

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: « Експертна система оцінювання ефективності використання БПЛА
в важкодоступній місцевості »**

Виконав:

С.А. Сімченко

Керівник: д-р техн. наук, проф.

Т.Ф. Шмельова

Нормоконтролер

Т.Ф. Шмельова

Київ 2021

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій
Кафедра аеронавігаційних систем
Навчальний ступінь «Магістр»
Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»
Освітньо-професійна програма «Безпілотні авіаційні комплекси»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д-р техн. наук, професор

_____ В. Ларін

« ____ » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

СИМЧЕНКА СТЕПАНА АНАТОЛІЙОВИЧА

1. Тема дипломної роботи: **«Експертна система оцінювання ефективності використання БПЛА в важкодоступній місцевості»**

затверджена наказом ректора від “19” жовтня 2021 № 2089/ст.

2. Термін виконання проекту: 05.10.2021 – 13.12.2021

3. Вихідні дані до проекту: теоретичні дані керівних документів Міжнародної організації цивільної авіації та національних документів України у сфері забезпечення та виконання польотів цивільних повітряних суден.

4. Зміст пояснювальної записки: Розробка інтелектуальної системи оцінки ефективності використання БПЛА і Системи підтримки прийняття рішень оператора БПЛА в аварійній ситуації. Визначення маршруту мінімальної вартості. Експертна система оцінки БПЛА. Дослідження критеріїв прийняття рішень на етапі виникнення аварійної ситуації оператором БПЛА.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: 26 рисунків, 11 таблиць.

6. Завдання	Терміни виконання	Відмітка про виконання
Підготовка та написання 1 розділу «БПЛА як метод обслуговування клієнтів в важкодоступній місцевості»	20.10.21 – 27.10.21	Виконано
Підготовка та написання 2 розділу «Методи ефективності визначення БПЛА»	28.10.21 – 07.11.21	Виконано
Підготовка та написання 3 розділу «Модель вибору інструментів для здійснення вдалої доставки вантажу в важкодоступній місцевості»	08.11.21 – 18.11.21	Виконано
Підготовка та написання 4 розділу «Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень оператора БПЛА»	19.11.21 – 29.11.21	Виконано
Оформлення пояснювальної записки та ілюстрованого матеріалу	30.12.21 – 06.12.21	Виконано
Попередній захист дипломної роботи	9.12.21 – 13.12.21	Виконано

Календарний план-графік

Дата видачі завдання: «05» жовтня 2021 року

Керівник: д-р техн. наук, проф. _____ Т.Ф. Шмельова
 Завдання прийняв до виконання _____ С.А. Сімченко

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Експертна система оцінювання ефективності використання БПЛА в важкодоступній місцевості.» містить 93 сторінок, 26 рисунків, 11 таблиць, 33 використаних джерела.

Об'єкт дослідження – Експертна система оцінювання ефективності використання БПЛА та системи підтримки прийняття рішень оператора БПЛА при аварійній ситуації.

Предмет дослідження – експертне оцінювання ефективності використання БПЛА.

Мета роботи – розробити інтелектуальну систему по оцінці ефективності використання БПЛА та СППР оператора БПЛА в аварійній ситуації.

Методи дослідження – критерії прийняття рішень в умовах невизначеності: Вальда, Севіджа, Лапласа, Гурвіца; метод експертних оцінок, динамічне програмування.

У дипломній роботі досліджується експертне оцінювання ефективності використання БПЛА, пошук маршруту мінімальної вартості, порівняння типів БПЛА. Система підтримки прийняття рішень оператора БПЛА при виникненні аварійної ситуації.

**ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ВИКОРИСТАННЯ БПЛА В ВАЖКОДОСТУПНІЙ МІСЦЕВОСТІ**

АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. БПЛА ЯК МЕТОД ОБСЛУГОВУВАННЯ КЛІЄНТІВ В ВАЖКОДОСТУПНІЙ МІСЦЕВОСТІ.....	11
1.1. Аналіз застосування БПЛА в сучасному світі.....	11
1.2. Використання БПЛА для потреб людини	14
1.3. Обслуговування важкодоступної місцевості.....	31
Висновок до Розділу 1	34
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БПЛА.....	35
2.1. Прийняття рішень в умовах невизначеності та ризику	35
2.1.1. Критерій Вальда.....	36
2.1.2. Критерій Лапласа	37
2.2. Динамічне програмування	37
2.2.1. Алгоритм Беллмана Форд.....	41
2.2.2. Алгоритм Дейкстри.....	42
2.3. Метод експертних оцінок	44
Висновок до Розділу 2	52
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЬ ВИБОРУ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ВДАЛОЇ ДОСТАВКИ ВАНТАЖУ В ВАЖКОДОСТУПНІЙ МІСЦЕВОСТІ.....	53
3.1. Метод вибору БПЛА за допомогою експертних оцінок	53
3.2. Пошук маршруту БПЛА мінімальної вартості.....	61
3.3 Виникнення аварійних ситуацій та їх рішення, прийняття рішень в умовах невизначеності.....	66
Висновок до Розділу 3.....	75
РОЗДІЛ 4. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ ОПЕРАТОРА БПЛА	76
4.1 Інтеграція ЕС та СППР для ефективного вибору та оптимізації експлуатації	

БПЛА в аварійній ситуації.....	76
4.2 Експертна система.....	77
4.3 СППР для моделювання прийняття рішень в аварійних ситуаціях.....	80
Висновок до Розділу 4	87
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	90

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БПЛА – Безпілотний літальний апарат

БАК – безпілотний авіаційний комплекс

ЕС – експертна система

БД – база даних

БЗ – база знань

БМ – база моделей

СППР – система підтримки прийняття рішень

НМЯ – небезпечні метеорологічні явища

АП – авіаційна пригода

ОПР – обслуговування повітряного руху

ЦА – цивільна авіація

ПР - прийняття рішень

ЛФ – людський фактор

КЛЕ – керівництво з льотної експлуатації

АНС – аеронавігаційна система

VTOL – система вертикального зльоту та посадки

Q_LOITER – режим автопілота кружляння над заданою координатою

RTL – режим автопілота повернення на місце зльоту

AIC (Aeronautical information circular) – Циркуляр аеронавігаційної інформації

AIP (Aeronautical Information Publication) – Збірник аеронавігаційної інформації

CDM (Collaborative Decision Making) – Спільне прийняття рішень

FAR (Federal Aviation Regulations) – Федеральні авіаційні правила

ВСТУП

Безпілотні авіаційні комплекси – літальні апарати здатні виконувати місії за допомогою дистанційного керування без присутності пілота на борту.

БПЛА є достатньо новою платформою для виконання авіаційних місій, яка вже встигла зарекомендувати себе в цивільних та військових цілях використання. Головними позитивними сторонами БПЛА є мінімізація ризиків зашкодження здоров'я пілота, та автоматизована система, яка дозволяє проводити політ в автоматичному режимі з частковим залученням оператора.

БПЛА вже використовуються в таких галузях:

- Енергетика
- Нафтогазовий Комплекс
- Оцінка стану екології
- МЧС
- Доставці вантажу в важкодоступні райони

Експертне оцінювання ефективності БПЛА дозволить надавати їм оцінку при виконанні місії, що відкриватиме нові можливості використання БПЛА в нових задачах. Експертна система дозволить обирати тип БПЛА для продуктивного та вдалого виконання місій. По запиту користувача.

Як і всі механізми в світі БПЛА схильні до впливу на них зовнішніх факторів:

- Метеоумови
- Не бездоганність деталей БПЛА
- Фізичні перешкоди на шляху

Тому створення системи для підтримки прийняття рішень оператора БПЛА, дозволить максимально вдало приймати рішення на основі аналітичної програми, що буде обирати найвдаліший варіант розвитку подій.

Створення такої програми мінімізує ризики потрапляння БПЛА в критичні ситуації, які можуть за собою понести збитки фізичних статків, та провал місії.

В дипломній роботі буде розглянуто створення інтелектуальної системи в яку буде інтегрована експертна система по оцінці ефективності використання БПЛА та система підтримки прийняття рішень оператора БПЛА.

РОЗДІЛ 1. БПЛА ЯК МЕТОД ОБСЛУГОВУВАННЯ КЛІЄНТІВ В ВАЖКОДОСТУПНІЙ МІСЦЕВОСТІ

1.1. Аналіз застосування БПЛА в сучасному світі

БПЛА – безпілотний літальний апарат, який керується оператором наземної станції в автоматичному режимі, або в ручному режимі. Керування БПЛА забезпечується автопілотом та компонентами керування судна.

Компоненти БПЛА.

Планер є основною конструкцією БПЛА. Його структура має враховувати вагу, що стосується, зокрема, живлення та бортових систем зв'язку та управління. Крім того, планер повинен бути належним чином сконструйований, щоб протистояти зусиллям, які можуть виникнути під час польоту, і не викликати деформації та вібрації. Фюзеляж літакового типу БПЛА в основному виготовляються з полістиролу або пластику; звичайні багатороторні планери виготовляються з алюмінію або вуглецевого волокна (таким чином, щоб бути легкими та стійкими), а кількість важелів є функцією очікуваного корисного навантаження та кількості двигунів.

Навігаційна система є основним компонентом авіоніки - це автопілот, який дозволяє здійснювати автономні або напівавтономні польоти за допомогою апаратних і програмних компонентів. Специфікації автопілота для БПЛА можна узагальнити. Навігаційна система складається з управління польотом, GPS/GNSS та інерціальної системи [1].

Таблиця 1.1 – Опис характеристик БПЛА

Фізичні характеристики	Характеристика датчика	Функції автопілота
Розмір	Робоча температура	Навігація по маршрутним точкам
Вага	Максимальна кутова швидкість	Автоматичний зліт і посадка
Споживання енергії	Максимальне прискорення	Утримання висоти
Необхідна напруга	Максимальна кутова швидкість	Швидкість керування сервоприводом
Необхідний процесор	Максимальна висота	Швидкість телеметрії
Пам'ять	Оперативна повітряна швидкість	Безаварійність

Керування польотом є «ядром» навігаційної системи. Ця плата керує плануванням польотів і може в реальному часі перевірити теоретичну траєкторію відносно реальної. На цій платі можна підключити кілька датчиків, щоб синхронізувати збір даних за GPS-часом. У деяких випадках невеликий автомобіль цифрової пам'яті є корпусом, призначеним для збору та зберігання кількох відомостей у вигляді траєкторії (файлу журналу), телеметрії та зображень чи іншого виду даних [2].

Плата GPS/GNSS є ще одним фундаментальним елементом сучасних БПЛА. Зазвичай на борту встановлена одночастотна і подвійна система (GPS і ГЛОНАСС). У деяких конфігураціях може бути доступний навіть двочастотний приймач кількох сузір'їв. Традиційно приймач використовується лише для визначення положення БПЛА в автономному режимі (ст. розв. = 3–5 м), потенційно з рішенням EGNOS або WAAS (ст. розв. = 1–3 м). Необроблені дані (псевдодальність і фаза несучої) зазвичай не зберігаються, але в деяких останніх комерційних системах це можна зробити, щоб реалізувати РРК (кінематичне

позиціонування після обробки). У деяких нових комерційних системах дозволено навіть позиціонування RTK (кінематика в реальному часі);

Інерціальна система зазвичай є останнім компонентом навігаційної системи. Нині на борту встановлений інерційний вимірювальний блок (ІМУ) MEMS (мікроелектромеханічні системи), з метою контролю положення БПЛА. Зазвичай ІМУ не в змозі збирати вихідні дані, навіть у найновіших. Діапазон точності в оцінці кута загального ІМУ, який використовується для міні або мікро-БПЛА, становить близько 1–4°.

Система живлення є ще одним фундаментальним елементом БПЛА, призначеним для забезпечення системи енергією. Відповідно до обраного планера, можуть бути прийняті різні системи живлення: ротаційні двигуни Ванкеля, паливні елементи та електричні рішення є найбільш поширеними. У мультироторних системах найбільш прийнятним рішенням є літій-полімерні (LiPo) батареї.

Корисне навантаження складається з датчиків або приладів, які несе БПЛА і використовується для отримання деяких конкретних даних або параметрів (наприклад, RGB/багатоспектральна камера, відеокамера, теплові або інші види датчиків).

Іншими компонентами корисного навантаження можуть бути інструменти, необхідні для бортового обладнання та активації пристрою. Особливо у випадку з камерами основним компонентом є кардан, опора, яка дозволяє обертати корисне навантаження вздовж однієї або кількох осей, часто оснащених сервоприводами, які можуть регулювати або стабілізувати орієнтацію датчика. Згідно з датчиком, кардан можна фіксувати, стабілізувати та керувати з землі.

Наземна станція управління (GCS) забезпечує постійне та інтерактивне дистанційне керування БПЛА, інформуючи пілота про хід автономного польоту. Базовою конфігурацією GCS зазвичай є комп'ютер або планшет, здатний планувати політ і контролювати його виконання. Пілот повинен бути оснащений пультом дистанційного керування, який можна використовувати в

екстрених випадках або для виконання зльоту та посадки, якщо БПЛА не є повністю автономним. Одна або кілька осіб відповідають за управління та контроль параметрів БПЛА під час польоту. Більшість комерційних БПЛА мають свій спеціальний планувальник місій або можна використовувати програмне забезпечення з відкритим кодом, розроблене науковою спільнотою.

Останній компонент БПЛА – це система зв'язку, яка є радіозв'язком між землею та транспортним засобом. Для управління БПЛА радіозв'язок є обов'язковим також для забезпечення безперервного зв'язку для аварійних операцій. Радіочастоти (РЧ) в діапазоні від 30 МГц до 3 ГГц, як правило, є смугою радіочастот, в якій працюють маленькі мультиротори [3].

1.2. Використання БПЛА для потреб людини

Поступова цифрова індустріалізація все більш захоплює різні галузі, використання БПЛА, не виняток, застосування БПЛА можна зустріти в кожній галузі.

Оборона

У той час як військові БПЛА використовуються приблизно десять років, менші портативні БПЛА тепер використовуються наземними військами на регулярній основі.

Експерти прогнозують, що очікується зростання трат на цю технологію, завдяки цьому зростуть і бюджети військових сил, що дасть можливість виконання комерційних та державних замовлень спеціалізованим виробникам БПЛА та програмного забезпечення. З 2014 року військові витрати США на технології безпілотників зросли з трохи більше ніж 4 мільярдів доларів до приблизно 9 мільярдів доларів щорічно, за даними Центру вивчення БПЛА при Бард-коледжі. Згідно з оцінками, близько 100 країн світу володіють певною формою військової технології безпілотників.

Багато з безпілотників розроблені виключно для спостереження і наступальних методів.

На додаток до використання нових авіаційних технологій, військові продовжують використовувати безпілотні наземні транспортні засоби. Clearpath Robotics виготовляє БПЛА та безпілотні наземні транспортні [4].

Аварійне реагування

Розробка новітніх камер значно вплинули на зростання використання БПЛА. Безпілотник, який має тепловізійні камери, допомагають командам екстреної допомоги ідентифікувати осіб що потребують допомоги, яких іноді неможливо помітити.

Land Rover у партнерстві з Австрійським Червоним Хрестом розробив автомобіль для спеціальних операцій з тепловізійним дроном на даху. Транспортний засіб має місце для інтегрованої системи посадки, яка дозволяє дрону безпечно приземлятися на транспортний засіб .

Минулого року виробник БПЛА компанія DJI запустила програму реагування на надзвичайні ситуації, яка надає першим особам доступ до деяких БПЛА і периферійних пристроїв компанії, а також технічну підтримку та допомогу.

Є безліч компаній та стартапів, які почали розробляти системи для порятунку та пошуку. Flyability пропонує стійкий до зіткнень БПЛА, розроблений для функціонування в обмежених зонах з обмеженою видимістю — середовищі, з якими часто стикаються групи реагування на надзвичайні ситуації.

Крім того, Делфтський технологічний університет випробував безпілотник швидкої допомоги, який міг доставити дефібрилятори на вимогу. Розширюючи існуючу інфраструктуру надзвичайних ситуацій, БПЛА можуть значно підвищити рівень виживання як у сільській, так і в міській місцевості по всьому світу [5].

Гуманітарна допомога та порятунок від лих

Окрім реагування на надзвичайні ситуації, БПЛА виявилися корисними під час стихійного лиха. Після ураганів і землетрусів БПЛА використовувалися для оцінки збитків, визначення місця розташування жертв і доставки допомоги. А за певних обставин вони допомагають запобігти катастрофам взагалі.

У 2017 році БПЛА використовувалися, щоб допомогти відновити електроенергію в районах, пошкоджених ураганом «Гарві», а також обстежити пошкодження затоплених територій та допомогти в пошуково-рятувальних роботах.

Для моніторингу та боротьби з лісовими пожежами використовуються безпілотники, з влаштованими на борту тепловізійними камерами, щоб виявляти аномальні температури в лісі. Таким чином, команди можуть визначати місця, які потенційно схильні до лісових пожеж, або виявляти пожежу на початку його розповсюдження.

Охорона природи

Браконьєрство та зміна клімату мають серйозний вплив на здоров'я дикої природи у всьому світі. За оцінками Всесвітнього фонду дикої природи, тисячі видів вимирають щороку. Щоб допомогти боротися з цією тенденцією, природоохоронці використовують безпілотні літальні апарати з геопросторовими зображеннями для моніторингу та відстеження тварин.

Команда Школи природничих наук Ліверпульського університету Джона Мурса створює автономну систему БПЛА, котра має можливість відслідковувати стан зникаючих видів та передавати інформацію про їхнє самопочуття дослідникам.

ДП працювала в зоні збереження, пропонуючи послуги БПЛА, для допомоги команді проведення досліджень, не руйнуючи природних умов існування. Ocean Alliance є прикладом організації, яка використовувала БПЛА для збору зразків поверхневого шару китів. Крім полегшення досліджень екосистем, БПЛА також можуть дозволити охоронцям природи використовувати для боротьби з браконьєрами.

Контроль захворювань

БПЛА з тепловізійними камерами використовуються Лондонською школою гігієни та тропічної медицини для контролю міграції макак у провінції Палаван на Філіппінах — регіоні, де активною загрозою є малярія.

Можливість контролю тварин дала подальше розуміння можливого переміщення інфекційної хвороби та її переходу до людей. Компанія Microsoft також використовує технологію БПЛА для захоплення комарів для перевірки на інфекційні захворювання. В ідеалі цей розвідувальний матеріал можна використовувати для вживання методів захисту жителів цих районів. Використання цього методу в подальшому дасть змогу боротьби з епідеміями в майбутньому.

Охорона здоров'я

Медицина здійснила глибокий прогрес профілактики захворювань, Сучасна медицина дозволила збільшити тривалість життя та підвищити загальний рівень життя. Проте багато сільських та віддалених регіонів світу не мають швидкого доступу до медичної допомоги. У той час як медичні товари доставляються традиційними засобами, деякі обставини потребують швидкого застосування ліків, медичних технологій або ліків — потребу, яку можуть задовольнити БПЛА.

У 2018 році лікарня WakeMed Health & Hospital у співпрацювала з департаментом транспорту штату, щоб перевірити практичність та ефективність використання БПЛА для доставки медичних засобів між кампусами лікарень. Після серії успішних тестів WakeMed уклала партнерство з каліфорнійським виробником БПЛА Matternet, а потім з UPS для подальшого розвитку лікарні з доставки БПЛА [6].

Однією з добре фінансованих венчурних компаній з доставки медичних препаратів є Zipline International. Zipline, яка зібрала 240 мільйонів доларів, пропонує БПЛА доставки в сільських районах по всім регіонам Африки [7].

Сільське господарство

Фермери постійно намагаються знизити витрати та збільшити кількість врожайності з деякого клаптика землі. За допомогою БПЛА сільськогосподарські фірми збирають дані, автоматизують процеси та підвищують ефективність.

Raptor Maps — це сільськогосподарський аналітичний стартап, який використовує БПЛА, для прогнозування потенційного врожаю за запитом фермерів.

БПЛА набирають популярності в вирощуванні сільськогосподарських культур. Вирощування це процес, який завжди повторюється, тривалий і орієнтується на деталі. Case IH побудував автономний трактор. Abundant Robotics займається розробкою рішень для збору врожаю в автономному режимі. Посадка є не менш енергоємним процесом. DroneSeed отримали 5,1 мільйона доларів від Social Capital, та прагнуть розробити систему, яка полегшить це завдання, використовуючи БПЛА для повітряного розповсюдження насіння.

Прогноз погоди

Вчені використовують апаратне та програмне забезпечення нових видів для подальшого вивчення клімату і наперед передбачувати майбутні зміни глобальних масштабів. Більшість даних про визначення клімату, сьогодні збирається за допомогою стаціонарних структур або фіксується на основі геопросторових зображень. Однак БПЛА можна використовувати, як універсальний варіант, що може слідувати погодним моделям у міру їх розвитку.

На додаток до літальних апаратів, безпілотні наземні апарати водного базування (БПС) змінюють спосіб збору даних. Компанією Sairdrone було розроблено автономний корабель, що дозволяє збір інформації про атмосферні та океанічні дані з поверхні океану.

Використання в морській галузі

Навігація в океанах і портах вимагає достатнього досвіду та праці. Приблизно 2 мільйона людей, працюють сьогодні на міжнародних торгових судах. Але зі збільшенням обсягів океанічних даних та інновацій в області автономності безпілотні морські засоби мають потенціальну вигоду стати на рівні з керованими суднами в морській галузі. Rolls-Royce завершив ряд випробувань безпілотних суден, керованих дистанційно.

Інспектування суден є однією з важливих частин галузі. У той час як Rolls-Royce планує використовувати менші БПЛА для огляду кораблів над поверхнею,

стартап Orobotix розробив підводний дрон, який використовується для огляду корпусів знизу.

БПЛА використовуються в таких країнах, як Данія, Норвегія та Нідерланди, щоб знайти кораблі, які порушують викиди. Безпілотні транспортні засоби можуть долати милі від порту, щоб виявляти викиди та ідентифікувати порушників [8].

Енергетика

Добування палива підземного типу є важливим джерелом енергії для. Використання БПЛА для перевірки інфраструктури, що використовується в цілях транспортування, переробки та видобутку нафти та газу, є невід'ємною частиною галузі і повинна відповідати нормам і стандартам.

За допомогою БПЛА інспекційну частину роботи можна виконувати дистанційно та безпечно. Облаштування БПЛА термодатчиками, виявляють витік газу чи знайти швидше, ніж люди, а вбудовані камери діагностувати деякі проблеми віддалено.

БПЛА показали багатообіцяючу перспективу, — в оцінці створення нових майданчиків для виробництва енергії. Безпілотники, які досліджують райони та збирають топографічні деталі, можуть використовуватися, щоб допомогти нафтогазовим компаніям визначати нові бурові майданчики, або їх можуть використовувати сонячні компанії для розробки конфігурацій для нових масивів.

Добича

Добича є капіталомістким підприємством, яке постійно вимагає оцінки та вимірювання фізичного матеріалу. Запаси мінералів, руди, гірських порід важко виміряти. Але завдяки унікальним камерам БПЛА можуть знімати об'ємні дані про запаси та досліджувати гірничі роботи з повітря. Це зменшує ризики, пов'язані з перебуванням геодезистів на місцях.

Airobotics, яка залучила понад 90 мільйонів доларів у відкритому акціонерному капіталі, надає рішення для безпілотників промислового класу на місці, яке використовується гірничодобувними компаніями для вимірювання матеріалів, геодезичних операцій та підвищення безпеки. Система повністю

автономна і зберігається в корпусі на місці, де можна автономно замінювати камери та батареї.

Видобуток також заважають автономні транспортні засоби, такі як безпілотний наземний транспортний засіб, розроблений Komatsu.

Розвиток інфраструктури

Хоча БПЛА служать корисною ціллю в плануванні та управлінні будівництвом, вони також мають потенціал для розвитку фізичної інфраструктури.

ETH Zürich, відомий університет у Швейцарії, у партнерстві з робототехніком Рафаелло Д'Андреа та архітектурною фірмою Gramazio Kohler Architects створили структуру, повністю побудовану за допомогою БПЛА.

Запрограмувавши БПЛА для підйому й укладання тисяч полімерних цеглин, команда змогла створити геометричну структуру висотою майже 10 метрів. Готовий продукт слугує концепцією «вертикального села», в якому буде використовуватися подібна структура, яка буде побудована більшими безпілотниками.

У 2015 році Міністерство транспорту Міннесоти розпочало вивчення потенціалу БПЛА для підвищення ефективності роботи департаменту і виявило, що використання БПЛА для інспекцій державної інфраструктури допомогло штату заощадити близько 40% на супутніх витратах.

Згідно з опитуванням, проведеним Американською асоціацією державних службовців автомобільних доріг і транспорту, до 2018 року близько 80% державних департаментів транспорту використовували БПЛА. Застосування включають моніторинг ходу будівництва автомагістралей, обстеження нових місць, огляд мостів, реагування на надзвичайні ситуації тощо.

Нерухомість

Безпілотники були корисними для зйомки високоцінних об'єктів нерухомості, показуючи, що навіть індустрія нерухомості може перевернути технологію БПЛА. У 2016 році нерухомість була однією з найактивніших галузей, коли мова йшла про впровадження технології БПЛА.

DroneBase — це одна компанія, яка пропонує фотозйомку дроном на вимогу для низки різних галузей, включаючи житлову та комерційну нерухомість.

У той час як недорога аерофотозйомка використовується для фотографування екстер'єру об'єкта, інтер'єри будинку також знімаються невеликими, маневреними безпілотниками. Zaw Studios, медіа-компанія, що базується за межами Лос-Анджелеса, використовує БПЛА для захоплення 360-градусних фотографій і відео у великих будинках. Готовий продукт надає потенційним покупцям перспективу, яка імітує фізичний огляд.

Для розробників нерухомості БПЛА можуть бути корисним інструментом для розуміння того, як краще облаштувати об'єкт з видами, зручностями та функціями. Можливість швидкого сканування об'єкта з усіх боків може дозволити краще спроектувати структуру для ландшафту, в якому вона розташована.

Авіалінії

Дотримання вимог є основою для багатьох галузей, але галузь авіакомпаній повинна дотримуватися особливо суворого рівня нормативного стандарту. Інспекції FAA відрізняються за комплексністю, але основні перевірки проводяться кожні 130 годин польоту. Крім того, очікується, що авіакомпанії проводитимуть власні планові перевірки перед кожним рейсом.

Намагаючись удосконалити цей процес, Intel співпрацює з Airbus для проведення зовнішніх оглядів літаків за допомогою БПЛА. Intel поставила БПЛА, оснащені камерами, які дозволяють їм збирати зображення та дані, які можна використовувати для створення детальних 3D-моделей флоту Airbus.

Airbus також запустив власну дочірню компанію для безпілотників під назвою Airbus Aerial, яка прагне надавати послуги інспекції в різних галузях. Canard Drones, тим часом, є стартапом, який прагне надати інформацію рішення для аеропортів, а не літаків.

Телекомунікації

Телекомунікаційні вишки також часто перевіряються для забезпечення надійності обслуговування. Після урагану «Харві» в 2017 році AT&T і Verizon

запустили БПЛА в Х'юстоні, штат Техас, для перевірки своїх веж – процес, який був би надто небезпечним і тривалим, щоб виконувати його вручну. Ці БПЛА змогли швидко оцінити пошкодження, щоб допомогти ремонтним командам відновити роботу. У багатьох випадках послугу повертали за години, а не дні.

Skyward, компанія з інспекційних БПЛА, придбана Verizon у першому кварталі 2017 року, надає програмну платформу для роботи з БПЛАми як послуга, яка допомагає комерційним операторам БПЛА у різних галузях.

Інтернет

Оскільки найбільші технологічні фірми світу змагаються за наш час і увагу, потреба в глобальному доступі до Інтернету стає все більш і більш важливою для бізнес-моделей.

Facebook експериментував з безпілотником на сонячній енергії під назвою Aquila, який передбачався як допомога в наданні доступу до Інтернету в сільській частині світу. Безпілотник Aquila рекламували як основний компонент зусилля Facebook щодо розширення доступу до Інтернету в усьому світі, перш ніж робота над ним була припинена в середині 2018 року, коли гігант соціальних мереж вирішив використовувати замість нього сторонні БПЛА.

Спочатку Google придбав компанію Titan Aerospace, яка працює на сонячних батареях, щоб забезпечити доступ до Інтернету на основі БПЛА (подібно до Aquila), але це підприємство виявилось складним. З тих пір він звернувся до дизайну, схожого на метеорологічну кулю під назвою Project Loon, який має на меті забезпечити доступ до Інтернету зі стратосфери.

SoftBank у співпраці з виробником БПЛА AeroVironment має власні плани щодо розробки БПЛА, які працюватимуть у стратосфері, щоб служити «плавучими вежами стільникового зв'язку» для надання послуг Інтернету клієнтам.

Туризм

Безпілотники не тільки змінили те, як готелі проводять маркетинг, але вони також можуть змінити наше уявлення про розкішне помешкання. Дизайнерська фірма НОК передбачає готелі безпілотників, які можуть подорожувати в нові

місця на вимогу. Ці сучасні споруди можуть летіти у віддалені та традиційно недоступні для гостей місця.

Традиційні готелі також використовують БПЛА, такі як ті, які пропонує Unsupervised AI, який використовує БПЛА для швидкої та автономної доставки посилок та обслуговування номерів.

Marriott Marquis Chicago, з іншого боку, використовував БПЛА для доставки коктейлів гостям під час свого урочистого відкриття в 2017 році. Працюючи з компанією БПЛА DJI, Marriott також випробувала використання БПЛА, щоб розважати гостей на курорті JW Marriott Zhejiang Anji в Китаї.

Спорт

Skusam, роботизована камера, підвішена на кабельній комп'ютеризованій транспортній системі, змінила те, як глядачі сприймають телевізійні види спорту. Камера забезпечує особисту перспективу зблизька, яку не можуть відобразити традиційні стаціонарні камери. Сьогодні Skusam є необхідною для будь-якої професійної спортивної трансляції на арені.

Однак БПЛА стають все більш популярними для професійного спорту за межами стадіону. Vermeer, наприклад, пропонує послуги прямих спортивних трансляцій, які використовувалися в низці прямих і записаних телевізійних трансляцій.

Крім традиційних спорт-дрони самі впливають на спорт. Наприклад, Drone Racing League — це глобальна серія гонок на дронах.

Голівуд

Однією з перших галузей, які впровадили БПЛА, було професійне кіно. Безпілотники дозволили режисерам знімати драматичні повітряні перспективи без використання гелікоптерів. Це справило драматичний вплив на прибуток Голлівуду, розсуваючи межі кінематографії.

Оскільки впровадження цієї технології зросло, Федеральне управління авіації та Американська кіноасоціація працювали разом, щоб встановити процедури регулювання комерційного використання БПЛА у космосі.

Aerial MOB, придбаний 5D Robotics у другому кварталі 2016 року, використовував БПЛА для зйомки контенту для таких фільмів, як «Коло», «Вартові Галактики» та «Ла-Ла Ленд». Він також використовував БПЛА для зйомки різноманітної реклами.

XM2 Cine Sierra, з максимальним корисним навантаженням 65 фунтів, є одним із найбільших БПЛА, розроблених спеціально для кінематографії. Він знайшов широке застосування на високобюджетних голлівудських картинах, включаючи такі фільми, як IX епізод «Зоряних воєн».

Також тривають роботи з розробки БПЛА, які можуть знімати без потреби активного пілота. Дослідники з Університету Карнегі-Меллона експериментують з автономним програмним забезпеченням для БПЛА, яке має на меті дозволити дрону самостійно залишатися на плаву, слідувати за людською фігурою у складному середовищі та виконувати різні напрямки блокування та стеження.

Реклама

Крім зйомки реклами, БПЛА використовуються як фізичні засоби маркетингу. Вони можуть створювати повітряну рекламу на подіях у прямому ефірі або в місцях із високим трафіком. Наприклад, DroneCast розробила послуги для банерної реклами та доставляла дрібниці під брендом Ford відвідувачам на автомобільних конгресах.

Використання БПЛА для доставки дрібних товарів

БПЛА використовуються для доставки товарів з місцевих роздрібних продавців і центрів виконання. Amazon добре відомий своїми інноваціями в сфері космосу та зосередженістю на виконанні та логістиці. Патентна діяльність гіганта електронної комерції, пов'язана з безпілотниками, є частою і часто заслуговує на новини. Перша комерційна пропозиція доставки БПЛАми від Amazon, Prime Air, здійснила свою першу демонстраційну доставку в 2016 році, і компанія оголосила про свій намір запровадити доставку протягом 30 хвилин або менше для окремих клієнтів Prime, які використовують цю послугу.

У численних власних патентних заявках Walmart чітко висловив свої амбіції щодо доставки БПЛА. Конкурентна перевага Walmart щодо доставки БПЛА

може полягати в його географічному розповсюдженні та охопленні — на відміну від Amazon, вважають, що близько 90% американців живуть у межах 10 миль від розташування Walmart, що створює потенціал для роботи БПЛА компанії з її магазинів [9].

Приватні ринки також процвітають за рахунок інвестиційної діяльності, спрямованої на підвищення ефективності доставки як землі, так і повітря. Matternet доклав зусиль, щоб об'єднати фургони для доставки з повітряними безпілотниками, а Starship Technologies створює парк самокерованих роботів, призначених для доставки вантажів локально протягом 30 хвилин.

Мануфактура та інвентаризація

Робототехніка відіграє важливу роль у сучасних конвеєрах. І хоча БПЛА можуть найкраще працювати в неструктурованих середовищах, вони все ж можуть відігравати роль у сучасному виробництві. Від виявлення сировини до перевірки конвеєра, БПЛА можуть виконувати завдання, надто складні для великих, заздалегідь запрограмованих роботів, і занадто небезпечні або складні для людей.

У 2018 році Shell почала використовувати БПЛА на місці своєї нової планети для злому етану в Піттсбурзі, де літаючі пристрої щодня фотографують будівельний майданчик, щоб допомогти виявити проблеми та контролювати процес будівництва.

ZF, компанія з виробництва автомобільних технологій в Німеччині, нещодавно отримала дозвіл використовувати безпілотники для транспортування обладнання, в тому числі чутливих вантажів, таких як датчики, між центральним складом і робочими зонами.

Крім виробництва та доставки, БПЛА можна використовувати на складах і в центрах виконання для управління запасами. Останні дослідження Массачусетського технологічного інституту описують систему інвентаризації, яка використовує БПЛА для зв'язку за допомогою технології RFID без батарей. Безпілотники можна використовувати для визначення місцезнаходження та

вимірювання запасів у мережі індивідуальних датчиків, розташованих на або в контейнерах навколо об'єкта.

Кримінал та противодія криміналу

Хоча технологія БПЛА має багато позитивних застосувань, вона також використовується для здійснення незаконної діяльності. Зокрема, БПЛА використовувалися для транспортування наркотиків через міжнародні кордони. Великі БПЛА можуть охоплювати майже 5,5 футів і призначені для перевезення обладнання, наприклад важких голлівудських камер. Завдяки тривалості польоту 18-40 хвилин (залежно від ваги корисного вантажу) і максимальній швидкості близько 40 миль на годину БПЛА можуть бути добре підходять для транспортування незаконних вантажів.

Безпілотники також брали участь у вибухах, вуайеризмі та контрабанді товарів у в'язниці США. У 2015 році безпілотник навіть непоміченим залетів на територію Білого дому.

З іншого боку, БПЛА також використовуються правоохоронними органами для спостереження та запобігання злочинності. У 2019 році

Згідно з даними Центру вивчення БПЛА в коледжі Барда, близько 600 правоохоронних відділів у Сполучених Штатах використовували БПЛА як засіб запобігання злочинам і реагування на них.

Фітнес

Від носових пристроїв до пристроїв для 3D-сканування тіла, фітнес-технології мають на меті зробити режими тренувань і вправ більш персоналізованими за допомогою відстеження фізичної активності та біометричних даних. Але щоб перейти від відстеження до коучингу, з'являється кілька нових пристроїв, які забезпечують зворотний зв'язок та рекомендації.

БПЛА можуть покращити досвід цифрового коучингу, стежачи за користувачами під час вправ і збираючи відеодані їх тренувань. На ринку вже є кілька споживчих безпілотників, які можна запрограмувати, щоб вони слідували за своїми власниками, включаючи безпілотник XEagle Sport від FlyPro, Mavic Pro від DJI та Ghostdrone 2.0 Ehang.

Для людей із вадами зору БПЛА можуть зробити програми вправ більш доступними. У 2015 році доцент комп'ютерних наук Університету Невади, Human Plus Lab Рено побудував прототип БПЛА, який керує сліпими бігунами. Дрон, який керує бігунами за допомогою звуку, оснащений однією камерою, яка слідує лініях навколо траси, і камерою, яка фокусується на маркері на сорочці бігуна. Він летить приблизно на 10 футів перед бігуном і може регулювати свою швидкість відповідно до темпу бігуна.

Харчові послуги

Служби онлайн-замовлення та доставки їжі дають можливість ресторанам швидкого затишку зменшити свої фізичні місцезнаходження та знизити витрати на нерухомість, але комісійні витрати за доставку все ще зменшують прибуток. Деякі ресторани прагнуть використовувати БПЛА для швидшої та дешевшої доставки.

Ісландська АНА, платформа електронної комерції зі службою доставки їжі, подібною до Grubhub, співпрацювала з ізраїльською логістичною компанією Flytrex у серпні 2017 року, щоб створити невеликий маршрут доставки в Рейк'явік. АНА і Flytrex використовують БПЛА для доставки їжі безпосередньо через затоку Північної Атлантичного океану, яку зазвичай доводиться обходити водіям доставки, значно скорочуючи час доставки. У майбутньому компанія планує додати більше маршрутів доставки.

БПЛА також набирають обертів із доставкою піци. У листопаді 2016 року Domino's співпрацює зі стартапом Flirtey, щоб здійснити першу комерційну доставку піци за допомогою БПЛА. Пиріг передали подружжю в Новій Зеландії. У 2018 році НВО об'єднався з агентством доставки брендів Fooji і Drone Dudes, щоб відправити піцу шанувальникам свого шоу Силіконова долина.

БПЛА також можуть змінити спосіб доставки їжі в ресторани. У 2015 році Infinium Robotics розробила офіціант-дрон, відомий як Infinium-Serve. БПЛА можуть перевозити до 4,4 фунтів їжі та напоїв, що дорівнює приблизно двом пінтам пива, двом келихам вина та цілій піці. Так само в 2016 році голландський

університет відкрив спливаюче кафе, в якому офіціанти-БПЛА приймали та доставляли замовлення клієнтів.

У квітні 2019 року Google отримала дозвіл почати здійснювати доставку за допомогою БПЛА у районі Вірджинії, і компанія вже здійснює доставку їжі на тестові ринки в Австралії.

Через кілька місяців Uber було схвалено розпочати власні випробування доставки БПЛА в районі Сан-Дієго, співпрацюючи, зокрема, з McDonald's.

Журналістика

Видання новин використовують БПЛА для додавання контексту та розуміння новин, підвищення цінності виробництва та покращення документального оповідання.

правила FAA змінилися, щоб журналісти могли використовувати БПЛА для збору новин, McClatchly із Сакраменто, який управляє місцевими медіа-брендами в США, навчив понад 50 співробітників використовувати БПЛА.

Згодом БПЛА були використані для отримання аерофотозйомки наслідків урагану Ірма журналістами Miami Herald, для зйомки лісових пожеж у Каліфорнії та для оцінки постраждалих від повені районів на Середньому Заході.

CNN має широку програму БПЛА під назвою CNN Air. Мережа повідомляє про сотні польотів у більш ніж 20 країнах. Кадри, зібрані його парком БПЛА, вносять свій внесок у основний новинний звіт CNN, його ініціативу Great Big Story (присвячена створенню мікродокументальних і короткометражних фільмів) та інші проекти для Turner і Time Warner.

За допомогою БПЛА екіпаж може збирати кадри, які було б важко отримати інакше через проблеми безпеки, високі витрати або фізичні перешкоди. Старший директор з національних технологій новин, аерофотознімків і репортажів CNN Грег Агвент пояснює, що БПЛА дозволяють командам «знімати речі, які ви просто не можете зняти з гелікоптера, що створить набагато більше шуму та коштує вам набагато більше грошей».

Авіаподорожі

Airbus використовує БПЛА під час звичайних оглядів літаків. Компанія збирає дані та зображення своїх літаків, щоб допомогти проаналізувати стан літаків. Але БПЛА впливають і на інші аспекти авіаперельотів.

Пасажири, які подорожують з безпілотниками, повинні дотримуватися певних правил щодо зберігання літій-іонних акумуляторів пристроїв і гострих компонентів, таких як пропелери. Замість того, щоб просто пакувати свої БПЛА у валізи, мандрівникам потрібно це зробити навчатися безпечному та легальному транспортуванню машин.

БПЛА також створили ще один набір проблем безпеки. Наприкінці грудня 2018 року лондонський аеропорт Гатвік заклався на 36 годин через безпілотники, які літали неподалік. Британська влада заявила, що вважає, що той, хто керував безпілотниками, навмисно перериває політ. Тим не менш, проблема визначити, хто стоїть за зривом, підкреслює труднощі ширшого регулювання діяльності БПЛА.

Прагнучи полегшити деякі з цих проблем, Wing — дочірня компанія материнської компанії Google Alphabet — запустила додаток під назвою OpenSky, який допомагає операторам БПЛА краще планувати свої маршрути, щоб уникнути дорожнього руху та зменшити кількість аварій.

Ігрова індустрія

Тепер БПЛА грають подвійну роль в іграх — як ігрові компоненти та як інструменти для їх розробки. Компанія Drone n Base продає ігрові пакети, які дозволяють гравцям проводити гонки безпілотників, а також брати участь у високотехнологічних битвах за допомогою доповненої реальності. Ліга повітряних видів спорту, тим часом, проводить змагання з бою безпілотників і перегони, деякі з яких пропонують значні грошові призи.

У 2019 році Lockheed Martin і The Drone Racing League оголосили про приз у 2 мільйони доларів, щоб заохотити розробників створювати програми штучного інтелекту, які можуть автономно керувати БПЛАми через смуги перешкод.

Компанії з виробництва відеоігор також використовують технологію БПЛА для розробки гіперреалістичних карт та інших компонентів для своїх ігор. БПЛА пропонують компаніям можливість отримати доступ до величезних ділянок місцевості та зовнішніх елементів, які допомагають створювати більш насичені ігрові зображення.

Вашингтонський університет розробив гру для моделювання того, як реальні БПЛА можуть справлятися з великою кількістю повітряного транспорту, а учасники допомагають розігрувати різноманітні симуляції щільності БПЛА.

Космос

У травні 2018 року NASA оголосило, що в місії Марс 2020 буде використовуватися схожий на безпілотний вертоліт, щоб допомогти шукати ознаки життя на Марсі. Вертоліт буде служити розвідником для марсохода, збираючи дані про рельєф планети та оглядаючи райони, до яких марсоход не може дістатися.

Космічне агентство планує ще одну місію безпілотника, цього разу до Титану — одного із супутників Сатурна. БПЛА – це не те, що зазвичай можна знайти на Землі. Оскільки вартість місії, як очікується, становить близько 1 мільярда доларів, безпілотник буде на атомній енергії та розміром з невеликий компактний автомобіль. За прогнозами, він прибуде на Титан до 2034 року, він буде автономно подорожувати планетою протягом приблизно 2 років, фотографуючи та надсилаючи дані для аналізу.

Освіта

Незабаром БПЛА можуть з'явитися в більшій кількості класних кімнат, оскільки викладачі використовують освітній потенціал технології.

Наприклад, учні 11-го шкільного округу Колорадо-Спрінгс під керівництвом вчителів Девіда Стіла та Рея Севітса вже використовують БПЛА як частину своєї програми. Студенти-учасники керують безпілотниками, навчаються їх ремонтувати та вивчають фізику того, як вони літають.

Безпека

Охоронні компанії використовують БПЛА для забезпечення більш комплексних систем спостереження за промисловими, комерційними та житловими об'єктами.

Одна компанія, Nightingale Security, дозволяє клієнтам встановлювати повторювані шляхи, якими БПЛА можуть подорожувати щодня, контролюючи ключові зони безпеки. Ця ж служба розгортає БПЛА з можливістю прямої трансляції відразу після спрацьовування тривоги, що дозволяє команді безпеки та клієнтам отримати ключові кадри потенційного порушення.

Sunflower Labs працює над автономною системою БПЛА, яка буде сканувати на наявність підозрілої активності, сповіщати власників будинків про потенційні ситуації і, за потреби, надавати дані, щоб допомогти подати заяву в поліцію.

1.3.Обслуговування важкодоступної місцевості(БПЛА доставки «останньої милі»)

Відсутність інфраструктури, складний рельєф та екстремальні погодні умови часто заважають компаніям обслуговувати людей у віддалених районах.

Приклад: Руанда та Вірджинія, США, обидва регіони які отримують переваги від логістичних мереж БПЛА, якими керують дві провідні компанії в цій галузі, Zipline і Wing, які здійснили більше 100 000 комерційних поставок.

Руанда

У Руанді компанія Zipline нещодавно здійснила 200 000 поставок крові, вакцин та інших медичних препаратів у сільські лікарні та клініки.

Використання БПЛА для доставки є більш стійким, ніж багато інших видів транспорту. Zipline забезпечує доставку крові, вакцин та інших необхідних медичних продуктів до 50 фунтів, електричний за допомогою автономного літака з фіксованим крилом. Доставка проводиться в лікарні, медичні установи, та до пацієнтів у межах 80 км від одного з централізованих медичних складів та центрів розподілу. Лікарня робить замовлення, медичний склад готує

замовлення та розміщує його в бухту одного з БПЛА. БПЛА запускається катапультию в повітря і за допомогою автопілота летить до місця доставки. Опинившись над місцем доставки, БПЛА відкриває люк, для скидання товару. Після скидання товару літак в автоматичному режимі повертається на місце старту та заходить на посадку. Станом на жовтень 2021 року було здійснено понад 200 різних медичних товарів, включаючи ліки, кров та вакцини для понад 2000 медичних закладів, які обслуговують 25 мільйонів людей.

Вірджинія, США

У Крістіансбурзі, штат Вірджинія, Wing вже два роки доставляє продукцію до резиденцій за допомогою БПЛА. В економічному звіті, опублікованому Технічним офісом економічного розвитку Вірджинії у вересні 2020 року, зазначено, що можливість доставки таких БПЛА в одному столичному регіоні США: Уникнути до 294 мільйонів миль на рік на дорогах і до 580 автомобільних аварій на рік. Замінити з дороги еквівалент 25 000 автомобілів, зменшивши викиди вуглецю до 113 900 тонн на рік. Скорочення викидів вуглецю, еквівалентним посадці 46 000 акрів нового лісу на рік.

Остання поставка милі відноситься до руху товарів від транспортного вузла до кінцевого пункту призначення. Зазвичай найдорожчий і найскладніший етап шляху посилки, доставка останньої милі становить приблизно 50% загальної вартості розповсюдження. Впровадження технології БПЛА може оптимізувати доставку останньої милі, транспортуючи пакунки з сусідніх складів або розподільних центрів до певної адреси.

Доставка останньої милі за допомогою БПЛА: оцінка життєздатного ринкового потенціалу та доступу до громадян у європейських містах», European Transport Research Review (2019). UPS пропонує один із можливих способів використання БПЛА у логістиці останньої милі. Вони пропонують встановити міні-вертолітні майданчики на верхній частині своїх вантажівок. За їхніми оцінками, відсторонення лише однієї милі від маршрутів кожного з 66 000 водіїв доставки компанії може заощадити до 50 мільйонів доларів.

Особливо це стосується поставок на останню милу в міських районах із великими заторами. Хоча слід зазначити, що FAA в США ще не дозволяло жодних великомасштабних операцій станом на квітень 2020 року.

БПЛА з дистанційним керуванням можна використовувати для інспектування інфраструктури після катастрофи з метою оцінки ризику.

- Нагляд за безпекою великих територій для логістики, таких як склади та фабрики.
- Технічна оцінка цілісності інфраструктури дворів, терміналів та дахів складів.
- Сканування піддонів у розподільних центрах, що дозволяє оперативній групі переглядати інвентар, що зберігається на території, а також шукати непотрібні товари у важкодоступних місцях
- Збір відео та зображень під час інвентаризації

Зростаюча популярність електронної комерції є вагомим аргументом для використання технології БПЛА для транспортування та розподілу товарів. Однак є обмеження в апаратному забезпеченні, як-от ємність корисного навантаження, час автономної роботи та стабільність польоту в дощових і вітряних умовах. Крім того, широке поширення доставки БПЛАми для доставки «останньої милі» наразі неможливе, враховуючи регуляторні та законодавчі проблеми щодо конфіденційності та безпеки даних [10].

Безпілотні літаки корисні для управління запасами в ланцюжку поставок. Причина, по якій БПЛА можна використовувати для цих цілей, полягає в тому, що комерційне використання БПЛА у приміщенні не регулюється. Автономні БПЛА можна легко інтегрувати в робочі процеси в розподільних центрах, складах, авіаційних вантажних операціях, центрах виконання та об'єктах 3PL.

Висновок до розділу 1

Безпілотні літальні апарати – одна з революційних розробок людини, що може повністю автоматично виконувати людські та надлюдські функції без

людського втручання в роботу автопілота на етапі виконання процесу. Комплекси БПЛА є не досить складними за конструкцією та структурою механізмами в пілотуванні та експлуатації, що робить їх достатньо доступними для звичайних користувачів.

БПЛА поступово займають одне з провідних місць в обслуговуванні людських потреб. В деяких галузях повністю витіснили інші механічні споруди(літаки, гвинтокрили і т.д.). Оперативні директори та власники, сільських господарств, частіше стали використовувати БПЛА, надаючи їм перевагу в простоті використання, та досить низькій вартості експлуатації. Ринок БПЛА розростається та створює компанія живу конкуренцію, що сприяє розвитку БПЛА.

Розвиток БПЛА позитивно буде впливати на безпеку людини, через виконання задач, які раніше ставили під загрозу людське життя. Моніторинг важкодоступних місць, виявлення рівня радіації, інспектування потенційно небезпечних об'єктів і ще низка подібних задач.

Використання БПЛА діє в користь людському здоров'ю – доставка медикаментів, розробка експериментального дрона-дефібрілятора та інші, дають шанс на продовження життя людей в віддалених районах світу. В майбутньому, модернізація систем БПЛА, дозволить транспортування хворих людей, або евакуацію з потенційно небезпечних місць.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БПЛА

2.1. Прийняття рішень в умовах невизначеності та ризику

Прийняття рішень в умовах невизначеності – ґрунтується на умовах при яких виконавець поставленої задачі, що є відповідальним за прийняття рішення, не має представлення про наявність всіх можливих альтернатив, ризиків, що мають залежність між собою або наслідків окремої з альтернатив.

Прийняття рішень в умовах ризику – ґрунтується на умовах при яких доступність альтернати, її потенційного успіху або провалу – асоціюється з ризиками.

Безмежна кількість зовнішніх факторів в сфері авіації можуть перебувати в переліку можливих станів. Розглянемо погодні умови. Пронумеруємо кожен із можливих станів, припускаємо нехай Π_i - стан погодних умов, при цьому $i = 1, \dots, n$, де n - число всіх можливих станів. Кожен стан з підбірки є відомим, але невідомим залишається стан який виникне під час прийняття рішення, для виконання первісного завдання.

Припустимо, що безліч можливих прийнятих рішень (планів) A_j не є нескінченним і дорівнює m (крайнє значення A_j). Реалізація A_j плану в умовах, коли погодні умови перебувають в Π_i стані, призводить до отримання певного результату, який може бути оцінений за умови введення кількісної міри, наприклад, успіх від прийнятого рішення; втрати від прийнятого рішення, а також корисність, ризик та інші кількісні критерії.

Для прийняття рішень в умовах невизначеності необхідні дані задаються в матричному виді, де стовпці відповідають вирогідним погодних умов S_i , а рядки можливим прийняттям рішень (діям) A_j . З матриці видно що кожному стану погодних умов буде відповідати прийняття рішень - j_i

Таблиця 2.1 – Матриця можливих результатів при прийнятті рішень

	П1	П2	...	Пi	...	Пn
A1	11	21	...	i1	...	n1
A2	12	22	...	i2	...	n2
...
Aj	1j	2j	...	Ij	...	nj
...
Am	1m	2m	...	Im	...	Nm

Відповідно до таблиці 2.1, математична модель задачі прийняття рішення визначається великою кількістю станів $\{Pi\}$, великою кількістю планів (стратегій) $\{Aj\}$ і матрицею можливих результатів $\|ji\|$.

Для прийняття оптимальних рішень оператором БПЛА в умовах невизначеності використовується: Критерій Вальда, критерій Лапласа.

2.1.1. Критерій Вальда

Критерій Вальда ґрунтується на песимізімі, вибір рішень базується на найгіршому варіанті, з переліку.

Критерій Вальда вважають достатньо обережним. В цьому критерії оптимальний вибір рішення, буде залежати від обставин, які можуть забезпечити кращий результат з переліку альтернатив в результаті найгіршого збігу обставин.

Критерій Вальда ґрунтується на альтернативі яка називається максиминою, принцип оптимальності. Де максимальна альтернатива є оптимальною альтернативою.

Найбільш оптимальне прийняття рішень за критерієм Вальда при спільному прийнятті рішень отримується за правилом (2.2) :

$$A^* = \max_{A_i} \left\{ \min_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) \right\}, \quad (2.2)$$

де, A^* – оцінна функція за мінімаксною умовою для матриці втрат, $u_{ij} A_i, B_j$ – втрати, що відповідають альтернативі A_i і зовнішнім умовам B_j .

2.1.2. Критерій Лапласа

Критерій Лапласа базується на принципі недостатнього обґрунтування. У зв'язку з тим, що в разі інформаційного підходу в умовах невизначеності ймовірності станів невідомі, то немає підстав стверджувати, що вони різні, а це означає, що цілком правильним буде припущення, що ці стани можуть бути однаковими.

Критерій Лапласа базується на середньому успіху для оцінки альтернативи, тобто альтернатива, що визначає максимально середній успіх є найоптимальнішою і базується на такому правилі (2.3) :

$$A^* = \max_{A_i} \left\{ \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n u_{ij}(A_i, B_j) \right\}, \quad (2.3)$$

де A^* – оцінна функція за критерієм Лапласа, m – кількість можливих станів природи.

В умовах невизначеності і ризику, достатньо періодично використовується середнє значення. Але середнє значення не враховує, наскільки результат буде різнитись від іншого середнього значення, та чи можливо щоб інше середнє значення призвело до найбільш ризикованого варіанту.

2.2 Динамічне програмування

Динамічне програмування — це підхід до розв'язання задач, що ґрунтується на тому, що вихідне завдання розбивається на дрібніші підзавдання, які простіше

вирішити. І потім вирішення цих підзавдань можна використовувати для вирішення вихідного завдання.

Використання динамічного програмування має сенс в випадку:

- коли рішення підзадачі використовувати ефективно;
- підзадачі мають загальну структуру, тому їх вирішення можна застосувати якийсь вироблений однорідний спосіб, а чи не вирішувати кожен окремо різними алгоритмами.

1. Динамічне програмування - це підхід до вирішення завдань. Тобто це не просто формула чи алгоритм, а скоріше методологія, яка каже вам, як думати, щоб вирішити завдання.

2. Динамічне програмування - це підхід до вирішення завдань, де потрібно розбити завдання на дрібніші підзадачі, які легко розв'язати.

Простіші підзадачі - це завдання, які необхідно вирішити для вхідних даних меншого розміру. Під меншим розміром можна розуміти або менше число, або масив меншого розміру, або меншу кількість параметрів, що настроюються і так далі. Візьмемо, наприклад, числа Фібоначчі. Позначимо як $\Phi(N)$ - N -е число Фібоначчі. Тобто $\Phi(5)$ це п'яте число Фібоначчі. Щоб порахувати п'яте число Фібоначчі, потрібні третє $\Phi(3)$ та четверте $\Phi(4)$ числа Фібоначчі. Ось саме завдання знаходження третього та четвертого чисел Фібоначчі і є дрібнішими підзавданнями [11].

Простіші завдання — ті, на вирішення яких потрібно менше операцій (пам'ять ми зараз не враховуємо). Наприклад, щоб скласти два числа ($2 + 3 = 5$), потрібно менше операцій, ніж щоб скласти 3 числа ($2 + 3 + 4 = 9$). У алгоритмах, дискретної математики, олімпіадних задачах найчастіше мають на увазі порядок складності рішення. Тобто, щоб не просто було на одну операцію менше, а щоб кількість операцій була на порядок менша або в рази менша.

Вирішення простіших завдань можна використовувати для вирішення вихідної (великої) задачі. Числа Фібоначчі тут теж добрий приклад. Якщо нам потрібно $\Phi(5)$ і ми вже знаємо $\Phi(3)$ та $\Phi(4)$, то можемо використовувати їх для вихідного завдання: $\Phi(5) = \Phi(3) + \Phi(4)$.

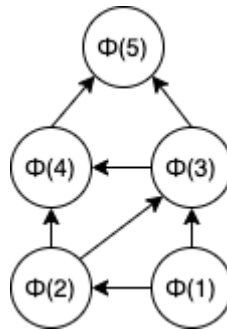


Рисунок 2.1 – Схема обчислення п'ятого числа Фібоначі.

Динамічне програмування включає два поняття мемоізація та табуляція.

Мемоізація - оптимізаційна техніка, яка дозволяє запам'ятовувати результати обчислень і потім перевикористовувати їх тоді, коли потрібно зробити такі самі обчислення.

Улюблений приклад: при підрахунку сьомого числа Фібоначчі ви можете запам'ятати четверте число Фібоначчі і не обчислювати його щоразу, а лише один раз.

Також цю техніку описують як «згори донизу». Причина – на малюнку. Це граф у вигляді дерева рекурсії для обчислення п'ятого числа Фібоначчі:

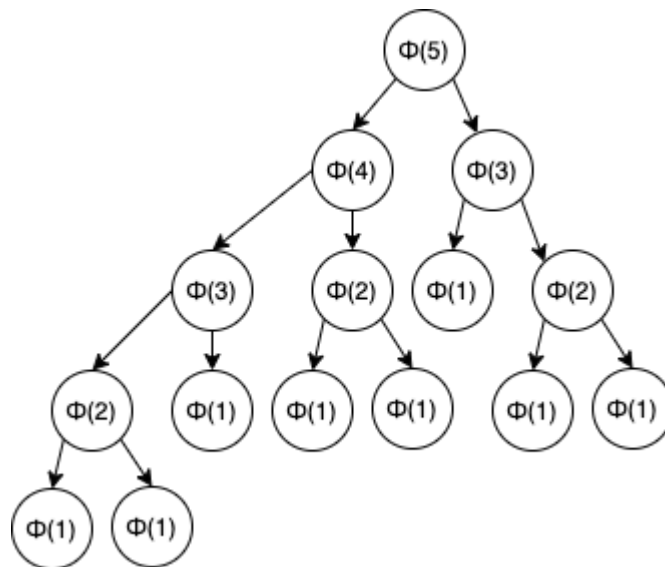


Рисунок 2.2 – Дерево рекурсії визначення п'ятого числа Фібоначчі.

Тобто, ви спочатку вирішуєте велику проблему «зверху» — $\Phi(5)$, а потім спускаєтеся. Так от, коли ви, наприклад, вперше досягли вершини графа $\Phi(2)$ і порахували її значення, то запам'ятовуєте його і вдруге вже не перераховуєте, а

дістаєте з пам'яті. Те саме і для інших вершин. Найчастіше діставати з пам'яті набагато швидше, ніж перераховувати.

Табуляція - оптимізаційна техніка, яка починає вирішувати підзавдання з найпростішим і потім при подальшому просуванні вирішує все складніші підзавдання, поки не буде вирішено основне завдання. При цьому для вирішення складніших підзадач використовуються рішення більш простих підзадач.

На відміну від мемоізації, цей підхід називають «знизу вгору» через те, що ви спочатку беретеся за найпростіші завдання.

На числах Фібоначчі це працює у тому випадку, коли ви вирішуєте задачу за допомогою циклу. Тобто $F(i) = F(i-1) + F(i-2)$, де i це індекс всередині циклу. І якщо ви вже отримали $F(i-1)$ і $F(i-2)$ на попередніх ітераціях, то поточне обчислення не складе труднощів [12].

Підбиваючи підсумки вищесказаного можна сказати, що динамічне програмування користується такими властивостями завдання:

- підзадачі, що перекриваються;
- оптимальна підструктура;
- можливість запам'ятовування рішення підзадач, що часто зустрічаються.

Динамічне програмування зазвичай дотримується двох підходів до розв'язання задач:

- низхідне динамічне програмування: завдання розбивається на підзадачі меншого розміру, вони вирішуються і потім комбінуються на вирішення вихідної задачі. Використовується запам'ятовування для вирішення вже вирішених підзавдань.

- висхідне динамічне програмування: всі підзавдання, які згодом знадобляться для вирішення вихідного завдання, прораховуються заздалегідь і потім використовуються для побудови рішення вихідного завдання. Цей спосіб краще низхідного програмування у сенсі розміру необхідного стека і кількості виклику функцій, але іноді буває нелегко заздалегідь з'ясувати, вирішення яких підзавдань нам знадобиться надалі.

2.2.1 Алгоритм Беллмана Форда

Алгоритм Беллмана-Форда — це алгоритм найкоротшого шляху з одним джерелом. Це означає, що за допомогою зваженого графіка цей алгоритм виведе найкоротшу відстань від вибраного вузла до всіх інших вузлів.

У теорії графів від'ємні ребра важливіші, оскільки вони можуть створити негативний цикл у даному графі. Почнемо з простого зваженого графіка з негативним циклом і спробуємо знайти найкоротшу відстань від одного вузла до іншого:

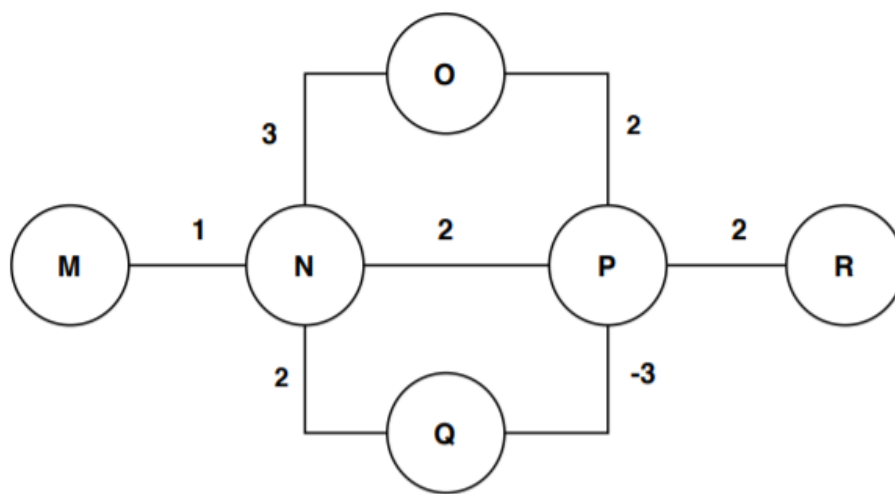


Рисунок 2.3. – Приклад знаходження найкоротшого маршруту.

Ми розглядаємо кожен вузол як місто. Ми хочемо поїхати в місто R з міста M. Від міста M до міста R йдуть три дороги: MNPR, MNQPR, MNOPR. Довжина доріг 5, 2 і 8. Але коли ми подивимося глибше, ми побачимо, що є негативний цикл: NQP, який має довжину -1. Отже, щоразу, коли ми долаємо шлях NQP, довжина нашої дороги буде зменшуватися.

Це призводить до того, що ми не можемо отримати точну відповідь на найкоротшому шляху, оскільки нескінченне повторення дороги NQP буде, за визначенням, найменш дорогим маршрутом.

Алгоритм Беллмана-Форда є прикладом динамічного програмування. Він починається з початкової вершини і обчислює відстані до інших вершин, які може досягати одне ребро. Потім він продовжує знаходити шлях із двома

ребрами тощо. Алгоритм Беллмана-Форда дотримується підходу знизу вгору [13].

2.2.2 Алгоритм Дейкстри

Враховуючи позитивно зважений графік і початковий вузол (A), Дейкстра визначає найкоротший шлях і відстань від джерела до всіх пунктів призначення на графіку:

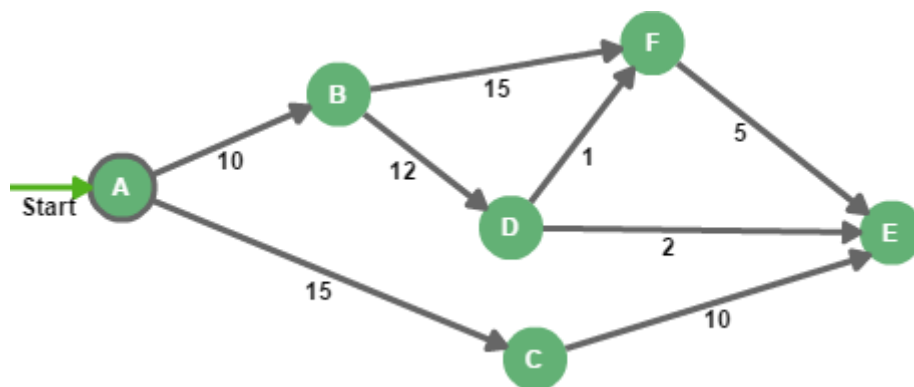


Рисунок 2.4. – Приклад пошуку найкоротшого маршруту за алгоритмом Дейкстри.

Основна ідея алгоритму Дейкстри полягає в тому, щоб безперервно виключати довгі шляхи між початковим вузлом і всіма можливими пунктами призначення.

Щоб стежити за процесом, нам потрібно мати два різні набори вузлів: постійний і невизначений.

Розміщені вузли — це вузли з відомою мінімальною відстанню від джерела. Набір невизначених вузлів збирає вузли, до яких ми можемо дістатися від джерела, але ми не знаємо мінімальної відстані від початкового вузла.

Ініціалізація, перш ніж ми почнемо досліджувати всі шляхи на графіку, нам спочатку потрібно ініціалізувати всі вузли з нескінченною відстанню та невідомим попередником, крім джерела.

Як частина процесу ініціалізації, нам потрібно призначити значення 0 вузлу A (ми знаємо, що відстань від вузла A до вузла A, очевидно, дорівнює 0), таким

чином, кожен вузол в іншій частині графіка буде вирізнятися попередником і відстанню.

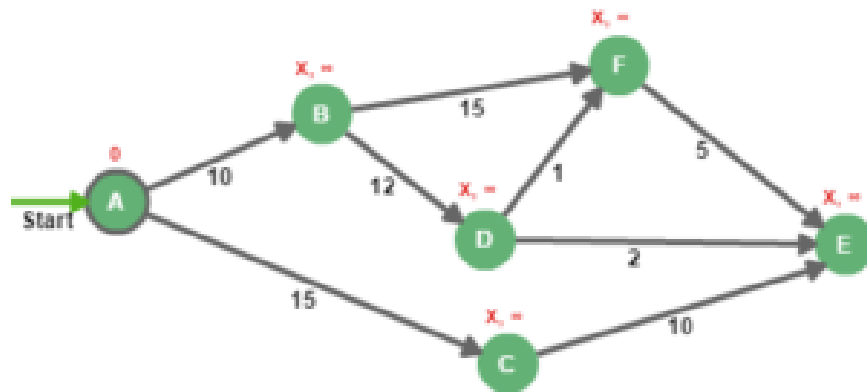


Рисунок 2.5. - Приклад пошуку маршруту.

Щоб завершити процес ініціалізації, нам потрібно додати вузол А до невирішених вузлів, налаштувати його, щоб він був обраний першим на етапі оцінки. Майте на увазі, що встановлений набір вузлів все ще порожній.

Оцінка, коли у нас ініціалізовано наш графік, ми вибираємо вузол з найменшою відстанню від невизначеного набору, а потім оцінюємо всі сусідні вузли, які не знаходяться в встановлених вузлах:

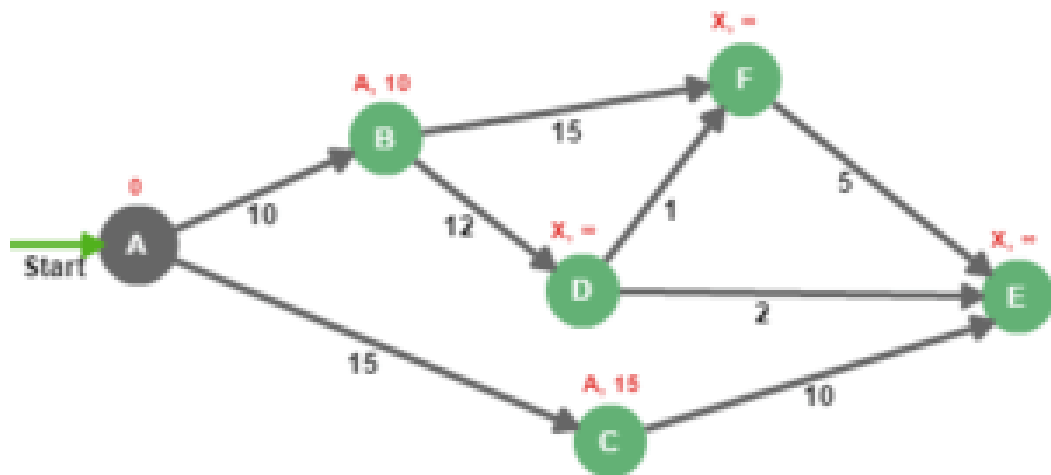


Рисунок 2.6 – Пошук маршруту.

Ідея полягає в тому, щоб додати вагу краю до відстані вузла оцінки, а потім порівняти його з відстанню до місця призначення. наприклад, для вузла В $0+10$ менше ніж INFINITY, тому нова відстань для вузла В дорівнює 10, а новий попередник – А, те саме стосується і вузла С.

Потім вузол А переміщується з встановлених невирішених вузлів до встановлених вузлів.

Вузли В і С додаються до невирішених вузлів, оскільки їх можна досягти, але їх потрібно оцінити.

Тепер, коли у нас є два вузли в невизначеному наборі, ми вибираємо один з найменшою відстанню (вузол В), потім повторюємо, доки не встановимо всі вузли на графіку:

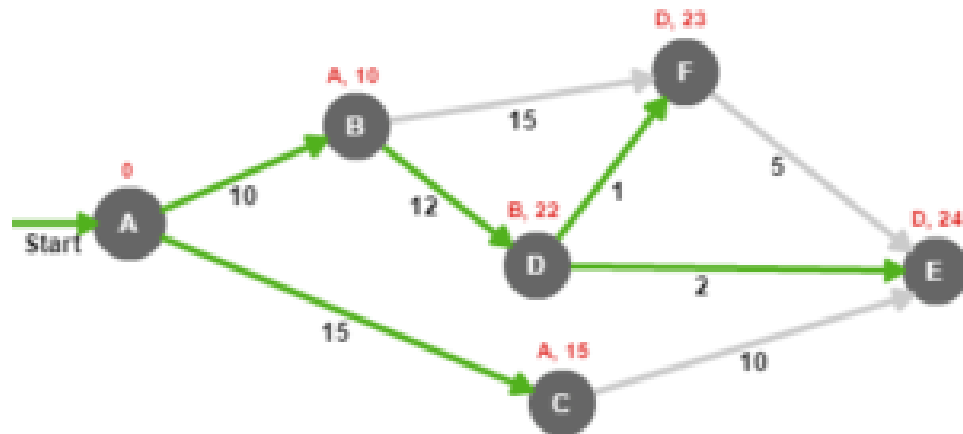


Рисунок 2.7. – Результат пошуку маршруту.

Позначення В-22, наприклад, означає, що вузол В є безпосереднім попередником із загальною відстанню 22 від вузла А [14].

Нарешті, ми можемо розрахувати найкоротші шляхи від вузла А наступним чином:

- Вузол В: $A \rightarrow B$ (загальна відстань = 10)
- Вузол С : $A \rightarrow C$ (загальна відстань = 15)
- Вузол D : $A \rightarrow B \rightarrow D$ (загальна відстань = 22)
- Вузол E : $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E$ (загальна відстань = 24)
- Вузол F : $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow F$ (загальна відстань = 23)

2.3. Метод експертних оцінок

Експертна оцінка – метод пошуку і результат застосування методу, отриманий на підставі використання власної думки одного експерта або колективної думки групи експертів, що зазвичай складається з 5-7 осіб.

Експерт – компетентна особа, яка має спеціальний досвід щодо питання, яке розглядається в конкретній галузі, та яка приймає участь в дослідженні в ролі джерела отримання необхідної інформації. З метою отримання максимально корисного результату, в якості експертів необхідно використовувати групу людей, чиї судження допоможуть прийняттю адекватного рішення. Крім того, під час вибору експертів необхідно обирати тих людей, які можуть об'єктивно оцінити ситуацію, оскільки важливо брати до уваги небезпеку особистої зацікавленості в тому чи іншому прийнятті рішення, яка може стати суттєвою перешкодою на шляху до прийняття правильного рішення. При підборі експертів важливим критерієм є їх формальний професійний статус – посада, науковий ступінь, стаж роботи та інші чинники.

Методи експертних оцінок – це методи організації роботи з фахівцями-експертами і обробки їхніх думок, з метою отримання оцінки та прогнозування майбутніх дій.

Сутність методів експертних оцінок полягає в тому, що основою прийнятого рішення чи прогнозу є думка експерта чи групи експертів, заснована на їх знаннях і практичному професійному досвіді, з урахуванням дотримання правил чесності та об'єктивності.

Від оцінки експертної групи залежить як становище певного продукту, а й бізнес компанії. Тому відбір фахівців — складне, багатогранне завдання, успішний результат якого визначає ефективність використовуваних методів та рішень. Експерт повинен мати:

- компетентністю у потрібній сфері;
- знання у суміжних галузях, які безпосередньо не належать до досліджуваного питання;
- досвідом практичної роботи, академічними та науковими досягненнями;
- об'єктивністю для формування оцінки;
- здатністю нестандартно мислити у випадках, коли це потрібно.

Спочатку для групи експертів проводиться опитування щодо певної проблеми. Після цього здійснюється обробка результатів, вихідною інформацією для якої є числові дані, які виражають переваги експертів, і змістовне обґрунтування цих переваг, з метою отримання узагальнених даних, а також нової інформації від експертів, та формування вирішення проблеми. Наявність, як числових даних, так і змістовних висловлювань експертів призводить до необхідності застосування якісних і кількісних методів обробки результатів групового експертного оцінювання. Важливість цих методів залежить від кількості та класу проблем, що вирішуються експертним оцінюванням.

Основними завданнями під час обробки результатів опитування групи експертів є:

- 1) побудова узагальненої оцінки проблеми на основі індивідуальних оцінок експертів;
- 2) побудова узагальненої оцінки на основі парного порівняння проблем кожним експертом;
- 3) визначення важливості проблеми;
- 4) визначення узгодженості думок експертів;
- 5) визначення залежностей між ранжуваннями;
- 6) оцінка надійності результатів обробки.

Для підготовки прийняття рішення, необхідно використовувати одержану від експертів інформацію в такій формі, яку було б зручно аналізувати в подальшому оцінюванні проблеми. Дуже важливо, щоб така форма подання інформації була доступною.

Існує декілька способів вимірювання досліджуваних об'єктів на основі отриманої інформації:

- Ранжування – це розташування об'єктів в порядку зростання або зменшення будь-якої притаманної їм властивості. Ранжування дозволяє вибрати з досліджуваної сукупності факторів найважливіший і розташувати певні критерії вибору в порядку переваги.

- Парне порівняння – це визначення переваги певних досліджуваних об'єктів при порівнянні всіх можливих пар. На відміну від ранжирування, тут не потрібно впорядковувати всі об'єкти, необхідно в кожній з пар виявити більш значимий об'єкт або встановити їх рівність. Парне порівняння можна проводити при великому числі об'єктів, а також в тих випадках, коли відмінність між об'єктами настільки незначна, що їх ранжування є практично нездійсненним.

- Безпосередня оцінка. Часто буває бажаним не тільки впорядкувати (ранжувати об'єкти аналізу), але й визначити, на скільки один фактор є важливішим, ніж інші. В цьому випадку діапазон зміни характеристик об'єкта розбивається на окремі інтервали, кожному з яких приписується певна оцінка (бал), наприклад, від 0 до 10. Саме тому метод безпосередньої оцінки іноді називають також бальним методом.

Для аналізу проблеми, що ґрунтується на результатах оцінок групи експертів, необхідно виконати наступні завдання:

1. визначити мету дослідження;
2. визначити необхідний склад групи експертів, враховуючи рівень підготовки кожного з них;
3. створити групу експертів;
4. визначити у який спосіб буде відбуватись проведення опитування;
5. розробити програму обстеження і анкети опитування;
6. провести опитування обраної групи експертів;
7. зібрати та проаналізувати інформацію, отриману від експертів;
8. підбити підсумки отриманих результатів експертизи, зробити певні висновки та визначити можливі варіанти вирішення проблеми з метою досягнення поставленої мети.

Експертні методи поділяються на дві групи (рис. 2.1):

1. Індивідуальні
2. Колективні



Рисунок 2.8 – Основні види методів експертних оцінок

Основою методів індивідуальних експертних оцінок – є думка одного експерта, який виступає в ролі джерела інформації. В метод індивідуальних експертних оцінок входить: метод інтерв'ю, метод анкетного опитування, перехресне опитування.

Метод інтерв'ю – форма методу, яка базується на відкритому спілкуванні між інтерв'юером та експертом. Інтерв'юер має ведучу роль, та направляє експертна для досягнення відповідей щодо подальших перспектив розвитку.

Метод інтерв'ю розділяють на 3 підтипи:

1. Вільна бесіда, коли в результаті не вимушеної бесіди, отримується інформація щодо прогнозування.
2. Питання-відповідь, звичайна форма тесту де ведучий ж направляючою силою, а експерт просто відповідає на запитання.
3. Перехресний допит, декілька інтерв'юерів задають питання експерту прагнучи отримати найточніший результат, перевіркою питань.

Основними перевагами цього методу – є оперативність отримання інформації, використання індивідуальної здібності експерта без ризику тиску на експерта з боку експерта-авторитета. Вузкопрофільність експертної оцінки – є головним недоліком цього методу

Основою методів колективних експертних оцінок – є отримання думки щодо поставленої проблеми в ході спільного обговорення проблематики. Тобто проходить консилиум групи експертів, які між собою обговорюють найкращі варіанти рішення поставленого питання. В методи колективних експертних оцінок входять: метод Дельфі, метод колективної генерації ідей, метод вільних асоціацій та інші.

Метод колективної генерації ідей (brainstrom) – базується, на окремих висловлюваннях експертів, після яких йде обговорення і прийняття колективного рішення на базі попередніх виступів.

Для якісного проведення цього методу, експертам слід дотримуватись правил:

- Учасники повинні сидіти друг до друга обличчям, щоб встановлювати зоровий контакт.
- Критика, докази, перепалки – заборонені.
- Декламація всіх ідей і навіть свідомо абсурдних.
- Виступ учасника не більше 2 хвилин.
- Весь натиск повинен йти на кількість ідей, а не на якість.

Процес цього методу:

1. Формування експертної групи.
2. Складання проблематики даного запитання.
3. Генерація ідей.
4. Систематизація ідей.
5. Критика запропонованих ідей
6. Оцінка зауважень, та прийняття доцільних ідей.

Головна перевага цього методу – отримання результату а достатньо короткий проміжок часу, з проглядом всіх ідей.

Метод Дельфі – метод що базується на інтуїтивному прогнозуванні. При використанні цього методу є можливість узагальнення думки експертів і формування єдиної групової думки. Запитання щодо поставленої проблематики повторюються декілька разів, що дає змогу мінімізувати випадкове рішення експерта.

Особливості цього методу:

а) анонімність експертів.

б) багатоетапна процедура опитування експертів за допомогою їх анкетування;

в) використання результатів попереднього туру.

В результаті обробки анкет експертів організаторами формується колективна думка. Ця інформація повідомляється експертам, їх просять переосмислити свої висловлювання і в разі незгоди пояснити причини цього. Дана процедура повторюється 3-4 рази, з метою звуження діапазону експертних висновків. Статистична характеристика групової відповіді полягає в тому, що організатори складають прогноз, що містить точку зору більшості експертів.

Недоліками цього методу є багатозатратність часових та економічних ресурсів, та неможливість мінімізувати вплив організаторів на експертів. Перевагами є точність визначення, через багат шаровість прогону теста.

Метод вільних асоціацій

Метод базується на використанні асоціацій при генерації нових ідей, за рахунок цього збільшується творча результативність, та створення нових ідей. Тобто на базі однієї асоціації може зародитись нова ідея пов'язана з реалізацією проблематики поставленого питання.

Для продуктивного використання цього методу слід придержуватись низки правил.

Для ведучого:

- Не прискорювати вирішення проблеми, а переформулювати неоднократно для створення ряду слів, які допоможуть в появі асоціацій.
- Не критикувати експертів та їх ідеї.

- Заміна слів та тем повинна змінюватись швидко.

Для експертів:

- Декламація всіх ідей та того що спадає на думку для виникнення нових асоціацій.

- Фіксація будь-яких ідей.
- Систематизація та класифікація їх.
- Вибір найкращої ідеї після закінчення цього методу.

Методи експертних оцінок є важливою часткою винайдення нових ідей. Експертні оцінки краще дають зрозуміти та визначити критерії будь-якого виконання поставленої задачі. Перевага експертних оцінок в отриманні інформації без методів аналізу, які є не досить ефективними у зв'язку з відсутністю інформації

Висновок до розділу 2

Використання економічних ресурсів, через неоптимізовані шляхи транспортування вантажу, дуже розповсюджена проблема в світі логістики. Великі компанії втрачають мільйони через погано оптимізовану систему логістика, авіаційні компанії не є виключенням в цьому питанні. Пошук оптимального маршруту та бажання мінімізації витрати економічних ресурсів на доставку вантажів за допомогою БПЛА стоїть однією із задач логістів та власників компаній сервісів доставки вантажів. Прокладення найвигіднішого маршруту дозволить економити як часові ресурси так і економічні.

Використання методу експертних оцінок допоможе максимально ефективно визначити оптимальність маршрутів на цікавій нам території. Розбиття великого маршруту на під маршрути дозволить правильно мінімізувати потенціальні загрози, які можуть зашкодити вдалості польоту. Розбиття на під маршрути вдається завдяки динамічному програмуванню.

Метод експертних оцінок, динамічне програмування та прийняття рішень в умовах невизначеності, дозволять математично оцінити потенціальний успіх в оцінці обслуговуванні людей в важкодоступній місцевості за допомогою БПЛА.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЬ ВИБОРУ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ВДАЛОЇ ДОСТАВКИ ВАНТАЖУ В ВАЖКОДОСТУПНІЙ МІСЦЕВОСТІ

3.1 Метод вибору БПЛА за допомогою експертних оцінок

Обслуговування важкодоступних місць, одна з багатьох задач, яка вирішується для забезпечення всіх благ людей, які не мають доступу до звичайної доставки через низку об'єктивних причин, а саме: віддаленість від суші, недоступність наземного транспорту, довго тривалість доставки наземним транспортом, економічна недоступність доставки наземним транспортом, більшість всіх проблем будується на недоступності маршрутів наземним транспортом, рішення цієї проблеми – безпілотна авіація, яка без ризиків для людських ресурсів, може доставляти невеликий вантаж, жителям віддалених, важкодоступних районів.

Ефективність обслуговування залежить від швидкості доставки, доступності використання БПЛА, економічної складовою доставки, періодичністю. Для обслуговування людських потреб в важкодоступній місцевості потрібно обрати максимально «комфортний» для перевезення вантажу БПЛА. Від вибору БПЛА залежить:

- Швидкість доставки
- Кількість вантажу
- Економічність доставки

Від правильності вибору БПЛА, буде залежит скільки жителі важкодоступної місцевості можуть заощадити та не переплачувати за свої бажання, або потреби.

Було обрано 4 БПЛА, які потенціально можуть успішно виконувати обслуговування важкодоступної місцевості:

1. DJI Matrice 200 – дрон компанії DJI, створене для виконання комерційних та індустріальних задач, за допомогою навісного обладнання:

моніторинг, ортофотоплан, сканування місцевості, доставка малогабаритних грузів [15].

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики DJI MATRICE 200

Розміри	883x886x398 мм
Вага	4.69 кг
Корисне навантаження	1.5 кг
Швидкість	До 15 м/с
Час польоту	30 хв
Дальність польоту	До 6 км
Висота польоту	До 1500 м

2. БпАК А1-СМ «Фурія» - БПЛА літакового типу створений українською компанією «Атлон Авіа» військових потреб. Використовується для розвідки та коригування цілей в даний момент на сході України [16].

Таблиця 3.2 -Технічні характеристики «Фурії»

Розміри	1060 мм/ 1600 мм
Вага	5.5 кг
Корисне навантаження	1.5 кг
Швидкість	До 35 м/с
Час польоту	До 2 год.
Дальність польоту	До 200 км
Висота польоту	До 2100 м

3. SICONIA VTOL - БПЛА створений українською компанією «ДЕВІРО» для військових, індустріальних та комерційних місій. В цьому БПЛА застосована технологія VTOL – система вертикального зльоту та посадки, що дає ряд переваг, над простими БПЛА літакового типу [17].

Технічні характеристики:

Таблиця 3.3 Тех.характеристики Ciconia VTOL

Розміри	1135/2460 мм
Вага	7.2 кг
Корисне навантаження	1.5 кг
Швидкість	До 35 м/с
Час польоту	1,5 – 4 год.
Дальність польоту	100 км
Висота польоту	До 1500 м

4. PD-2 VTOL – БПЛА створений компанією «Укрспецсистем» для багатоцільового виконання задач. Використовується в військових операціях та цивільних. Компанія «Нова Пошта» використовує цей БПЛА для доставки вантажу на дальні дистанції [18].

Технічні характеристики:

Таблиця 3.4 Тех.характеристики PD-2 VTOL

Розміри	1800/2460 мм
Вага	44 кг
Корисне навантаження	11 кг
Швидкість	До 35 м/с
Час польоту	8 год.
Дальність польоту	800 км
Висота польоту	До 4500 м

Для визначення максимально ефективного БПЛА для обслуговування важкодоступних районів ми використовується метод експертних оцінок.

Загальна постановка завдання ПР за наявності безлічі альтернатив і великого числа критеріїв (не завжди погоджених між собою і часом суперечливих), виглядає таким чином:

- є деяка безліч альтернатив A , причому кожна альтернатива a характеризується певною сукупністю властивостей a_1, a_2, \dots, a_n ;

- є сукупність критеріїв $q = (q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n)$, що відбивають кількісну безліч властивостей системи, тобто кожна альтернатива характеризується вектором $q(a) = [q_1(a), q_2(a), \dots, q_i(a), \dots, q_n(a)]$;

- необхідно прийняти рішення про вибір однієї з стратегій, причому рішення називається простим, якщо вибір робиться за одним критерієм, і складним, якщо вибрана альтернатива не є найкращою за якимсь одним критерієм, але може виявитися найбільш прийнятною для усієї їх сукупності;

- завдання ПР по вибору альтернативи на безлічі критеріїв формально зводиться до відшукування відображення φ , яке кожному вектору ставить у відповідність дійсне число $F = \varphi(q) = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n)$, що визначає міру переваги цього рішення.

Оператор φ називають інтегральним (узагальненим) критерієм. Інтегральний критерій привласнює кожному рішенню по вибору альтернативи відповідне значення ефективності F . Це дозволяє упорядкувати безліч рішень по мірі переваги. Існує безліч методів формування узагальнених критеріїв, але більшість з них побудована на основі формальних правил і не враховує цінність, корисність окремих критеріїв φ , використовуваних при рішенні задачі вибору альтернативи. При побудові узагальненого показника ефективності відповідно до теорії корисності об'єднання критеріїв φ робиться найчастіше на основі адитивного перетворення

$$F = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \sum_{i=1}^n w_i q_i. \quad (3.1)$$

Адитивна форма критеріальної функції, що представляє суму показників якості, приведені до єдиного масштабу, є найбільш зручною і простою формою оцінки.

Один з можливих шляхів рішення задачі полягає в наступному. Кожен j -й експерт спочатку визначає набір чисел C_{ij} , що відбивають його думку відносно цінність i -го критерію, причому числа записані в довільному масштабі. Потім вони масштабуються, в результаті чого отримуємо

$$w_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^n C_{ij}}; \quad \sum_{i=1}^n w_{ij} = 1. \quad (3.2)$$

Остаточні значення коефіцієнтів обчислюються в результаті усереднювання значення w_{ij} , отримуваних від усіх експертів. Якщо компетентність експертів в групі вважається однаковою, то

$$w_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m w_{ij}. \quad (3.3)$$

Якщо ж компетентність j -го експерта оцінюється числом g_j , $\sum_{j=1}^m g_j = 1$, то

$$w_i = \sum_{j=1}^m g_j w_{ij}. \quad (3.4)$$

Один з методів формування коефіцієнтів C_{ij} , що відображають думку j -го експерта про цінність i -го критерію, полягає в тому, що спочатку кожен експерт проводить *ранжування* усіх критеріїв, тобто упорядковує їх відповідно до відносної цінності так, що на першому місці знаходиться найголовніший критерій. Перехід від рангів до коефіцієнтів C_{ij} робиться на основі гіпотези про лінійну залежність між рангом і відотною цінністю критерію. Чим нижче ранг, тим важливішим є відповідний критерій. Визначення коефіцієнтів C_{ij} для довільного r_{ij} робиться відповідно до наступної формули:

$$C_{ij} = 1 - \frac{r_{ij} - 1}{n}. \quad (3.5)$$

Розглянемо алгоритми застосування методу експертних оцінок та визначення вагових коефіцієнтів.

Алгоритм №1

застосування методу експертних оцінок

1. Розроблення анкети для експертного опитування і проведення експертного опитування
2. Будова матриці індивідуальних переваг $A_{n \times n} = (a_{ij})$ ($i=1, n$)
3. Визначення системи індивідуальних переваг j -го експерта:

$$R_j = R_1 \square R_2 \square_3 \square \dots, j=1,n \quad (3.6)$$

4. Будова матриці групових переваг:

$$A_{n \times m} = (a_{ij}) \quad (i=1,n, j=1,n) \quad (3.7)$$

5. Визначення системи групових переваг $R_{\text{гдо}} = R_1 \square R_2 \square_3 \square R_4 \square R_5 \square \dots$ за середнім значенням рангів параметрів групи:

$$R_{\text{грj}} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} \quad (3.8)$$

6. Визначення міри узгодженості групи експертів

5.1 Дисперсія:

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^m (R_{\text{грj}} - R_i)^2}{m-1} \quad (3.9)$$

5.2 Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_j = \sqrt{D_j} \quad (3.10)$$

5.3 Коефіцієнт варіації:

$$v_j = \frac{\sigma_j}{R_{\text{грj}}} \bullet 100\%$$

Якщо $v < 33\%$ - думки експертів узгоджені, якщо $v > 33\%$ - думки експертів неузгоджені, необхідно повторити експертне опитування або скористатися коефіцієнтом конкордації Кендалла для визначення узгодженості думок експертів за усіма параметрами (процедурам):

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j} \quad (3.11)$$

де t_j - число однакових рангів в j -м рядку, що виставив j -й експерт:

$$T_j = \sum (t_i^3 - t_i) \quad (3.12)$$

дисперсія (загальна):

$$S = \sum \left(\sum_{i=1}^m R_{ij} - \bar{R} \right)^2 \quad (3.13)$$

середня сума рангів за кожним параметром:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m R_{ij} \quad (3.14)$$

Якщо $W = 0,6..0,7$ - узгодженість думок експертів - висока, якщо $W < 0,6$ – необхідно повторити експертне опитування.

7. Визначення статистичної значущості коефіцієнту конкордації W за критерієм χ^2

$$\chi_{\phi}^2 = \frac{S}{\frac{1}{2}m(n+1) - \frac{1}{12(n-1)} \sum_{j=1}^m R} > \chi_t^2 \quad (3.15)$$

8. Знаходження коефіцієнта рангової кореляції Спірмена для визначення узгодженості j -го експерта та групи експертів:

$$r_{s_1} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3.16)$$

Таблиця 3.1 – Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена

Ранги		Параметри, що оцінюються			
		r_1	r_2	r_3	r_4
Rгр- ранги групи	x_i				
R_i –ранги i -го експерта	y_i				

9. Статистична значущість коефіцієнта рангової кореляції Спірмена за критерієм Стьюдента

$$t_{\phi} = r_s \sqrt{\frac{n-2}{1-r_s^2}} > t_{st} \quad (3.17)$$

10. Отримання моделі значущості досліджуваних параметрів за узгодженою системою групових переваг експертів:

$$R_{\bar{a}\bar{d}} = R_1 \square R_2 \square_3 \square R_4 \square R_5 \square \dots \quad (3.18)$$

11. Кінець задачі

Алгоритм №2

визначення вагових коефіцієнтів

1. Визначення системи групових переваг експертів $R_{\bar{a}\bar{d}} = R_i \square R_{i+j} \dots$ за алгоритмом №1

2. Визначення вагових коефіцієнтів:

$$\omega_i = \frac{C_i}{\sum_{j=1}^n C_j}, \quad (3.19)$$

де, $C_i = 1 - \frac{R_{ij} - 1}{n}$ - оцінка, що отримана за припущенням гіпотези про лінійну залежність між рангом і відносною цінністю параметру;

R_{ij} - ранг i -го параметру j -го експерту ($R_{i\text{гр}}$ – ранги групи експертів).

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1,$$

3. Графічна інтерпретація вагових коефіцієнтів

Експерти				
	DJI MATRICE 200	"Фурія"	"ПД-2 ВТОЛ"	"Циконія ВТОЛ"
	w1	w2	w3	w4
1	2	4	1	3
2	1	4	2	3
3	2	3	1	4
4	1	4	2	3
5	2	3	1	4
Rgp	1,6	3,6	1,4	3,4
Di	0,3	0,3	0,3	0,3
δ_i	0,5477225575	0,5477225575	0,5477225575	0,5477225575
$v_i, \%$	34,23265984	15,21451549	39,12303982	16,10948699
C	0,85	0,35	0,9	0,4
w	0,34	0,14	0,36	0,16

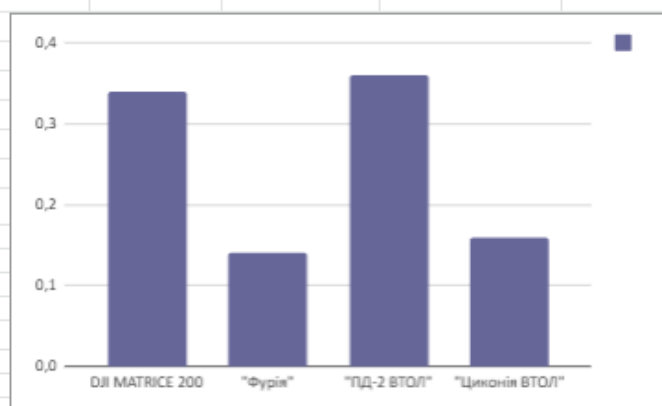


Рисунок 3.1 - Кінцева таблиця оцінки експертів

Використання формул в програмі Excel дають нам змогу калькулювання всіх необхідних даних за допомогою внесення їх до таблиці. Після внесення даних ми отримали кінцеву таблицю експертних оцінок та заключення.

За допомогою метода експертних оцінок був обраний найефективніший БПЛА для обслуговування важкодоступних районів .

3.2. Пошук маршруту БПЛА мінімальної вартості

Планування траєкторії доставки товару за допомогою БПЛА є ключовою функцією для забезпечення того, щоб БПЛА могли успішно виконувати завдання. В основному це стосується планування оптимальної траси польоту для БПЛА від початкової точки до цільової точки, яка задовольняє обмеження власних очікувань БПЛА та навколишнього середовища. Крім того,

оптимізований шлях гарантує успішне завершення місії з мінімальною вартістю. Для визначення таких маршрутів, ми використовуємо динамічне програмування.

Динамічне програмування - метод оптимізації, який перетворює складні задачі на прості та формує етапи, де на кожному етапі приймається рішення. Рішення всіх етапів утворюють сукупність взаємопов'язаних і послідовних рішень які орієнтують на остаточне рішення.

Для того, щоб нам визначити оптимальний маршрут, нам потрібно розбити цю траєкторію на короткі відстані, і дати їм експертну оцінку, спираючись на навколишні фактори, які є на цьому маршруті, наприклад:

- Метеоумови.
- Рельєф.
- Будови, які можуть погано впливати на політ.
- Відсутність місць для посадки системою ВТОЛ.

Ми обираємо маршрут який, нас цікавить. Мукачево – Вишків протяжністю 100 км, який має достатньо складну рельєфну будову.

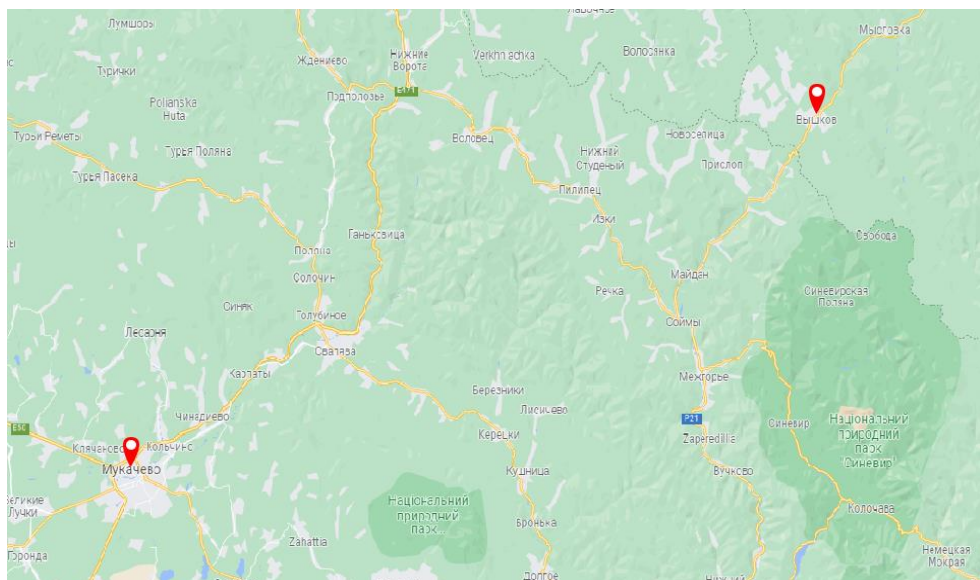


Рисунок 3.2 – Маршрут доставки вантажу

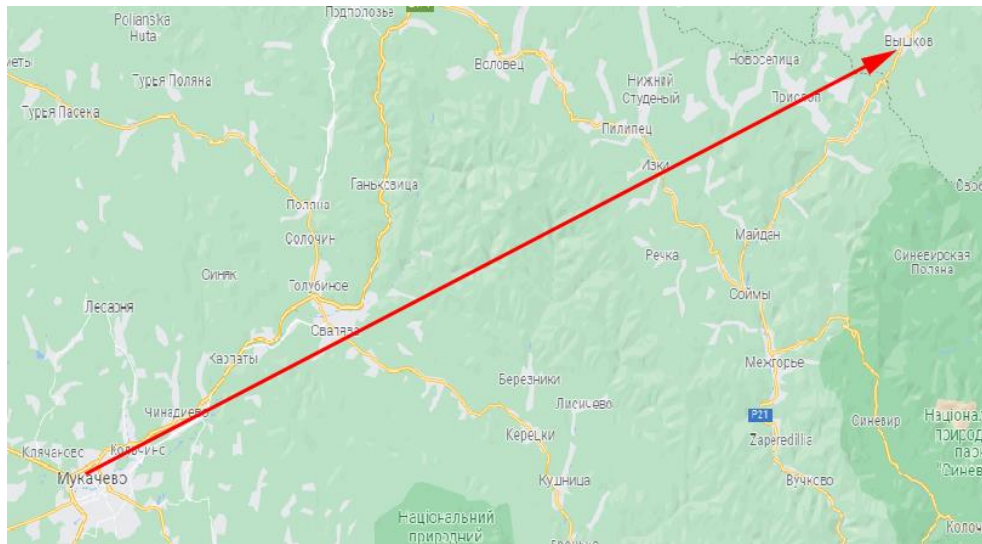


Рисунок 3.3 - Маршрут доставки вантажу

Обраний маршрут, ми розбиваємо на підмаршрути, для оцінки кожної ділянки, щоб визначити найоптимальніший маршрут. Оцінку кожної ділянки маршруту, буде надавати група експертів.

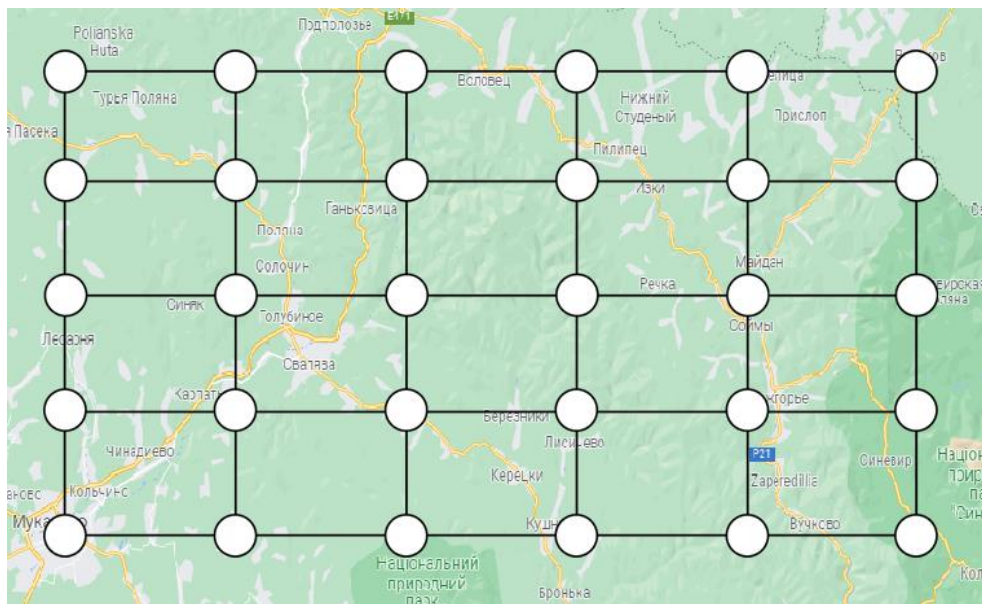


Рисунок 3.4 - Сітка розбиття маршруту

Для оцінки експерти будуть користуватись таблицею відповідних оцінок кожного потенційно небезпечного об'єкта. Так як проводиться політ поблизу гірської місцевості, набір висоти БПЛА також буде враховуватись в оцінку кожної ділянки маршруту. Так як БПЛА буде летіти досатньо низько в відношенні до регулярних авіарейсів, експерти не будуть враховувати маршрути, оскільки вони на такій висоті не розташовуються.

Таблиця. 3.5 - Критерії оцінки маршрутів

Назва	Оцінка
Заборонна зона	10
Набір висоти за кожні 100м	2
Інфраструктура	5
Дерева	2
Метеоумови	3
Населенні пункти	8

Спираючись на рельєфні умови, відстань, та інші критерії, експерти оцінили кожен участок маршруту.

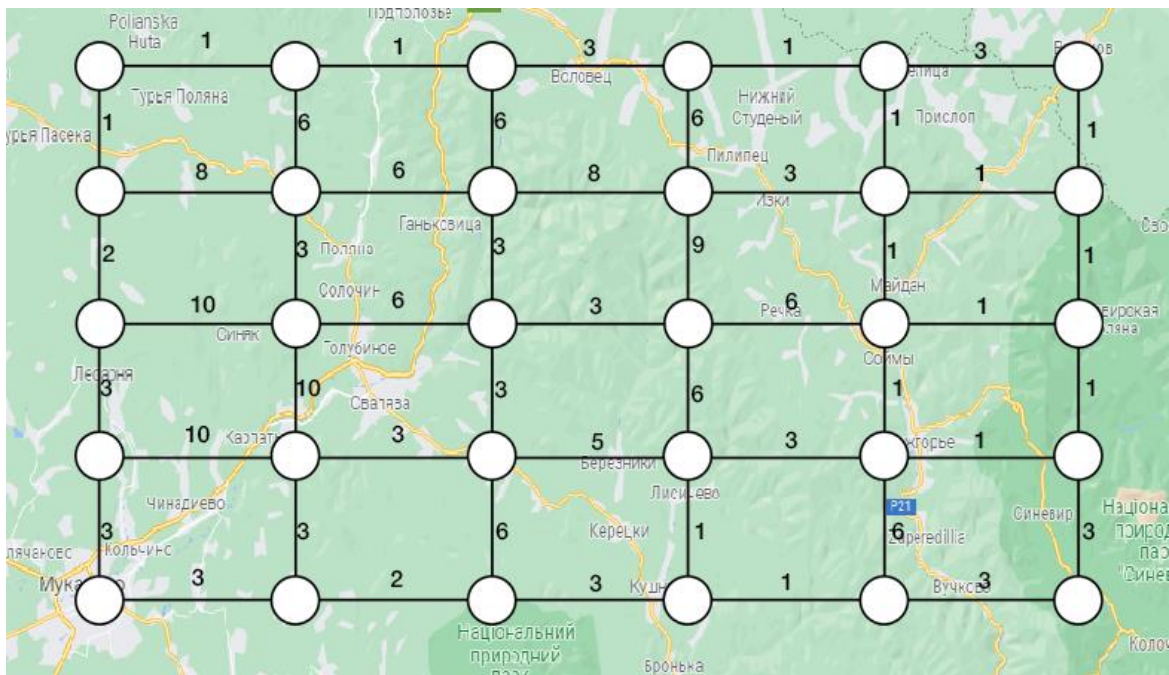


Рисунок 3.5 - Оцінка маршруту експертами

Після отримання результатів від групи експертів ми обираємо найбільш оптимальний маршрут, використовуючи динамічне програмування(схему зворотної прогонки).

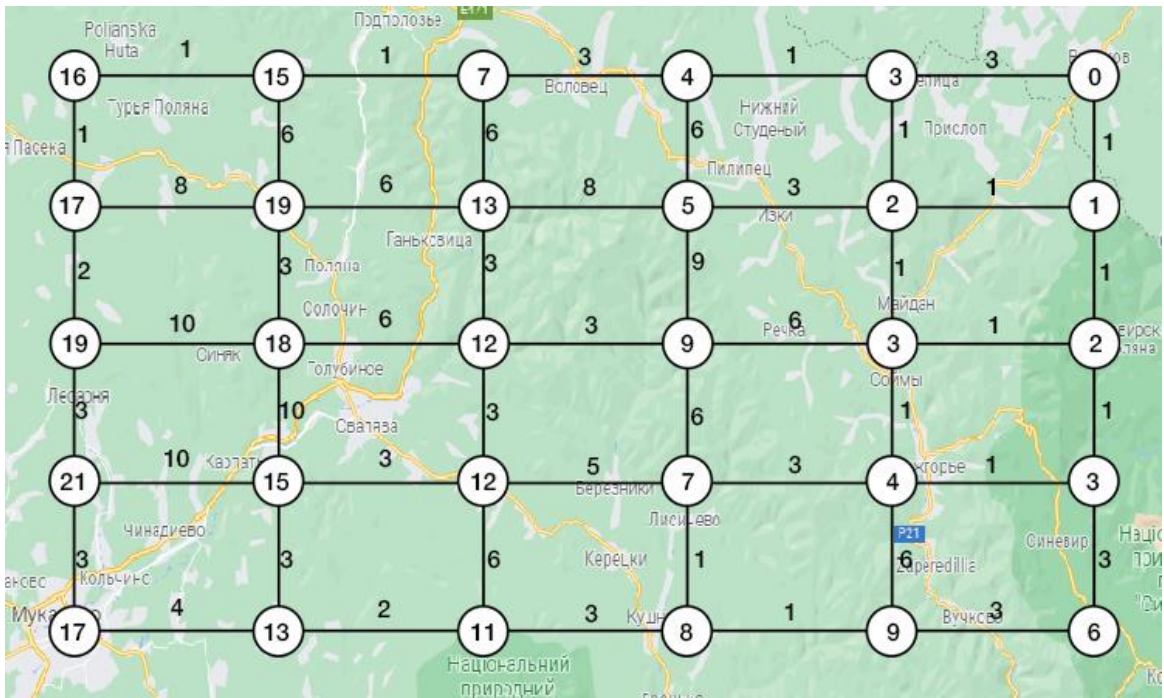


Рисунок 3.6 - Обрахований маршрут

Так за допомогою динамічного програмування та експертних оцінок було визначено маршрут мінімальної вартості від Мукачєво до Вишків.

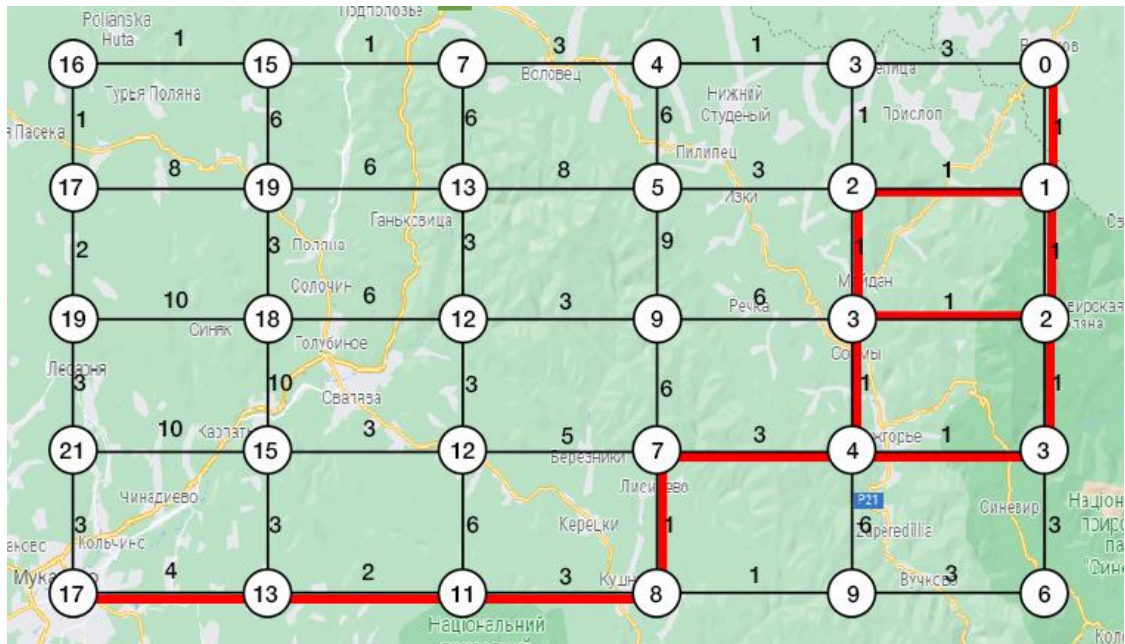


Рисунок 3.7 - Оптимальний маршрут

Експертні оцінки в купі з динамічним програмуванням, дають змогу аналізу оптимальності маршрутів з мінімальними ризиками та з високою вірогідністю покращають успіх доставки вантажу.

3.3 Виникнення аварійних ситуацій та їх рішення, прийняття рішень в умовах невизначеності.

Аварійна ситуація – це ситуація, коли безпека повітряного судна або осіб на борту або на землі загрожує з будь-якої причини.

Ненормальна ситуація – це ситуація, в якій більше неможливо продовжити політ, використовуючи звичайні процедури, але безпеці повітряного судна чи людей на борту або на землі це не загрожує.

Аварійні або ненормальні ситуації можуть виникнути в результаті одного або кількох факторів всередині або за межами повітряного судна, наприклад:

- Пожежа на борту літака;
- Несправність компонентів літака (наприклад, несправність двигуна, несправність шасі або втрата тиску);
- Нестача палива (або іншої необхідної споживаної речовини);
- Погіршення погоди ;
- Пілот недієздатність (наприклад , в результаті хвороби);
- Пошкодження літака (наприклад, в результаті зіткнення, зіткнення птахів або екстремальних погодних умов;
- Незаконна діяльність (наприклад, загроза вибуху, навмисне пошкодження або крадіжка).

Надзвичайна або ненормальна ситуація може призвести до неможливості продовження рейсу до пункту призначення, як було заплановано, що призведе до одного або кількох наступних наслідків:

- Втрата висоти;
- Посадка на найближчий аеродром;
- Вимушена посадка.

Використання БПЛА знижують вірогідність пошкодження людей, при виникненні надзвичайної ситуації, через відсутність пілота на борту БПЛА. Але використання БПЛА не є надто безпечним. Надзвичайні ситуації, які

трапляються на борту БПЛА, можуть призвести до падіння судна. Тому для мінімізації ризиків польоти над населеними пунктами забороняються.

Надзвичайні ситуації з бортом БПЛА.

- Пожежа на борту спричинена, замкненням проводів, або виходом зі строю двигуна внутрішнього згоряння.
- Несправність компонентів БПЛА.
- Нестача палива (протікання баку, або халатність інженерів).
- Пошкодження літака (птахи, метеоумови).

При виникненні однієї з таких ситуацій на борту БПЛА, потрібно оцінити стан БПЛА, чи може продовжувати він місію, чи може він повернутись на місце зльоту завдяки системі RTL, або йому потрібна негайна посадка.

Режим RTL – функція автопілоту, яка дозволяє повернути БПЛА на місце його зльоту. Для правильної роботи режиму RTL необхідна надійна оцінка положення, яка найчастіше забезпечується GPS і компасом. Перевірка попереднього положення за промовчанням забезпечить отримання тривимірного GPS-блокування з достатньою кількістю HDOP [19].

RTL дасть команду БПЛА повернутися на вихідну позицію, тобто він повернеться до місця, де був армований. Тому вихідне положення завжди має бути фактичним місцем зльоту вашого БПЛА GPS, без перешкод і подалі від людей. Тобто виконання цієї функції буде повномірно покладене на автопілот БПЛА, де оператор буде слідкувати за датчиками та показниками стану БПЛА.

Виникнення ситуацій в яких необхідна негайна посадка.

При виникненні однієї з таких ситуацій на борту БПЛА, подальші дії будуть проводитись оператором БПЛА в ручному режимі за допомогою каналу відеозв'язку. Тобто оператор за допомогою наземної станції керування буде заводити БПЛА на посадку та приймати рішення щодо вибору місцевості. Негайна посадка БПЛА літакового типу з парашутною системою, вирішується двома способами:

- Зниження висоти та посадка за допомогою парашуту.

- У разі відмови парашутної системи, або неможливості використання її через погодні умови, виконується посадка БПЛА по-літаковому, попередньо обравши місце посадки.

Для вдалої посадки БПЛА за допомогою парашута - потрібно обирати максимально сприятливе для посадки місце, в якому концентрація предметів, або об'єктів які можуть зачепитись за парашут буде мінімальною, тобто потрібно обирати достатньо великі практично бездоганно рівні ділянки поверхні землі, для вдалої посадки.

Вдала посадка по-літаковому потребує також великих ділянок бездоганної поверхні землі, яка унеможливить виникнення пошкоджень БПЛА. Ці методи посадки не гарантують збереження цілісності БПЛА та вантажу, через аеродинамічні та фізичні властивості польоту БПЛА.

Використання БПЛА з вертикальною системою зльоту та посадки(VTOL), збільшить вірогідність збереження цілісності БПЛА та вантажу, в разі негайної посадки.

Система (VTOL) - літак, здатний злітати і сідати за нульової горизонтальної швидкості, використовуючи тягу двигуна, спрямовану вертикально [20].

При виникненні надзвичайної ситуації, тобто коли автопілот отримує інформацію про нестабільність роботи, якогось із вузлів БПЛА, та буде вважати, що це завадить продовженню місії по маршруту, він автоматично ввімкне систему (VTOL), яка вертикально буде знижувати БПЛА, до повної посадки борта. БПЛА з системою (VTOL), не такий примхливий до вибору місця посадки. Клаптик рівної поверхні землі перевищуючий розмах крил в півтора рази.

Посадка з системою (VTOL) також відбувається в ручному режимі. Для пошуку сприятливої ділянки оператор БПЛА, фактично керує БПЛА, як дроном.

Q_LOITER – функція автопілота, яка допомагає зависати літаку надо однією точкою кружляючи по радіусу [21].

Алгоритм вибору оптимального рішення при виникненні аварійного випадку.(ОБРАТИ)

1. Формування набору альтернативних рішень {A}:

$$\{A\} = \{A_{\text{приб}} \cup A_{\text{відп}} \cup \{A_A\}\} = \{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n\},$$

де $A_{\text{приб}}$ - альтернативне рішення про здійснення посадки в місці прибуття;

$A_{\text{відп}}$ - альтернативне рішення про здійснення посадки в місці відправлення;

$\{A_A\}$ - сукупність варіантів прийняття рішень.

2. Формування сукупності факторів (природних станів) $\{\lambda\}$, що впливають на рішення у разі вибору дій

$$\{\lambda\} = \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_j, \dots, \lambda_m,$$

де λ_1 – ефективність;

λ_2 – економічність;

λ_3 – тривалість;

λ_4 – доступність;

λ_5 – безпечність;

3. Формування набору можливих результатів $\{U\}$, що впливають на альтернативне рішення при виборі дій:

$$\{U\} = U_{11}, U_{12}, \dots, U_{ij}, \dots, U_{nm},$$

де U_{ij} - можливі результати, які були визначені методом експертних оцінок за рейтинговими шкалами відповідно до нормативних актів.

4. Формування матриці рішення $M = \parallel M_i \parallel$ (Таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 – Матриця можливих ПР при виборі оптимального ЗА

Альтернативні рішення		Фактори, що впливають на прийняття рішення					
		λ_1	λ_2	...	λ_j	...	λ_m
A_1	$A_{\text{приб}}$	u_{11}	u_{12}	...	u_{1j}	...	u_{1n}
A_2	$A_{\text{відп}}$	u_{21}	u_{22}	...	u_{2j}	...	u_{2n}
...
A_i	A_A	u_{i1}	u_{i2}	...	u_{ij}	...	u_{in}
...
A_n	A_A	u_{n1}	u_{n2}	...	u_{nj}	...	u_{nn}

5. Вибір оптимального запасного аеродрому у разі вимушеної посадки здійснюється методами прийняття рішень в умовах невизначеності (табл. 3.3). Вибір критерію прийняття рішень в умовах невизначеності проводиться відповідно до типу польоту та включає:

- а) критерій Вальда (В);
- б) критерій Лапласа (Л);

Таблиця 3.7 – Матриця можливих результатів рішень із введеними даними

Альтернативні Рішення		Фактори, що впливають на прийняття рішення				
		Ефективність	Економічність	Тривалість	Доступність	Безпечність
1	A _{відп}	U11	U12	U13	U14	U15
2	A _{приб}	U21	U22	U23	U24	U25
3	A _{Аа1}	U31	U32	U33	U34	U35
4	A _{Аа2}	U41	U42	U43	U44	U45
5	A _{Аа3}	U51	U52	U53	U54	U55
6	A _{Аа4}	U61	U62	U63	U64	U65

Критерій Вальда заснований на принципі "консервативного ставлення" і застосовується, якщо необхідно знайти гарантоване рішення у випадку первинного польоту:

Він базується на обережній поведінці людини, яка приймає рішення, і зводиться до вибору найкращих альтернатив з гірших. Найкраще рішення для критерію Вальда визначається правилом:

$$A^* = \max_{A_i} \left\{ \min_{B_j} u_{ij}(A_i, B_j) \right\} \quad (3.21)$$

Критерій Лапласа базується на принципі "недостатньої причини" і застосовується у випадку регулярного польоту:

$$A^* = \max_{A_i} \left\{ \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n u_{ij}(A_i, B_j) \right\} \quad (3.22)$$

Розглянемо варіанти прийняття рішення при аварійній ситуації зміна метеоумов (на маршруті почався легкий дощ) під час доставки вантажу за допомогою БПЛА довжиною 100 км з міста Мукачево до Вишкова. Варіанти щодо прийняття рішень у нас будуть: Повернення на місце відправлення, продовження маршруту до кінцевої точки і посадка, вимушена посадка за допомогою VTOL, включення режиму Q_LOITER для часткового рішення проблеми.

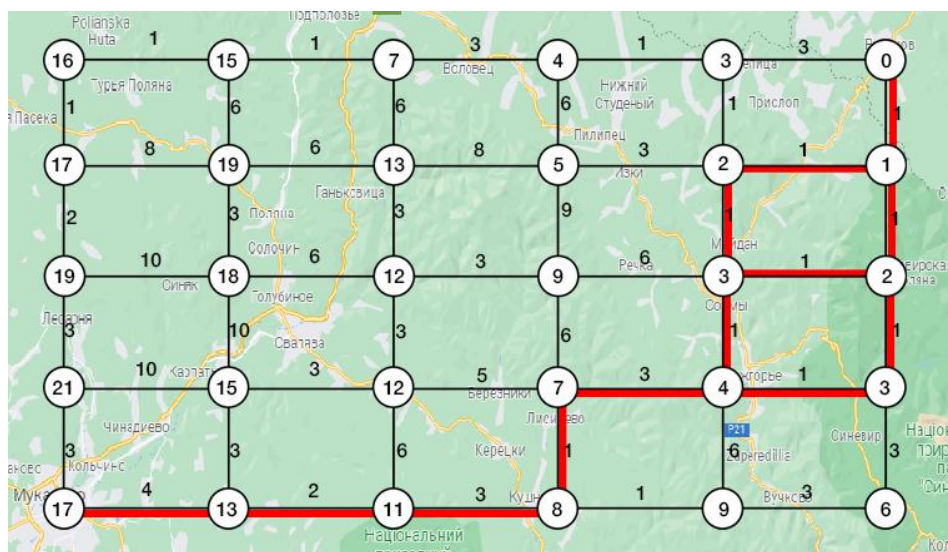


Рисунок 3.8 – Оптимальний маршрут

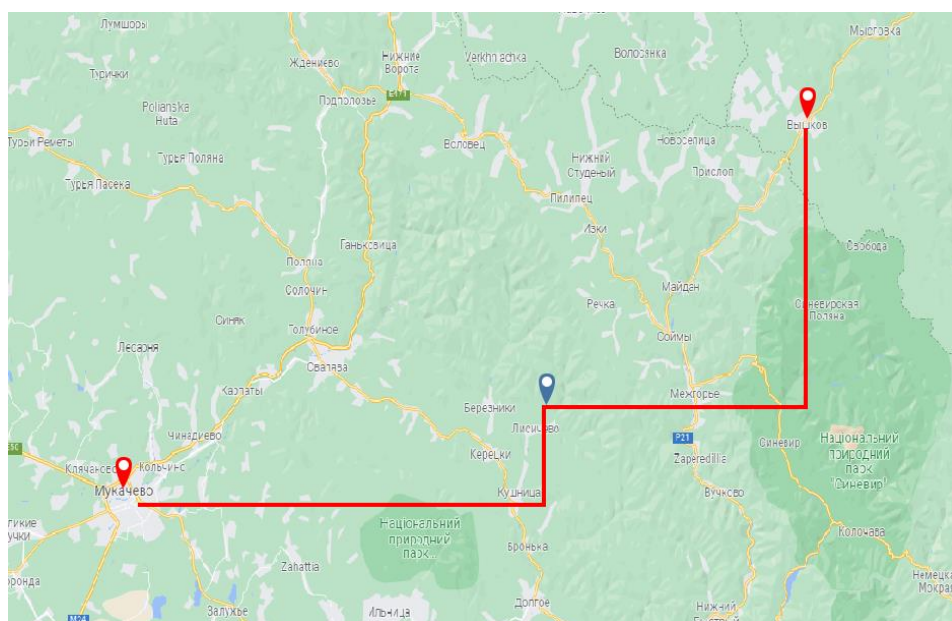


Рисунок 3.9 Обраний оптимальний маршрут

Таблиця 3.8 - Фактори впливаючі на рішення

Альтернативи Рішення		Фактори, що впливають на прийняття рішення				
		Ефективність	Економічність	Тривалість	Доступність	Безпечність
1	А Повернення	1	1	2	6	10
2	А Прибут	10	4	2	2	1
3	А Вимуш на посадка TOL	4	8	6	10	7
4	А Профіл ктика _LOITER	6	10	7	10	6

Вибір критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності під час вибору ЗА для операції повернення та у випадку погіршення метеорологічних умов на етапі планування передпольотної інформації:

Критерій Вальда. Використовуючи критерій Вальда кожна дія оцінюється за найгіршим станом для цієї дії і найоптимальнішою є та, яка призводить до найкращого з найгірших станів. Даний критерій використовує оціночну функцію, що відповідає позиції крайньої «обережності». Оптимальне рішення за критерієм Вальда визначається за максимінним правилом, забезпечує гарантійний результат і повністю виключає ризик.

Отримане рішення дає гарантований результат – найкраще рішення з найгірших альтернатив, A_3^* – Київ.

$$A^*_i = \max_i \min_j \{U_{ij}\} = \max \{A_1, A_2, A_3, A_4\} = \max \{1, 1, 4, 6\} = A_4 = 6,$$

$$\text{де } A^*_1 = \min\{1, 1, 2, 6, 10\} = 1;$$

$$A^*_2 = \min\{10, 4, 2, 2, 1\} = 1;$$

$$A^*_3 = \min\{4, 8, 6, 10, 7\} = 4;$$

$$A^*_4 = \min\{6, 10, 7, 10, 6\} = 6;$$

Критерій Лапласа. Якщо ймовірності станів метеорологічних умов правдоподібні, для їхньої оцінки використовується критерій Лапласа, згідно з яким всі стани погоди вважаються рівно ймовірними.

Цей критерій застосовується у випадках, якщо людина часто приймає рішення або якщо всі фактори вважаються рівними. Критерій Лапласа є критерієм недостатнього обґрунтування і доцільний в випадках регулярного рейсу, тобто коли ризик мінімальний. Оптимальне рішення в даному випадку визначається за правилом.

$$A = \max_{A_i} \left\{ \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n u_{ij} (A_i, B_j) \right\} = \quad (3.23)$$

$$\max \left\{ \frac{1 + 1 + 2 + 6 + 10}{5} + \frac{10 + 4 + 2 + 2 + 1}{5} + \frac{4 + 8 + 6 + 10 + 7}{5} + \frac{6 + 10 + 7 + 10 + 6}{5} \right\} = \max\{4.0, 3.8, 7.0, 7.8\} = A_4$$

де $n = 5$ – кількість факторів, що впливають на вибір аеродрому.

Оптимальним рішенням є A_4 – прийняття рішення оператора БПЛА профілактика в Q_LOITER та продовження польоту при очікуваному погіршенні метеоумов:

$$A^{4*} = \max \{4.0, 3.8, 7.0, 7.8\} = 7.8$$

Отже, результати оптимального прийняття рішень вибору запасного аеродрому за даними критеріями виглядають наступним чином:

- за критерієм Вальда – профілактика в Q_LOITER;
- за критерієм Лапласа – профілактика в Q_LOITER;

Висновок до розділу 3

Оптимальність обслуговування важкодоступних районів за допомогою є головним завданням. Тому, для якості доставки вантажу необхідно взяти до уваги такі умови:

- Вибір найоптимальнішого БПЛА
- Вибір оптимального маршруту
- Прийняття рішень в разі аварійної ситуації

Методика експертних оцінок, допомогла нам визначити найбільш зручний БПЛА для доставки вантажу, розробка експертної системи, яка буде мати базу даних про всі БПЛА, дасть можливість обирати БПЛА для окремих задач.

Вибір оптимального маршруту є одним з головних завдань при виконанні доставки вантажів в важкодоступні райони за допомогою БПЛА в економічному аспекті. Завдяки вибору найбільш оптимального маршруту, компанія перевізник доб'ється економічності, швидкості та безпечності, що напряду вплине на вартість доставки для населення. Динамічне програмування в купі з методом експертних оцінок, дозволило обрати найоптимальніший маршрут, що в періодичному обслуговуванні даного району, допоможе зекономити велику кількість коштів.

З метою забезпечення безпеки було розглянуто прийняття рішень в умовах невизначеності при виникненні аварійної ситуації. Для прийняття оптимальної дії було використано критерій Вальда та критерій Лапласа.

Максимальну ефективність критерій Вальда ми отримуємо в разі виконання нерегулярних польотів БПЛА, що дає найкраще рішення серед найгірших альтернатив.

Критерій Лапласа найкраще підходить для прийняття рішень при періодичному виконанні польотів БПЛА, що допоможе нам в майбутньому, при розвитку доставки вантажів за допомогою БПЛА.

РОЗДІЛ 4. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ ОПЕРАТОРА БПЛА

4.1 Інтеграція ЕС та СППР для ефективного вибору та оптимізації експлуатації БПЛА в аварійній ситуації

Розробка єдиної системи, яка буде здійснювати підтримку та вибір рішень для операторів БПЛА та визначати ефективність використання БПЛА, буде значним кроком для інтеграції БПЛА в «інфраструктуру» світу.

Використання цієї системи дозволить оцінювати ефективність використання БПЛА для виконання будь-яких місій. Доставка, діагностика, аналіз і т.д. Надання оцінок експертною системою, дозволить створити максимально кількісну базу з інформацією про виконання кожного завдання та за запитом користувача, обирати найбільш вдалий варіант обслуговування людської потреби серед всіх варіантів, які були виконанні впродовж всього часу.

Впровадження в цю систему СППР в аварійних ситуаціях, збільшить потенціальну безпечність виконання польотів БПЛА, та зменшить ризики провалу місій на етапі її виконання. Використання СППР допоможе частково зняти вину з оператора БПЛА, при траплянні аварійної ситуації під час виконання місії [22].

Для розробки цієї системи пропонується інтегрування ЕС та СППР в єдину систему. Головні задачі цієї системи:

- Підтримка операторів БПЛА при траплянні аварійної пригоди
- Прийняття рішень в аварійних ситуаціях з БПЛА
- Оцінка ефективності використання БПЛА
- Надання інформації про ефективність використання БПЛА в окремій місії, та допомога користувачеві в виборі послуг БПЛА з максимальною ефективністю.

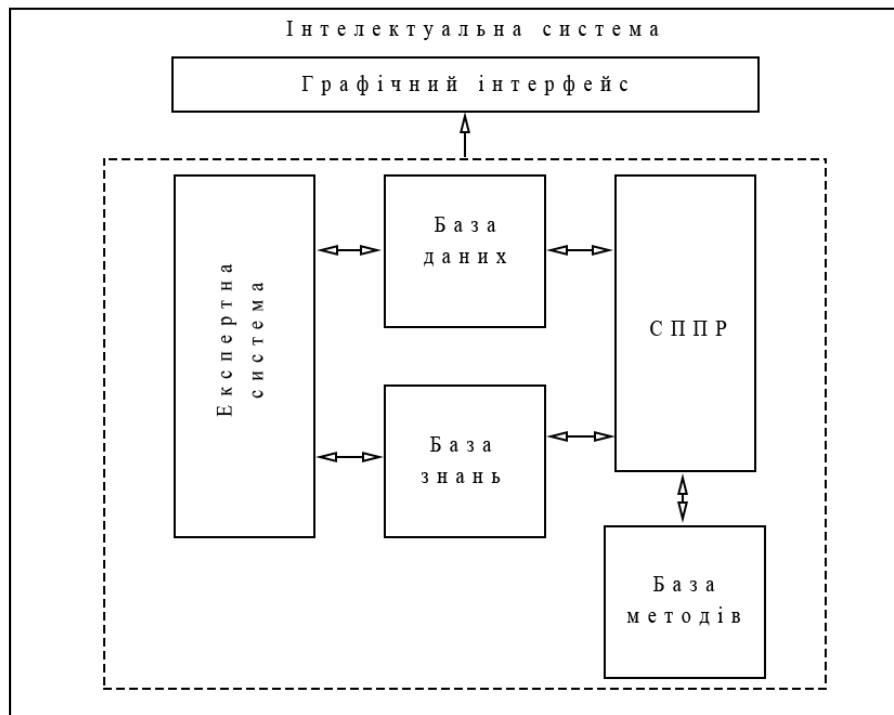


Рисунок 4.1 – Структура інтелектуальної системи

4.2 Експертна система

Експертна система – система, яка на основі статистичних даних від експертів дає найвигідніше рішення щодо виконання дії. Ключовою структурою експертної системи є наявність масивної бази даних в тій галузі в якій вона використовується.

Накопичення бази даних від експертів дає можливість аналізувати та обирати рішення за допомогою експертної оцінки в достатньо нескладних ситуаціях, що частково є демоверсією штучного інтелекту [23].

Впровадження експертної системи в оцінку ефективності перевезення вантажу за допомогою БПЛА, дозволить на основі статистичних даних оцінювати дії та покращувати підхід до виконання наступних задач.

Експертна система дуже вдало підходить до виконання повторюючих завдань, тобто завдань, для яких вже були знайдені рішення кимось.

Тобто маючи вихідну інформацію про виконання попередніх польотів, користувач експертної системи отримає найвигідніший варіант виконання його

потенціальної задачі. Також масивна база даних дозволить оцінювати ефективність всіх попередніх завдань виконання місії.

Структура роботи експертної системи

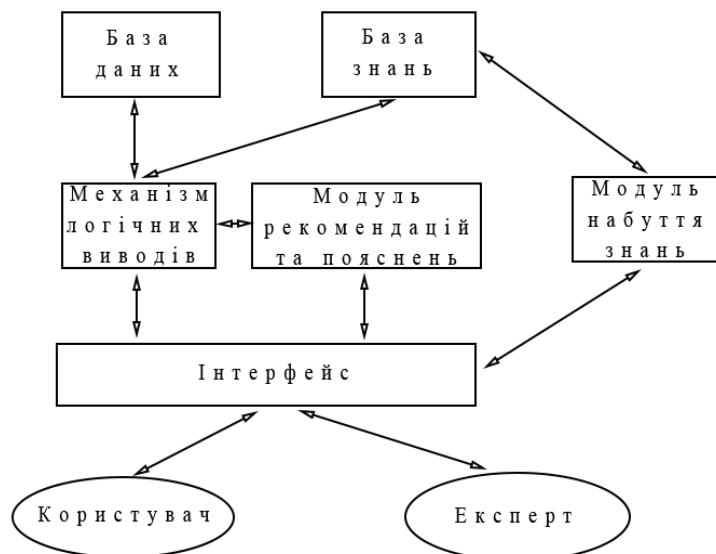


Рисунок 4.2 – Структура роботи експертної системи.

Роботу з експертними системами може проводити, як користувач, для отримання інформації, так і експерт для заповнення інформації.

Робота з експертною системою в режимі набуття знань (експерт).

Для набуття знань роботу з експертною системою виконує експерт з інженером, що відповідальний по знанням. Експерт наповнює систему знань, що в подальшому дозволяють системі вирішувати задачі без експерта [24].

Для заповнення інформації в традиційному режимі розробки програм відносяться етапи алгоритмізації, програмування та відкладки, які виконуються програмістом. В випадку експертних систем, їх заповнюють не програмісти, а експерти, які можуть додавати знання в систему без навичок програмування, тобто це вказує на те що, для використання системи в якості експерта, цей експерт може не бути програмістом, а просто пересічною людиною зі знаннями.

Робота з експертною системою в режимі рішення задач (користувач).

В режимі рішень задач (режим консультації) використання експертних систем здійснює користувач, якого цікавить результат кінцевої роботи, а іноді й спосіб його отримання. Необхідно відзначити, що в залежності від призначення

експертної системи користувач не обов'язково повинен бути спеціалістом у цій проблемній області. У цьому випадку він звертається до експертної системи за результатом, не має достатньої інформації для отримання результатів. Або весь сам користувач може мати рівень знань, достатніх для досягнення необхідного результату самостійно. У цьому випадку користувач може отримати результат, але звертається до експертної системи з метою або прискорити процес отримання результату, або включити на експертні системи монотонну роботу. В режимі консультації дані про задачу користувача після обробки їх діалоговим компонентом діють в робочій пам'яті. Обчислювач на основі вхідних даних із робочої пам'яті, загальних даних про проблемну область та правил із бази даних формує рішення задач. Експертні системи при вирішенні завдань не тільки виконують передбачену послідовність конкретної операції, але і попередньо формують її. Це робиться для випадку, якщо реакція системи не зовсім зрозуміла користувачу. У цій ситуації користувач може вимагати пояснення того, чому дана експертна система задає той чи інший питання, або чому дана експертна система не може виконати дану операцію, як отриманий той чи інший результат, наданий цією експертною системою [25].

Створення експертної системи для оцінки ефективності використання БПЛА.

1 етап – створення програмного забезпечення(програми), та системи яка буде обраховувати експертні оцінки.

2 етап - створення Баз даних всіх виконаних місій, для порівняння їх між собою.

3 етап – занесення оцінок виконання місій експертами, більшої вибірки для порівняння в наступних критеріях. .

- Функціональність;
- Швидкість
- Доступність посадки
- Кількість вантажу і т.д.

4 етап – створення графічного інтерфейсу для відображення інформації користувачеві.

Після створення експертної системи, її можна використовувати для отримання вихідних даних щодо ефективності використання БПЛА в місіях [26].

4.3 СППР для моделювання прийняття рішень в аварійних ситуаціях.

Система підтримки прийняття рішень оператора БПЛА в умовах аварійної ситуації.

Неуспішність польоту БПЛА залежить від суми факторів, які можуть трапитись під час польоту:

- Погодні умови
- Не ідеальна довершеність БПЛА
- Погано побудована місія
- Не правильне прийняття рішення оператором БПЛА

Всі ці причини можуть мінімізувати шанси на виконання польотного завдання пілотною групою.

При виникненні будь-якого моменту який може завадити виконанню місії оператор БПЛА повинен прийняти рішення щодо виконання польотного завдання. Варіанти щодо прийняття рішення індивідуальні кожному випадку і можуть різнитись між собою за однакових умов [27].

Прийняття рішення розглядається як процес вибору оптимальної альтернативи дій або їх допустимої підмножини з множини можливих альтернатив. Рішення можна трактувати як результат конкретного вибору альтернативи дій. Альтернатива – можливий варіант розвитку подій при прийнятті рішення [28].

На більшу увагу заслуговує проблема прийняття рішень, та як вони приймаються. Це зумовлено зростаючим динамізмом навколишнього середовища, збільшенням взаємозалежності багатьох рішень, стрімким темпом розвитку науково-технічного прогресу. Оператори приймаючи рішення,

стикаються зі складним вибором, з необхідністю розгляду множини альтернативних варіантів. Для оцінювання варіантів використовуються знання фахівців, складні аналітичні розрахунки, наукові дослідження, засоби сучасних інформаційних технологій. Питання підтримки рішень на всіх стадіях цього процесу (цілевиявлення, розроблення й прийняття рішень, організація виконання і контроль) стають все актуальнішими. Фактично проблема полягає в автоматизації творчої частини праці відповідальної групи працівників організаційного управління - керівників усіх рангів і осіб, які приймають рішення, за реальних умов їх діяльності [29].

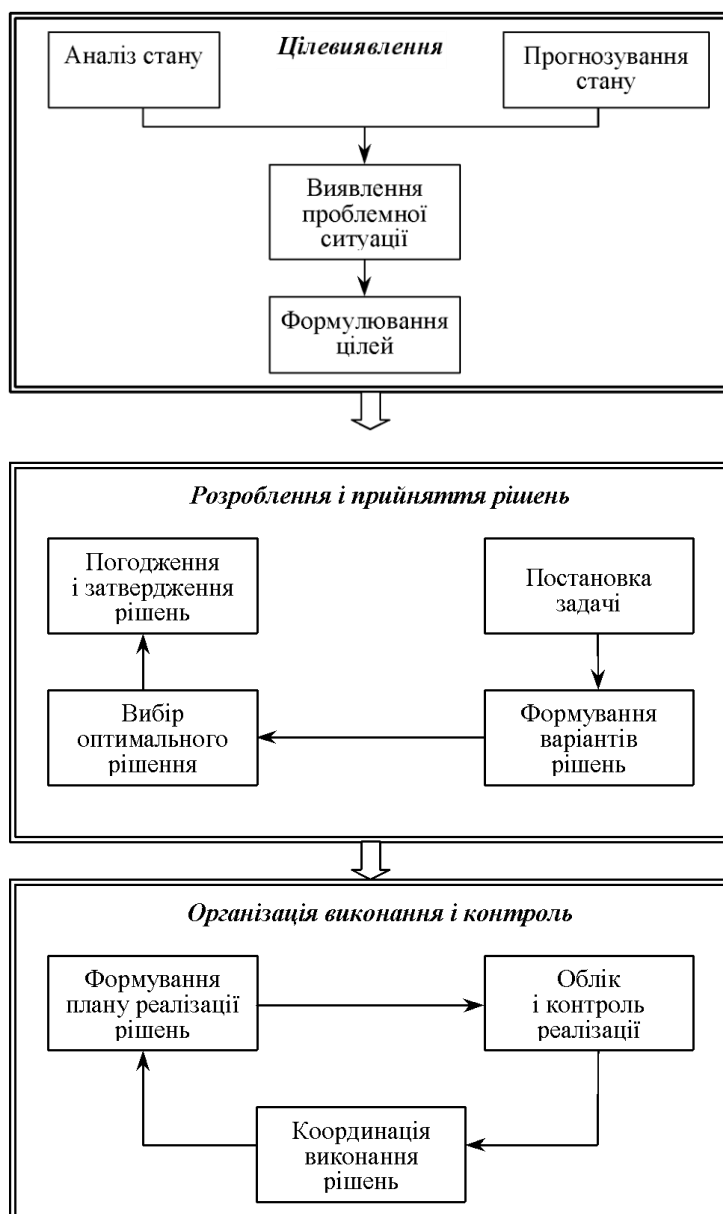


Рисунок 4.3 - Схема підготовки, прийняття і виконання рішень

Проблеми прийняття рішень в аварійних ситуаціях з бортом БПЛА переважно унікальні й нестандартні, та мають перелік рис:

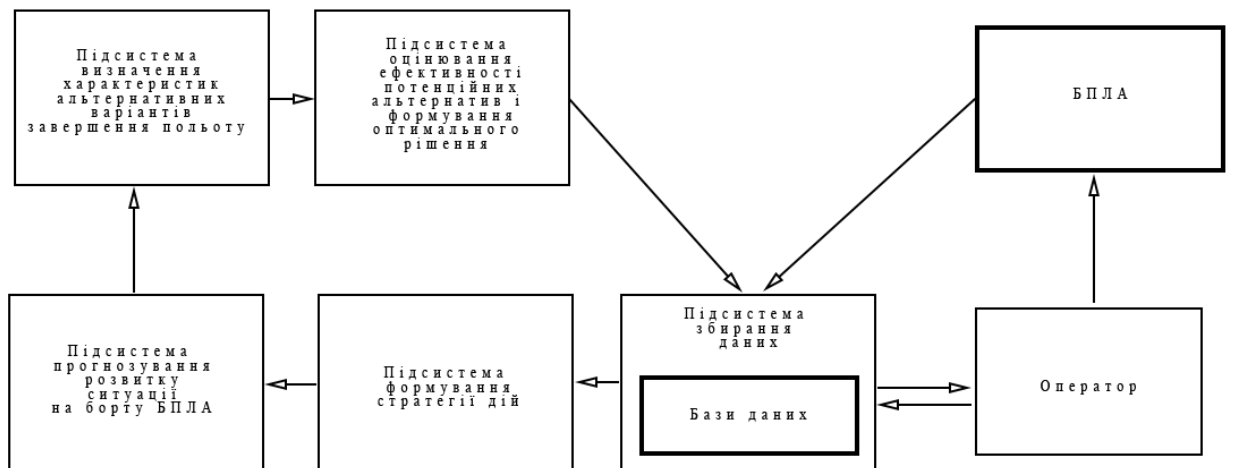
- неповторність ситуації вибору;
- складний для оцінювання характер альтернатив, що розглядаються;
- недостатня визначеність наслідків дій (невизначеність післядій);
- наявність сукупності різнорідних факторів, які необхідно враховувати під час прийняття рішень;
- наявність особи або групи осіб, які несуть відповідальність за прийняття рішень [30].

Основною задачею СППР оператора БПЛА в аварійній ситуації пов'язаною з частковою неможливістю продовження польоту БПЛА є:

1. Збирання даних про стан БПЛА(автопілот видає всю інформацію про стан БПЛА).
2. Збирання даних про навколишнє середовище.
3. Формування стратегії дій в аварійній ситуації(повертання на місце зльоту або вимушена посадка).
4. Визначення альтернативних варіантів для завершення польоту
5. Оцінка ефективності щодо визначення оптимального варіанта завершення польоту.

В склад СППР входить база даних на основі якої проводяться математичні обрахунки і отримується результат. В цю базу входять декілька категорій інформації [31]:

- *Статичні* (тактико-технічні характеристики БПЛА, та характеристика рельєфа землі в зоні проведення польоту).
- *Оперативна інформація* (положення БПЛА, повітряна обстановка, метеоумови, наявність перешкод на потенціальному місці посадки за допомогою ВТОЛ).



Рисунк 4.4 – Концептуальна модель СППР оператора БПЛА

Вимоги до СППР оператора БПЛА в аварійних ситуаціях.

1. Під час СППР дотримання принципу оптимальної лаконічності, виділення найбільш важливих елементів для концентрування уваги
2. Наявність і видача обґрунтовуючого матеріалу, для перевірки оператором правильності дій.
3. Можливість оброблення даних на основі методів логічного аналізу інформації в досвіді першого експерта.

СППР за допомогою бази даних та бази методів обґрунтування повинна давати інформацію про наступні задачі:

- Оцінку можливості продовження польоту, тобто використання вихідних даних про стан БПЛА та навколишніх факторів, видати інформацію про успіх продовження польоту, чи альтернативне рішення [32].

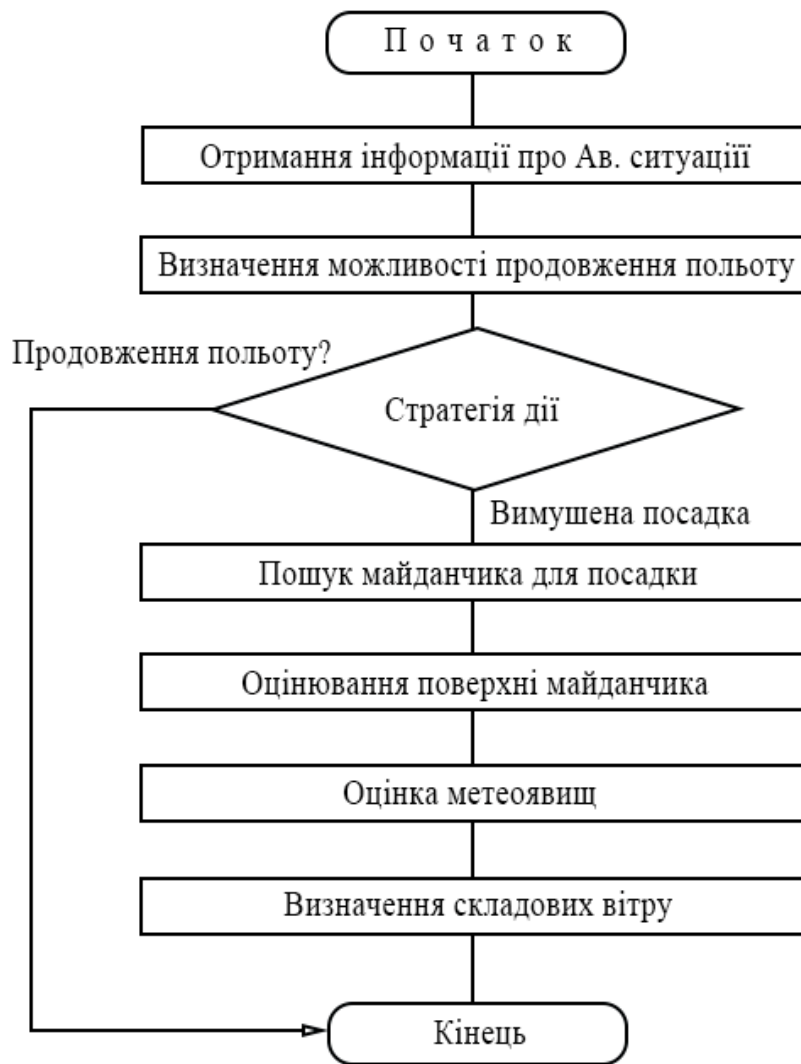


Рисунок 4.5 – Алгоритм вибору стратегії дій при польоті БПЛА

- Оцінювання місця потенційної посадки, використовуючи систему ВТОЛ, борт БПЛА не дуже примхливий до місця посадки, для виконання посадки буде достатньо невеликої ділянки землі, яку оператор може оцінити за допомогою камери на борту [33].

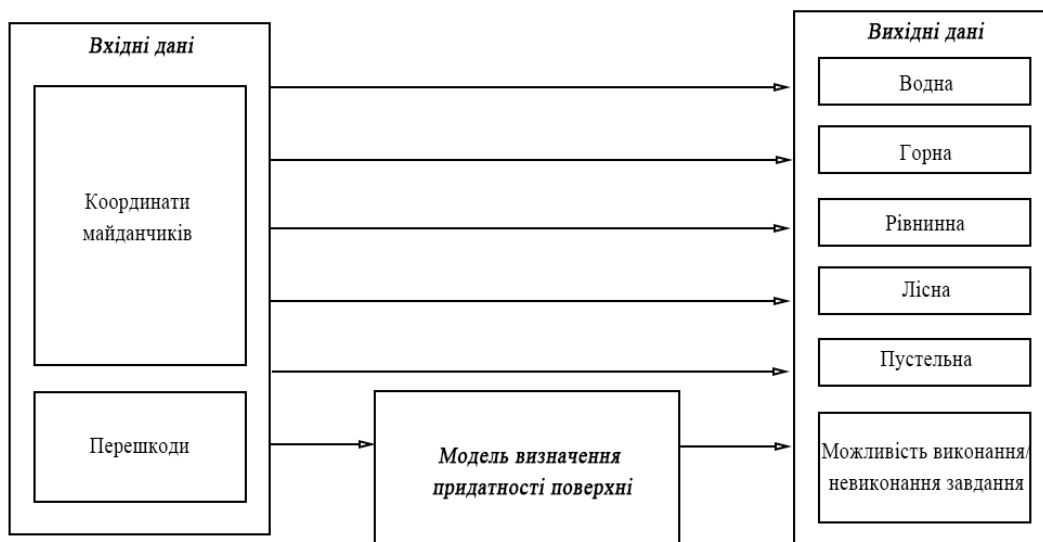


Рисунок 4.6 – Структура оцінки місця потенційної посадки

- Оцінка метеорологічних умов потенційного місця посадки

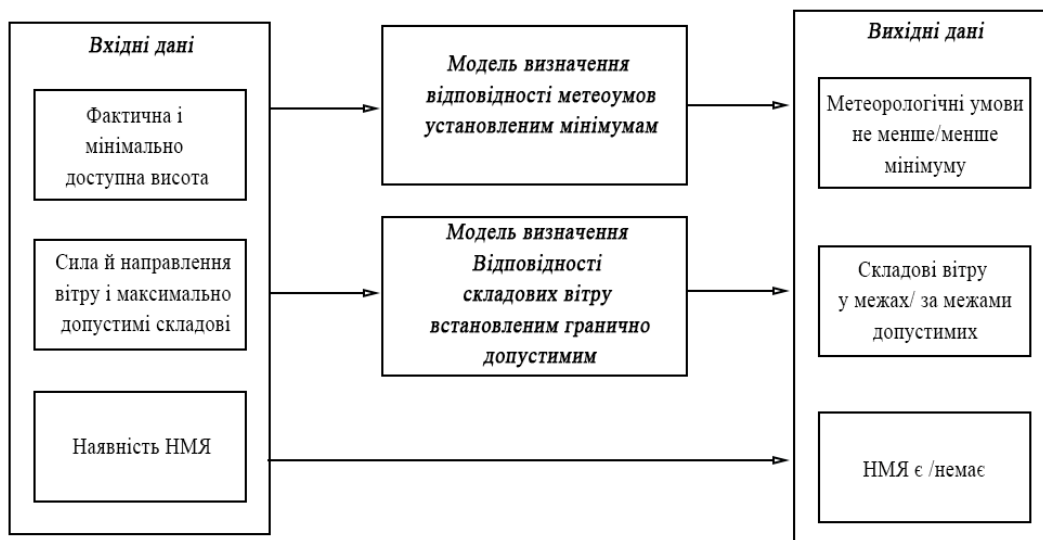


Рисунок 4.7 – Структура оцінки метеорологічних умов в місці потенційної посадки.

- Оцінка ефективності потенційних альтернатив і формування оптимального варіанта завершення польоту

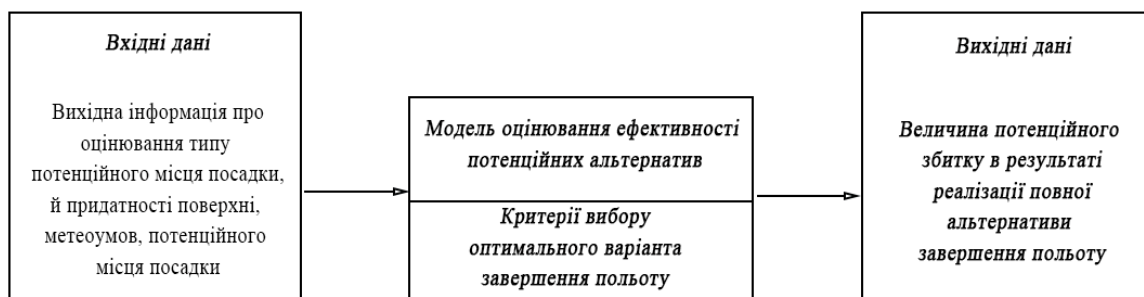


Рисунок 4.8 – Структура оцінки ефективності потенційних альтернатив.

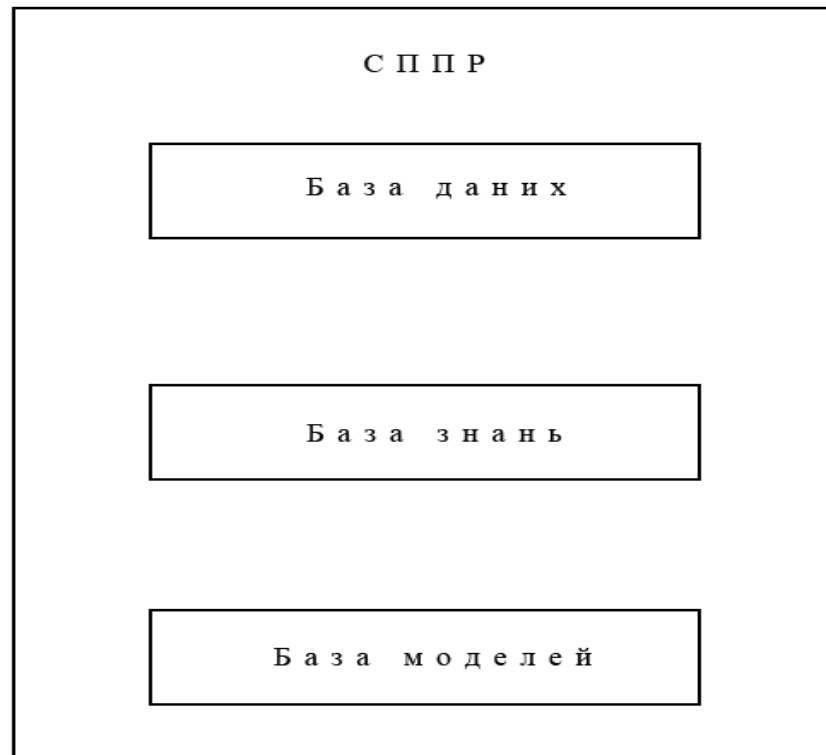


Рисунок 4.6 - Грунтування СППР

База моделей – базується на критеріях Лапласа, Гурвіца, Найквіста та Вальда [34].

Висновок до розділу 4

Розробка інтелектуальної системи для оцінки ефективності використання БПЛА, та допомога прийняття рішень в скрутних для БПЛА ситуаціях, буде одним з вдалих програмних забезпечень в галузі БПЛА.

Можливість оцінки ефективності використання БПЛА, дозволить покращувати ефективність загального користування БПЛА, на окремих місіях. Грунтування системи на базі даних та знань в подальшому дозволить ефективніше підбирати БПЛА, методіку виконання місії та маршрут її маршруту для потенціального зменшення затрат на маршруті.

Інтегрування системи прийняття рішень в аварійних ситуаціях для оператора, буде в подальшому невід'ємною складовою, як це зараз є рішеннями пілотів цивільної авіації, мінімізація людського фактора, та повна логічна ланка прийняття рішень позитивно вплине на виконання місій в подальшому розвитку БПЛА.

Загальний висновок

Використання БПЛА для задоволення людських потреб почали використовувати, не так давно. Але стрімкий розвиток технологій навколо штовхає вперед сфери та методи використання БПЛА в світі. БПЛА створюють конкурентно спроможну боротьбу з іншими літальними, наземними апаратами в виконанні однакових місій. В якихось сферах використання БПЛА поки ще недоцільне, в зв'язку недосконалості технологій, в інших БПЛА стають фаворитами при виконанні поставлених задач.

Використання БПЛА в деяких цілях не буде максимально ефективно. Тільки глибокий аналіз задачі та способів виконання її зможе об'єктивно дати відповідь на доцільність використання БПЛА.

Не ідеальність світу та всього, що в ньому знаходиться робить БПЛА не самим надійним способом виконання поставлених задач. БПЛА – це перш за все техніка, на яку при виконанні місії діють навколишні фактори, що можуть негативно сказатись на виконанні її. Хоч використання БПЛА один з найбезпечніших варіантів виконання завдань серед його «конкурентів», але прийняття не правильних рішень з боку оператора БПЛА потенціально можуть нести за собою, як матеріальні так і фізичні збитки.

Створення єдиної системи в яку буде інтегрована експертна система по оцінці ефективності БПЛА при обслуговуванні клієнтів в важкодоступній місцевості та система підтримки прийняття рішень в умовах аварійної ситуації – допоможе якісно та ефективно оцінювати та обирати БПЛА та виконання місій за допомогою нього, що в подальшому збільшить ефективність використання БПЛА за допомогою статистичного аналізу даних за весь час користування цією системою.

Система підтримки прийняття рішень – дозволить мінімізувати людський фактор при потраплянні в аварійну ситуацію, та спираючись на базу даних подібних ситуацій обирати найвдаліше рішення виходу з цієї ситуації.

Поки БПЛА не використовуються в якості транспорту для перевезення пасажирів, напрацювання такої бази даних здебільшого без ризику для здоров'я людини потенціально в майбутньому вирішить більшість питань по прийняттю рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Руководство по дистанционно пилотируемым авиационным системам (ДПАС) / Doc. 10019/AN 507. 1-е изд. – Канада, Монреаль: ИКАО, 2015.-190 с.
2. Беспилотные авиационные системы (БАС) / Circ. ИКАО 328-AN/190. – Канада, Монреаль: ИКАО, 2011. – 66 с
3. Unmanned Aerial Vehicles [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/unmanned-aerial-vehicles>
4. UAV Applications and Uses [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.riseabove.com.au/drone-services/uav-applications-and-uses/>
5. Ways Drones Will Impact Society: From Fighting War To Forecasting Weather, UAVs Change Everything [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.cbinsights.com/research/drone-impact-society-uav/>
6. Zipline begins US medical delivery with drone program honed in Africa [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://techcrunch.com/2020/05/26/zipline-begins-us-medical-delivery-with-uav-program-honed-in-africa/>
7. Bright J. Zipline begins US medical delivery with drone program honed in Africa [Электронный ресурс]. Jake Bright. TechCrunch+. 2020. Режим доступа до ресурсу: <https://techcrunch.com/2020/05/26/zipline-begins-us-medical-delivery-with-uav-program-honed-in-africa/>. Wing’s delivery drones take flight for the first time in Virginia [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.theverge.com/2019/10/18/20921310/wings-delivery-drones-virginia-first-flight>
8. Drones used for last-mile delivery are “here to stay [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.aircargonews.net/airlines/drones/drones-used-for-last-mile-delivery-are-here-to-stay/>

9. How the case for drone delivery expanded beyond parcels [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.supplychaindive.com/news/drone-delivery-faa-flytrex-matternet-amazon-last-mile/606662/>

10. Динамическое программирование [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5

11. Динамическое программирование. Классические задачи [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/ru/post/113108/>

12. Bellman Ford Shortest Path Algorithm -[Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.baeldung.com/cs/bellman-ford>

13. Dijkstra Shortest Path Algorithm in Java [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.baeldung.com/java-dijkstra>

14. MATRICE 200 SERIES [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.dji.com/matrice-200-series>

15. Фурия (БПЛА) [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%83%D1%80%D1%96%D1%8F_\(%D0%91%D0%9F%D0%9B%D0%90\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%83%D1%80%D1%96%D1%8F_(%D0%91%D0%9F%D0%9B%D0%90))

16. CICONIAVTOL [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://deviro.ua/ciconiavtol>

17. PD-2 unmanned aerial system [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://ukrspecsystems.com/pd-2-uas>

18. RTL Mode [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://ardupilot.org/copter/docs/rtl-mode.html>

19. VTOL UAV & Multirotor Manufacturers [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/expo/vtol-uav/>

20. Loiter Mode [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://ardupilot.org/copter/docs/loiter-mode.html>

21. Интеллектуальная система управления полетом НАСА [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://ichi.pro/ru/intellektual-naa-sistema-upravlenia-poletom-nasa-102993487542327>

22. Создание робототехники: раздел "Экспертные системы" - [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: homerobotics.ru

23. Блог посвященный проблемам и путям развития OpenCYS [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: blogspot.com

24. Экспертные системы в финансовой и экономической деятельности [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: tora-centre.ru

25. Unmanned aerial systems (UAS) operators' accuracy and confidence of decisions [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311908.2017.1327628>

26. Decision Making in Multi-UAVs Systems: Architecture and Algorithms [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-73958-6_2

27. Харченко В.П. Прийняття рішень в соціотехнічних системах: монографія / В.П. Харченко, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікірда. – К.: Національний авіаційний університет, 2016. – 308 с.

28. 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

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

30. 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.

31. Методологія ситуаційного колективного управління пілотованими і безпілотними літальними апаратами в єдиному повітряному просторі: наукові матеріали. Том 2. Інтегровані корпоративні моделі для колективного управління пілотованими і БПЛА в єдиному повітряному просторі в умовах ризик 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., Бондарєв Д.І., Петрушевський А.О., Чинченко О.Г., Шостак О.В., Благая Л.В./ Под ред. Харченко В.П.: – К. : НАУ, 2017. – 120 с.

32. Conceptualising and prototyping a decision support system for safer urban unmanned aerial vehicle operations [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21650020.2021.1906939>

33. Decision Support System for Variable Rate Irrigation Based on UAV Multispectral Remote Sensing [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/13/2880>