інженерної академії України. – 2016. – №3, С.57-62.
18. Aviation Safety Network. Aviation Safety Network releases 2018 airliner accident statistics [Electronic resource]. – Access mode: <https://news.aviation-safety.net/2019/01/01/aviation-safety-network-releases-2018-airliner-accident-statistics/>.
19. Global Performance of the Air Navigation System. Doc. 9883. First Edition. – Canada, Montreal: ICAO, 2009. – 176 p.
20. Kharchenko V. Modelling of decision making of Unmanned Aerial Vehicle's operator in emergency situations // Kharchenko V, Shmelova T., Bondarev D., Stratiy A. // Proceedings of the National Aviation University. – 2017. – №1, P.20-28
21. Procedures for Air Navigation Services. Air Traffic Management / Doc. 4444-RAC/501. – 15-е изд. – Канада, Монреаль: ICAO, 2007. – P.180.
22. Shmelova, T., & Burlaka, O. (2020). Integration of decision-making models for decision support system of UAVs operator in emergencies. In CEUR Vol 2711 Workshop Proceedings, pp. 529–542). CEUR-WS
23. Shmelova, T., Sikirda, Y., & Kasatkin, M. (2019). Modeling of the Collaborative Decision Making by Remote Pilot and Air Traffic Controller in Flight Emergencies. In 2019 IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2019 - Proceedings (pp.

- 230–233). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/APUAVD47061.2019.8943877>
24. Shmelova, T., Sikirda, Y., & Kovalyov, Y. (2018). Decision making by remotely piloted aircraft system's operator. In 2017 IEEE 4th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2017 - Proceedings (Vol. 2018-January, pp. 92–99). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/APUAVD.2017.8308784>
25. Unmanned Aerial Vehicles in Civilian Logistics and Supply Chain Management. Chapter 5 Automated System of Controlling Unmanned Aerial Vehicles Group Flight /Tetiana Shmelova, Dmitriy Bondarev - International Publisher of Progressive Information Science and Technology Research, USA, Pennsylvania. – November, 2019. – P. 167-204