

**ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ
ЗАКЛАД «МІЖРЕГІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ УПРАВЛІННЯ
ПЕРСОНАЛОМ»**

**Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних інформаційних систем і технологій**

Космінін Олег Вікторович

(прізвище, ім'я, по-батькові студента)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Розробка автоматизованої системи управління дронами для
моніторингу аграрних полів»

Група: ІК-9-22-Б1КНТ(4.0д)

Спеціальність: Комп'ютерні науки

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів, текстів інших авторів мають
посилання на відповідне джерело.*

Науковий керівник

(підпис)

(підпис)

Космінін О.В.

ПІБ студента

Знаковська Є.А.

ПІБ

Допущено до захисту ЕК

Завідувач кафедри

(підпис)

Сергій КАВУН, д.е.н., професор

Київ 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	2
РОЗДІЛ 1: Аналіз методів моніторингу полів.....	5
1.1 Сучасні методи моніторингу аграрних полів.....	5
1.2 Особливості застосування безпілотних літальних апаратів у моніторингу аграрних полів.....	9
1.3 Переваги та недоліки використання безпілотних літальних апаратів у моніторингу аграрних полів.....	13
1.4 Основні задачі моніторингу в аграрному секторі.....	16
1.5 Аналіз отриманих даних та індекси рослинності (NDVI).....	18
1.6 Додаткові методи дослідження аграрних полів.....	22
1.7 Висновки до першого розділу.....	25
РОЗДІЛ 2: Вибір систем керування БПЛА та постановка задачі.....	27
2.1 Аналіз систем управління безпілотними літальними апаратами.....	27
2.2 Аналіз програм наземного управління безпілотними літальними апаратами.....	32
2.3 Аналіз апаратного забезпечення системи управління БПЛА.....	35
2.4 Постановка задачі розробки.....	38
2.5 Проєктування архітектури системи управління дроном.....	40
2.6 Формування місії польоту та реалізація grid mission.....	43
РОЗДІЛ 3: Розробка додатку для відкладеного планування місії.....	46
3.1 Розробка програмного інтерфейсу формування польотної місії.....	46
3.2 Створення інтерактивної карти.....	48
3.3 Вибір та формування місії польоту.....	50
3.4 Відправка місії через MAVLink та відкладений запуск.....	53

ВСТУП

Сучасний розвиток сільського господарства характеризується активним впровадженням цифрових технологій, спрямованих на підвищення ефективності виробництва, оптимізацію використання ресурсів та зниження витрат. Одним із ключових напрямів розвитку аграрної галузі є застосування технологій точного землеробства, які базуються на зборі, обробці та аналізі даних про стан посівів і ґрунтів.

Моніторинг аграрних полів є важливою складовою ефективного управління сільськогосподарським виробництвом. Традиційні методи, такі як ручний огляд або використання наземних вимірювальних приладів, мають обмежене застосування через значні витрати часу, трудомісткість та неможливість оперативного охоплення великих територій. Супутникові системи моніторингу забезпечують ширше покриття, проте характеризуються недостатньою просторовою роздільною здатністю та залежністю від погодних умов.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які дозволяють здійснювати оперативний та високоточний моніторинг аграрних угідь. Дрони забезпечують отримання детальних аерофотознімків, що можуть бути використані для аналізу стану рослин, виявлення проблемних ділянок, оцінки рівня зволоженості та прогнозування врожайності.

Ефективність застосування БПЛА значною мірою залежить від рівня автоматизації їх управління. Використання сучасних систем автопілоту дозволяє реалізувати автономні польоти за заздалегідь заданими маршрутами, зменшити вплив людського фактора та підвищити точність виконання місій. Зокрема, застосування програмно-апаратних рішень на базі відкритих платформ автопілоту дає можливість гнучко налаштовувати параметри польоту та адаптувати систему під конкретні задачі моніторингу.

Актуальність даної роботи полягає у необхідності розробки автоматизованої системи управління безпілотним літальним апаратом для

моніторингу аграрних полів, яка забезпечить ефективний збір даних шляхом виконання автономних польотів за заданими маршрутами, зокрема із застосуванням сіткових (grid) місій.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи управління дроном на базі сучасних програмно-апаратних засобів для здійснення моніторингу аграрних полів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати існуючі методи моніторингу аграрних полів;
- дослідити особливості використання безпілотних літальних апаратів у сільському господарстві;
- провести аналіз існуючих систем управління БПЛА;
- розробити архітектуру автоматизованої системи управління дроном;
- реалізувати систему на базі автопілота та політного контролера;
- налаштувати виконання автоматичних місій польоту, включаючи сіткові маршрути;
- провести експериментальні дослідження роботи системи та оцінити її ефективність.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу аграрних полів із використанням безпілотних літальних апаратів.

Предметом дослідження є автоматизована система управління дроном для збору та аналізу даних про стан аграрних угідь.

Методи дослідження включають аналіз наукових і технічних джерел, системний аналіз, моделювання роботи системи, експериментальні дослідження функціонування безпілотного літального апарата, а також обробку та інтерпретацію отриманих даних.

Практична цінність роботи полягає у створенні прототипу автоматизованої системи управління дроном, що може бути використана для ефективного моніторингу аграрних полів, підвищення точності оцінки стану посівів та оптимізації агро технологічних процесів.

Структура роботи включає вступ, три розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. У першому розділі розглянуто теоретичні основи моніторингу аграрних полів. У другому розділі проведено аналіз існуючих рішень та виконано проєктування системи управління дроном. У третьому розділі описано реалізацію системи та результати її експериментального дослідження.

РОЗДІЛ 1: Аналіз методів моніторингу полів

1.1 Сучасні методи моніторингу аграрних полів

Моніторинг аграрних полів є невід’ємною складовою сучасного сільського господарства, що стрімко розвивається під впливом цифрових технологій та концепції точного землеробства. У сучасних умовах аграрне виробництво потребує не лише значних ресурсів, а й ефективного управління ними, що неможливо без отримання своєчасної, достовірної та детальної інформації про стан посівів, ґрунтів і навколишнього середовища. Саме моніторинг дозволяє аграріям приймати обґрунтовані рішення, спрямовані на підвищення врожайності, зниження витрат і мінімізацію негативного впливу на довкілля.[1]

Завдяки впровадженню сучасних технологій моніторинг аграрних угідь переходить від традиційних підходів до комплексних цифрових систем, які інтегрують різні джерела даних. Це забезпечує більш глибоке розуміння процесів, що відбуваються на полі, та дозволяє оперативно реагувати на зміни. У сучасній практиці виділяють три основні підходи до моніторингу: наземні методи, супутниковий моніторинг та використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА).[1]

Наземні методи моніторингу

Наземні методи є найдавнішими та найбільш зрозумілими способами оцінки стану аграрних полів. Вони базуються на безпосередньому контакті з об’єктом дослідження і передбачають участь людини або використання спеціалізованих приладів. Незважаючи на активний розвиток дистанційних технологій, наземні методи залишаються важливим джерелом точних і перевірених даних.[1]

До основних наземних методів належать:

- візуальне обстеження посівів;
- відбір проб ґрунту для лабораторного аналізу;

- вимірювання вологості, температури та кислотності ґрунту;
- використання стаціонарних сенсорних систем.

Візуальний огляд є найпростішим способом оцінки стану посівів, однак він значною мірою залежить від досвіду агронома. Відбір проб ґрунту дозволяє отримати точні дані про його склад, що є важливим для планування внесення добрив. Використання сенсорних систем забезпечує безперервний моніторинг параметрів ґрунту в реальному часі, що значно підвищує ефективність управління агровиробництвом.[1]

Перевагою наземних методів є висока точність і можливість детального аналізу окремих ділянок. Водночас вони потребують значних витрат часу та праці, мають обмежене покриття території й залежать від людського фактору, що ускладнює їх застосування на великих площах. Саме тому ці методи часто використовуються у поєднанні з дистанційними технологіями.p[1]

Супутниковий моніторинг

Супутниковий моніторинг є одним із ключових інструментів дистанційного зондування Землі, що широко застосовується в аграрному секторі. Його головною перевагою є можливість охоплення великих територій за короткий проміжок часу.[2]

Супутники здійснюють зйомку поверхні Землі в різних спектральних діапазонах, що дозволяє аналізувати стан рослинності, вологість ґрунту, температуру поверхні та інші параметри. Отримані знімки обробляються за допомогою спеціального програмного забезпечення та аналітичних алгоритмів.[2]

Одним із найпоширеніших індексів є **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)**. Він дозволяє оцінити стан рослинності на основі співвідношення відбитого світла в червоному та ближньому інфрачервоному діапазонах. Високі значення індексу свідчать про активний ріст рослин, тоді як низькі можуть сигналізувати про стрес, нестачу вологи або поживних речовин.

Окрім NDVI, у сучасній практиці використовуються й інші індекси, такі як EVI, SAVI та NDWI, які дозволяють отримати більш точну інформацію про стан рослин і ґрунту. Використання кількох індексів у комплексі підвищує точність аналізу.[1][2]

Переваги супутникового моніторингу:

- велике охоплення територій;
- регулярність отримання даних;
- можливість аналізу динаміки змін за тривалий період;
- доступність і масштабованість.

Недоліки:

- обмежена просторова роздільна здатність;
- залежність від погодних умов, особливо хмарності;
- затримка в отриманні актуальних даних.

Незважаючи на ці обмеження, супутниковий моніторинг залишається ефективним інструментом для стратегічного планування та оцінки загального стану великих аграрних територій.[2]

Моніторинг із використанням безпілотних літальних апаратів

Безпілотні літальні апарати є одним із найінноваційніших напрямів у сфері моніторингу аграрних полів. Вони дозволяють отримувати високоточні дані завдяки аерофотозйомці з малої висоти.[1]

Дрони можуть працювати за заздалегідь заданими маршрутами, що забезпечує систематичність і повторюваність спостережень. Це особливо важливо для аналізу динаміки розвитку рослин протягом вегетаційного періоду.

Сучасні БПЛА оснащуються різними типами сенсорів:

- RGB-камерами для стандартної зйомки;
- мультиспектральними камерами для аналізу стану рослин;
- тепловізійними датчиками для виявлення температурних аномалій.

Завдяки таким технологіям аграрії можуть виявляти проблеми на ранніх стадіях, зокрема дефіцит вологи, захворювання рослин або пошкодження шкідниками. Це дозволяє своєчасно вживати заходів і зменшувати втрати врожаю.[2]

Переваги використання дронів:

- висока деталізація зображень;
- оперативність збору даних;
- можливість багаторазового обстеження;
- автоматизація процесів моніторингу.

Недоліки:

- обмежений час автономної роботи;
- залежність від погодних умов;
- необхідність спеціалізованого програмного забезпечення для обробки даних.

Попри певні обмеження, дрони стають дедалі доступнішими та широко впроваджуються у практику сучасного землеробства.

Інтеграція сучасних технологій моніторингу

Сучасні тенденції розвитку аграрного сектору спрямовані на інтеграцію різних методів моніторингу в єдині інформаційні системи. Поєднання даних із

різних джерел дозволяє отримати більш повну та об'єктивну картину стану аграрних угідь.[3]

Важливу роль у цьому процесі відіграють геоінформаційні системи (GIS), які забезпечують зберігання, обробку та візуалізацію просторових даних. Крім того, активно використовуються технології штучного інтелекту та машинного навчання для автоматичного аналізу інформації. Такі системи дозволяють прогнозувати врожайність, визначати оптимальні строки проведення агротехнічних заходів, а також виявляти проблемні ділянки ще до появи видимих ознак. Це значно підвищує ефективність управління аграрним виробництвом.

1.2 Особливості застосування безпілотних літальних апаратів у моніторингу аграрних полів

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) є одним із ключових інструментів сучасного точного землеробства, що забезпечують оперативний та високоточний моніторинг аграрних угідь. Їх використання відкриває нові можливості для аграріїв, дозволяючи отримувати детальну, актуальну та об'єктивну інформацію про стан посівів у реальному часі. Це сприяє підвищенню ефективності управління, оптимізації витрат ресурсів і зменшенню екологічного навантаження на довкілля. Сучасне сільське господарство дедалі більше орієнтується на концепцію точного землеробства, яка передбачає диференційований підхід до обробки полів. У цьому контексті БПЛА відіграють важливу роль як джерело високоякісних даних, необхідних для прийняття точних рішень. Завдяки регулярному моніторингу аграрії можуть своєчасно реагувати на зміни стану культур і запобігати втратам урожаю.[3]

Однією з ключових особливостей застосування БПЛА є можливість виконання аерозйомки з малої висоти. Це забезпечує надзвичайно високу просторову роздільну здатність зображень (до кількох сантиметрів на піксель), що значно перевищує можливості супутникових систем. Такий рівень деталізації дозволяє виявляти локальні проблеми, включаючи початкові стадії захворювань, дефіцит елементів живлення та пошкодження рослин.

БПЛА можуть використовуватись для вирішення широкого спектра задач:

- моніторинг загального стану посівів.
- виявлення захворювань рослин і поширення шкідників.
- оцінка рівня вологості ґрунту.
- контроль рівномірності сходів.
- визначення зон стресу рослин.
- створення карт продуктивності та врожайності.
- оцінка ефективності внесення добрив і засобів захисту рослин.
- аналіз щільності рослинного покриву.
- виявлення бур'янів та їх просторового поширення.

Важливою перевагою є можливість багаторазового обстеження полів протягом вегетаційного періоду. Це дозволяє формувати часові ряди даних і аналізувати динаміку розвитку культур, що є основою для прогнозування врожайності.[1]

Залежно від конструкції та функціонального призначення, БПЛА поділяються на кілька основних типів:

- мультикоптери.
- літакові БПЛА.
- гібридні апарати (VTOL-системи).

Мультикоптери відзначаються високою точністю позиціонування та здатністю зависати в повітрі, що дозволяє отримувати максимально деталізовані

знімки. Літакові БПЛА мають більшу дальність польоту (до десятків кілометрів) і можуть перебувати в повітрі значно довше, що робить їх ефективними для обстеження великих площ. Гібридні системи поєднують переваги обох типів, забезпечуючи вертикальний зліт і посадку разом із тривалим горизонтальним польотом.[3]

Важливою складовою системи БПЛА є програмно-апаратний комплекс управління, до якого входять:

- автопілот.
- політний контролер.
- GNSS-приймачі.
- інерціальні вимірювальні модулі (IMU).
- програмне забезпечення для планування місій.

Сучасні системи автопілоту дозволяють виконувати складні польотні завдання без участі оператора. Наприклад, дрон може автоматично підтримувати задану висоту, швидкість і траєкторію, а також коригувати свій рух у разі зміни зовнішніх умов.[4]

Однією з найпоширеніших методик польоту є сіткове (grid) сканування території. Воно передбачає побудову маршруту у вигляді паралельних ліній із заданим перекриттям знімків (як правило, 70–80%). Це забезпечує можливість подальшої фотограмметричної обробки та створення високоточних ортофотопланів.[4]

Отримані дані обробляються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (наприклад, Pix4D, Agisoft Metashape, DroneDeploy). У результаті створюються:

- ортофотоплани.

- карти індексів рослинності (NDVI, NDRE, GNDVI).
- цифрові моделі рельєфу.
- карти висоти рослин.

Застосування різних спектральних індексів дозволяє оцінювати фізіологічний стан рослин із високою точністю. Наприклад, NDRE є більш чутливим до змін у пізніх стадіях розвитку культур, тоді як NDVI ефективний на ранніх етапах. Для підвищення точності геоприв'язки часто використовуються технології RTK (Real-Time Kinematic) та PPK (Post-Processed Kinematic), які дозволяють досягати сантиметрової точності позиціонування. Це особливо важливо при створенні точних карт і виконанні агротехнічних операцій.[5]

Серед додаткових можливостей БПЛА варто відзначити:

- інтеграцію з системами точного внесення добрив.
- використання для обприскування посівів.
- контроль стану іригаційних систем.
- моніторинг ерозійних процесів ґрунту.

Водночас використання БПЛА має певні обмеження:

- обмежений час польоту (зазвичай 20–60 хвилин).
- залежність від погодних умов.
- необхідність дотримання нормативно-правових вимог.
- потреба у кваліфікованому персоналі.

- значні обсяги даних, що потребують обробки.

Незважаючи на це, технології постійно вдосконалюються. З'являються нові моделі дронів із більшою автономністю, покращеними сенсорами та розширеними функціональними можливостями. Також активно розвиваються хмарні сервіси для обробки даних, що значно спрощує використання БПЛА в аграрному секторі. Інтеграція даних із БПЛА з іншими джерелами (супутники, сенсори, метеостанції) дозволяє створювати комплексні системи підтримки прийняття рішень. Це забезпечує більш точне планування агротехнічних заходів і підвищує загальну ефективність виробництва. Таким чином, безпілотні літальні апарати є високотехнологічним інструментом моніторингу аграрних полів, який поєднує точність, гнучкість та інноваційність. Їх використання є важливим кроком на шляху до цифровізації сільського господарства та забезпечення його сталого розвитку.[5]

1.3 Переваги та недоліки використання безпілотних літальних апаратів у моніторингу аграрних полів

Використання безпілотних літальних апаратів у сільському господарстві стрімко набуває популярності завдяки їх здатності забезпечувати оперативний та високоточний моніторинг аграрних угідь. У сучасних умовах розвитку точного землеробства дрони стають невід'ємною складовою цифрових агротехнологій, оскільки дозволяють значно підвищити ефективність управління виробничими процесами. У порівнянні з традиційними методами спостереження, БПЛА мають ряд суттєвих переваг, проте їх застосування також супроводжується певними обмеженнями, які необхідно враховувати.[6]

До основних переваг використання дронів у моніторингу аграрних полів належать:

Висока просторово-часова роздільна здатність даних.

БПЛА здійснюють зйомку з малої висоти, що дозволяє отримувати зображення з роздільною здатністю до кількох сантиметрів на піксель. Це

значно перевищує можливості супутникових систем і дає змогу виявляти навіть незначні зміни у стані рослин.[6]

Оперативність отримання інформації.

Дрони дозволяють швидко проводити обстеження території та отримувати актуальні дані практично в режимі реального часу. Це особливо важливо для своєчасного реагування на стресові фактори, такі як посуха, захворювання або шкідники.[6]

Гнучкість використання.

Можливість швидкого налаштування маршрутів польоту дозволяє адаптувати використання БПЛА під конкретні задачі: від детального аналізу окремих ділянок до повного обстеження великих полів.[6]

Автоматизація процесів.

Сучасні системи автопілоту забезпечують виконання польотів у повністю автоматичному режимі за попередньо заданими маршрутами. Це знижує вплив людського фактору та забезпечує стабільну якість отриманих даних.[6]

Доступ до важкодоступних територій.

БПЛА можуть ефективно працювати на ділянках зі складним рельєфом, надмірною зволоженістю або іншими перешкодами, де використання наземної техніки є ускладненим або неможливим.[6]

Економічна ефективність.

У порівнянні з пілотованою авіацією, дрони є значно дешевшими у використанні. Вони не потребують великих витрат на обслуговування та можуть застосовуватись багаторазово протягом сезону.[6]

Можливість багаторазового моніторингу.

БПЛА дозволяють проводити регулярні обстеження полів протягом усього вегетаційного періоду, що дає змогу аналізувати динаміку розвитку рослин і прогнозувати врожайність.[6]

Інтеграція з сучасними інформаційними системами.

Дані, отримані з дронів, можуть бути інтегровані з геоінформаційними системами (GIS), системами точного землеробства та аналітичними платформами, що підвищує ефективність їх використання.[6]

Разом із тим, застосування безпілотних літальних апаратів має ряд недоліків:

Обмежений час польоту.

Тривалість роботи більшості БПЛА становить від 20 до 60 хвилин, що обмежує площу, яку можна обстежити за один виліт.[6]

Залежність від погодних умов.

Погодні фактори, такі як сильний вітер, дощ, туман або низька температура, можуть негативно впливати на стабільність польоту та якість отриманих даних.[6]

Необхідність попереднього планування місій.

Для ефективного використання БПЛА потрібно заздалегідь планувати маршрути польоту, враховуючи рельєф, межі поля та інші параметри, що потребує часу та відповідного програмного забезпечення.[6]

Потреба в обробці великих обсягів даних.

Аерофотозйомка генерує значну кількість зображень, які потребують подальшої обробки за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.[6]

Технічні обмеження та складність налаштування.

Ефективна експлуатація БПЛА вимагає знань у сфері програмного забезпечення, фотограмметрії та аналізу даних, що може бути складним для не підготовлених користувачів.[6]

Нормативно-правові обмеження.

У багатьох країнах використання дронів регулюється законодавством, що може обмежувати висоту польоту, зони використання та вимагати отримання відповідних дозволів.[6]

Початкові інвестиції.

Незважаючи на загальну економічну ефективність, придбання якісного обладнання та програмного забезпечення може потребувати значних початкових витрат. Аналіз переваг і недоліків використання безпілотних літальних апаратів свідчить про їх високу ефективність як інструменту моніторингу аграрних полів. Більшість недоліків можуть бути частково або повністю компенсовані завдяки розвитку технологій, зокрема збільшенню ємності акумуляторів, удосконаленню сенсорів і впровадженню автоматизованих систем обробки даних. Таким чином, використання БПЛА є доцільним і перспективним напрямом розвитку систем моніторингу в аграрному секторі. Їх впровадження створює передумови для підвищення продуктивності, зниження витрат і переходу до більш ефективних автоматизованих систем управління аграрним виробництвом. [6]

1.4 Основні задачі моніторингу в аграрному секторі

Моніторинг аграрних полів є важливим інструментом управління сільськогосподарським виробництвом, що дозволяє своєчасно отримувати інформацію про стан посівів, ґрунтів та навколишнього середовища. У сучасних умовах інтенсифікації аграрного виробництва та зростання вимог до ефективності використання ресурсів роль моніторингу постійно зростає. Його основною метою є підвищення ефективності вирощування сільськогосподарських культур шляхом оптимізації агротехнологічних процесів, мінімізації витрат і зниження ризиків втрати врожаю. Сучасні підходи до ведення сільського господарства базуються на концепції точного землеробства, яка передбачає диференційоване управління полями з урахуванням їх просторової неоднорідності. У цьому контексті моніторинг виступає як ключове джерело даних для підтримки прийняття управлінських рішень. Завдяки використанню сучасних технологій аграрії отримують можливість не лише фіксувати поточний стан посівів, але й аналізувати тенденції їх розвитку, прогнозувати врожайність та своєчасно реагувати на негативні фактори. [7]

До основних задач моніторингу аграрних полів належать:

Оцінка стану рослинності.

Моніторинг дозволяє визначати загальний стан посівів, оцінювати інтенсивність росту рослин і виявляти ознаки стресу, такі як дефіцит поживних речовин, нестача або надлишок вологи, а також вплив несприятливих погодних умов.[8]

Виявлення захворювань та шкідників.

Своєчасне виявлення осередків ураження дає можливість оперативно локалізувати проблему та запобігти її поширенню на значні площі. Це сприяє зменшенню втрат урожаю та скороченню використання засобів захисту рослин.[8]

Аналіз рівня зволоженості ґрунту.

Контроль вологості ґрунту є критично важливим для планування зрошення. Моніторинг дозволяє уникати як пересихання, так і перезволоження, що негативно впливає на розвиток культур.[8]

Контроль рівномірності сходів та розвитку культур.

Оцінка рівномірності сходів дає змогу визначити якість проведення посівних робіт та виявити ділянки з нерівномірним розвитком рослин, що можуть потребувати додаткових агротехнічних заходів.[8]

Оптимізація внесення добрив та засобів захисту рослин.

На основі даних моніторингу можливе впровадження диференційованого внесення ресурсів. Це дозволяє зменшити витрати, підвищити ефективність використання добрив і знизити негативний вплив на довкілля.[8]

Оцінка стану ґрунтів.

Аналіз фізико-хімічних властивостей ґрунту, таких як кислотність, структура, вміст органічної речовини, дозволяє виявляти проблемні ділянки та коригувати систему обробітку ґрунту.[9]

Прогнозування врожайності.

На основі даних, отриманих у процесі моніторингу, можна оцінювати потенційну врожайність культур і планувати подальші виробничі процеси, включаючи збирання та логістику.[9]

Виявлення проблемних зон на полі.

Моніторинг дозволяє визначати ділянки з відхиленнями від норми, які потребують додаткової уваги або локального втручання.[9]

Контроль впливу погодних умов.

Аналіз погодних факторів у поєднанні з даними моніторингу дозволяє оцінювати їх вплив на стан посівів і своєчасно адаптувати агротехнологічні заходи.[9]

Аналіз ефективності агротехнічних заходів.

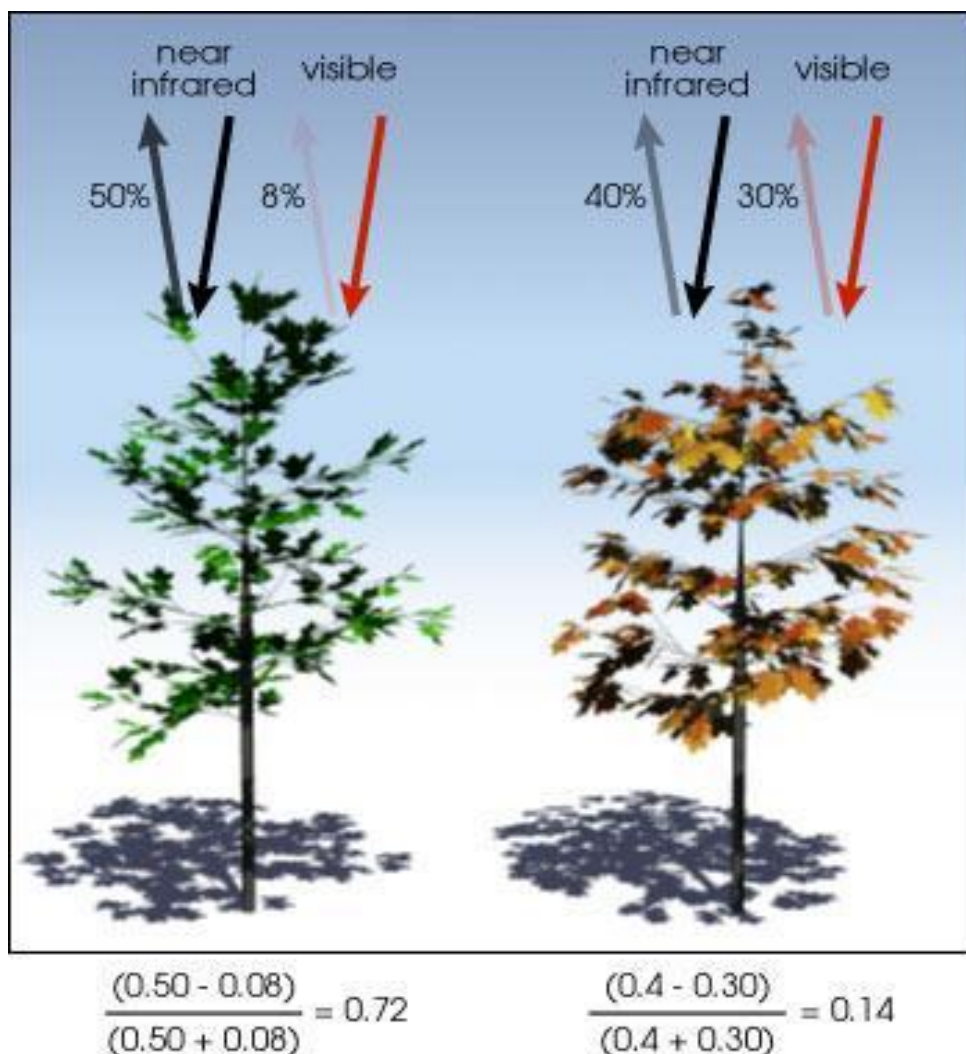
Моніторинг дає змогу оцінювати результати внесення добрив, обробки засобами захисту рослин та інших технологічних операцій, що дозволяє вдосконалювати технології вирощування. Реалізація зазначених задач потребує отримання актуальних, точних та детальних даних про стан аграрних угідь. Традиційні методи моніторингу не завжди забезпечують необхідний рівень оперативності та деталізації, особливо при роботі з великими площами та складними умовами. У зв'язку з цим особливого значення набуває використання сучасних технологій, зокрема безпілотних літальних апаратів, супутникових систем, сенсорних мереж та аналітичних платформ. Поєднання цих інструментів дозволяє автоматизувати процес збору та обробки даних, підвищити точність оцінок і забезпечити комплексний підхід до управління аграрним виробництвом.[9]

Таким чином, моніторинг аграрних полів є складною багатокомпонентною задачею, що включає збір, обробку, аналіз та інтерпретацію інформації. Його ефективна реалізація є основою для впровадження сучасних технологій у сільському господарстві та підвищення конкурентоспроможності аграрного сектору. Використання автоматизованих систем, зокрема на базі БПЛА, відкриває нові можливості для вирішення цих задач на якісно новому рівні. [9]

1.5 Аналіз отриманих даних та індекси рослинності (NDVI)

Ефективність моніторингу аграрних полів значною мірою залежить не лише від процесу збору даних, але й від їх подальшого аналізу та інтерпретації. Отримані за допомогою безпілотних літальних апаратів зображення

відкривають широкі можливості для детального дослідження стану рослинності



та ґрунтів. Саме аналітична обробка цих даних є основою для прийняття обґрунтованих управлінських рішень у сучасному сільському господарстві. Одним із ключових напрямів аналізу є використання індексів рослинності, які базуються на спектральних характеристиках відбитого світла. Відомо, що рослини по-різному відбивають електромагнітне випромінювання залежно від свого фізіологічного стану, вмісту хлорофілу та структури листкової поверхні. Здорові рослини активно поглинають червоне світло для фотосинтезу та відбивають ближнє інфрачервоне випромінювання, тоді як ослаблені або пошкоджені рослини змінюють ці характеристики.[10]

Найбільш поширеним індексом рослинності є **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)**, який визначається як нормалізована різниця між

відбиттям у ближньому інфрачервоному (NIR) та червоному (Red) діапазонах спектра:

Рис. 2.1 Ілюстрація відбиття спектру

Значення NDVI змінюється в діапазоні від -1 до +1 і дозволяє оцінити стан рослинності:

- значення, близькі до +1, відповідають густій, здоровій та активно вегетуючій рослинності.
- значення, близькі до 0, характерні для слабкої рослинності або відкритого ґрунту.
- від’ємні значення зазвичай вказують на воду, сніг або штучні об’єкти.

Аналіз NDVI дозволяє вирішувати ряд важливих задач у сільському господарстві:

- визначення зон із різним рівнем розвитку рослин.
- виявлення стресових станів культур на ранніх етапах.
- оцінка ефективності внесення добрив і засобів захисту рослин.
- контроль динаміки росту та розвитку культур.
- прогнозування врожайності.
- оптимізація агротехнічних заходів.

Окрім NDVI, у сучасній практиці широко застосовуються й інші індекси рослинності:

NDRE (Normalized Difference Red Edge Index) – ефективний для оцінки стану рослин на пізніх стадіях розвитку.[11]

GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) – використовується для аналізу вмісту хлорофілу.[11]

SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) – враховує вплив ґрунту при низькій щільності рослинності.[11]

EVI (Enhanced Vegetation Index) – покращує точність аналізу в умовах високої біомаси.[11]

Для отримання даних, необхідних для розрахунку індексів, використовуються мультиспектральні камери, встановлені на безпілотні літальні апарати. Такі камери здатні фіксувати відбиття світла в кількох спектральних діапазонах одночасно. Водночас навіть за допомогою RGB-камер можливе проведення базового аналізу стану рослинності із застосуванням методів комп'ютерного зору та машинного навчання.[[11]]

Процес аналізу даних моніторингу зазвичай включає кілька етапів:

- збір зображень під час польоту БПЛА.
- попередня обробка даних (фільтрація шумів, геоприв'язка, вирівнювання зображень).
- об'єднання окремих знімків у єдину карту (ортофотоплан).
- розрахунок індексів рослинності.
- класифікація та інтерпретація результатів.
- візуалізація у вигляді тематичних карт.

Результати аналізу зазвичай подаються у вигляді кольорових карт, де кожен колір відповідає певному рівню розвитку рослинності. Наприклад, зелені відтінки можуть вказувати на здорові ділянки, жовті — на зони з помірним

стресом, а червоні — на проблемні області. Така візуалізація дозволяє швидко ідентифікувати неоднорідності поля та визначити пріоритетні зони для втручання. Важливою перевагою сучасних підходів є можливість інтеграції результатів аналізу з геоінформаційними системами (GIS) та платформами точного землеробства. Це дозволяє автоматично формувати карти-завдання для диференційованого внесення добрив, поливу або обробки засобами захисту рослин. Крім того, застосування алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту дозволяє автоматизувати процес аналізу, підвищити точність виявлення проблем і навіть прогнозувати розвиток ситуації на полі. Наприклад, сучасні системи здатні розпізнавати типи захворювань або визначати рівень дефіциту поживних речовин за характерними ознаками на зображеннях.[11]

Таким чином, аналіз даних моніторингу, зокрема із застосуванням індексів рослинності, є ключовим етапом у системі управління аграрним виробництвом. Поєднання безпілотних літальних апаратів, сучасних сенсорів і аналітичних методів дозволяє значно підвищити точність оцінки стану посівів, оптимізувати використання ресурсів і забезпечити стабільне зростання врожайності.[11]

1.6 Додаткові методи дослідження аграрних полів

Окрім базових методів моніторингу та використання індексів рослинності, сучасне сільське господарство активно застосовує розширені підходи до дослідження аграрних полів. Ці методи дозволяють отримувати більш глибоку, точну та різносторонню інформацію про стан рослин, ґрунтів і навколишнього середовища. Їх використання є важливим елементом розвитку точного землеробства та цифровізації аграрного сектору. Одним із таких підходів є використання мультиспектрального аналізу. На відміну від стандартної RGB-зйомки, мультиспектральні камери фіксують інформацію в кількох спектральних діапазонах, зокрема у ближньому інфрачервоному та червоному краю спектра. Це дозволяє більш точно оцінювати фізіологічний

стан рослин, рівень фотосинтетичної активності та вміст хлорофілу.[12] На основі таких даних можуть розраховуватись різні індекси:

- **NDRE** для аналізу стану рослин на пізніх етапах розвитку.
- **GNDVI** для оцінки вмісту хлорофілу.
- **SAVI** для зменшення впливу ґрунту на результати аналізу.
- **EVI** для підвищення точності в умовах густої рослинності.

Мультиспектральний аналіз є особливо ефективним для виявлення прихованих проблем, які ще не проявляються візуально, що дозволяє аграріям своєчасно реагувати на негативні фактори. Ще одним перспективним методом є тепловізійний моніторинг. Використання тепловізійних сенсорів дозволяє визначати температуру поверхні рослин і ґрунту з високою точністю.[13] Оскільки рослини під час водного стресу мають підвищену температуру через зменшення транспірації, тепловізійні дані дозволяють:

- виявляти ділянки з дефіцитом вологи.
- оптимізувати системи зрошення.
- запобігати перевитраті водних ресурсів.
- оцінювати ефективність поливу.

Важливим напрямом є побудова ортофотопланів та тривимірних (3D) моделей місцевості. За допомогою фотограмметричних методів і спеціалізованого програмного забезпечення окремі знімки об'єднуються в єдину геоприв'язану карту високої точності.[13] Це дозволяє:

- аналізувати рельєф місцевості.

- визначати ухили та нерівності поверхні.
- виявляти зони накопичення або стоку води.
- оцінювати ризики ерозії ґрунту.

Тривимірні моделі також можуть використовуватись для оцінки висоти рослин і біомаси, що є важливим показником їх розвитку. Ще одним важливим підходом є аналіз часових змін (time-series analysis), який передбачає порівняння даних, отриманих у різні періоди часу.[14] Це дозволяє:

- відстежувати динаміку розвитку культур.
- оцінювати вплив погодних умов.
- аналізувати ефективність агротехнічних заходів.
- прогнозувати врожайність на різних етапах вегетації.

Особливого значення набуває застосування методів машинного навчання та штучного інтелекту.[15] Сучасні алгоритми здатні автоматично обробляти великі обсяги даних і виконувати складні аналітичні задачі:

- класифікація стану рослинності.
- автоматичне виявлення захворювань і пошкоджень.
- розпізнавання бур'янів.
- прогнозування врожайності.
- оптимізація агротехнічних рішень.

Такі системи можуть навчатися на основі історичних даних і з часом підвищувати точність своїх прогнозів. Крім того, важливим напрямом є

інтеграція даних із різних джерел.[15] Поєднання інформації, отриманої з безпілотних літальних апаратів, супутникових систем, наземних сенсорів і метеостанцій, дозволяє створювати комплексні системи моніторингу. Перевагами такого підходу є:

- підвищення точності аналізу.
- можливість перевірки даних із різних джерел.
- формування повної картини стану поля.
- підтримка прийняття управлінських рішень.

Додатково слід відзначити використання IoT-технологій (інтернету речей), які дозволяють встановлювати мережі сенсорів для безперервного збору даних про вологість, температуру, освітленість та інші параметри. Це забезпечує постійний контроль стану аграрних угідь у режимі реального часу. Таким чином, сучасні методи дослідження аграрних полів значно виходять за межі традиційного моніторингу. Використання мультиспектральних, тепловізійних, фотограмметричних, аналітичних та інтелектуальних технологій дозволяє отримувати комплексну інформацію про стан аграрних систем. Їх поєднання забезпечує підвищення точності аналізу, оптимізацію використання ресурсів і загальне зростання ефективності сільськогосподарського виробництва.[16]

1.7 Висновки до першого розділу

У даному розділі було всебічно розглянуто сучасні підходи до моніторингу аграрних полів, включаючи наземні методи, супутниковий моніторинг та використання безпілотних літальних апаратів. Проведений аналіз показав, що традиційні наземні методи, незважаючи на високу точність, мають суттєві обмеження щодо оперативності, трудомісткості та можливості охоплення великих територій. У свою чергу, супутникові системи дозволяють здійснювати моніторинг значних площ, однак не завжди забезпечують достатній рівень деталізації та залежать від погодних умов.

Встановлено, що використання безпілотних літальних апаратів є найбільш ефективним і перспективним підходом до моніторингу аграрних угідь. БПЛА поєднують у собі переваги наземних і супутникових методів, забезпечуючи високу точність даних, оперативність їх отримання, гнучкість у застосуванні та можливість автоматизації процесів збору інформації. Це дозволяє значно підвищити ефективність управління аграрним виробництвом. У межах розділу було детально проаналізовано основні задачі моніторингу, серед яких оцінка стану рослинності, виявлення проблемних зон, контроль рівня вологості ґрунту, аналіз розвитку культур і прогнозування врожайності. Показано, що своєчасне отримання та обробка цих даних є ключовим фактором для прийняття обґрунтованих агротехнічних рішень. Окрему увагу приділено методам аналізу отриманих даних. Зокрема, розглянуто використання індексу NDVI та інших спектральних показників, які дозволяють оцінювати фізіологічний стан рослин, виявляти стресові фактори та аналізувати просторову неоднорідність полів. Встановлено, що застосування індексів рослинності значно підвищує точність і інформативність моніторингу. Також було розглянуто сучасні додаткові методи дослідження аграрних полів, зокрема мультиспектральний і тепловізійний аналіз, побудову ортофотопланів і тривимірних моделей місцевості, а також використання методів машинного навчання та штучного інтелекту. Визначено, що інтеграція цих технологій дозволяє отримувати комплексну інформацію про стан аграрних систем і забезпечує більш глибокий аналіз. Отримані результати свідчать про доцільність впровадження автоматизованих систем моніторингу на базі безпілотних літальних апаратів. Використання таких систем дозволяє підвищити ефективність сільськогосподарського виробництва, оптимізувати використання ресурсів і зменшити вплив людського фактору.

Таким чином, результати проведеного аналізу обґрунтовують необхідність подальшого проектування та реалізації автоматизованої системи управління безпілотними літальними апаратами для моніторингу аграрних полів, що буде детально розглянуто у наступних розділах роботи.

РОЗДІЛ 2: Вибір систем керування БПЛА та постановка задачі

2.1 Аналіз систем управління безпілотними літальними апаратами

Системи управління безпілотними літальними апаратами є ключовим елементом їх функціонування, оскільки забезпечують стабілізацію польоту, навігацію, виконання місій та взаємодію з оператором. Від ефективності цих систем залежить точність виконання польотних завдань, безпека експлуатації та якість отриманих даних. У сучасних умовах розвитку автономних технологій системи управління БПЛА стають дедалі складнішими та інтелектуалізованими. Сучасні системи управління БПЛА базуються на використанні автопілотів, які поєднують апаратні та програмні компоненти. Автопілот являє собою програмно-апаратний комплекс, що забезпечує автоматичне керування літальним апаратом на основі даних від сенсорів.[18] До основних сенсорів належать:

- акселерометри для визначення прискорень.
- гіроскопи для вимірювання кутових швидкостей.
- магнітометри для визначення орієнтації відносно магнітного поля Землі.
- барометри для оцінки висоти.
- GNSS-модулі (GPS, GLONASS, Galileo) для визначення координат.

На основі даних від цих сенсорів автопілот виконує обчислення, необхідні для стабілізації польоту та реалізації навігаційних функцій.[18] Основними функціями автопілоту є:

- стабілізація положення БПЛА в просторі.
- утримання заданої висоти та швидкості.

- визначення координат і орієнтації.
- виконання автоматичних маршрутів польоту.
- реалізація аварійних режимів (наприклад, повернення до точки старту).

Важливою складовою системи управління є алгоритми обробки даних і керування. У більшості сучасних автопілотів використовуються PID-регулятори, які забезпечують стабільність польоту шляхом корекції відхилень від заданих параметрів. У більш складних системах можуть застосовуватись адаптивні та предиктивні алгоритми керування.[17]

На сьогодні існує декілька популярних систем автопілоту, серед яких найбільш поширеними є **ArduPilot** та **PX4**. **ArduPilot** є однією з найвідоміших відкритих платформ для управління БПЛА. Вона має відкритий вихідний код і підтримує широкий спектр апаратних платформ, таких як Pixhawk, Cube та інші. Система забезпечує реалізацію різних режимів польоту, включаючи ручне керування, стабілізацію, автоматичний політ за маршрутом (AUTO), утримання позиції (Loiter) та повернення до точки старту (RTL).[20]

До основних переваг ArduPilot належать:

- підтримка різних типів БПЛА (мультикоптери, літаки, гелікоптери, ровери).
- висока гнучкість налаштування параметрів.
- можливість реалізації складних місій польоту.
- наявність великої спільноти користувачів і розробників.
- сумісність із широким спектром сенсорів і додаткового обладнання.

- інтеграція з наземними станціями управління (Mission Planner, QGroundControl).

PX4 є ще однією популярною відкритою платформою, яка широко використовується як у наукових дослідженнях, так і в комерційних проєктах. Вона характеризується сучасною модульною архітектурою, що забезпечує високу продуктивність і масштабованість системи.[20]

Серед переваг PX4 можна виділити:

- модульну структуру програмного забезпечення.
- високу продуктивність і ефективність обробки даних.
- підтримку інтеграції з симуляторами (Gazebo, SITL).
- можливість використання в робототехнічних системах.
- підтримку стандарту MAVLink для обміну даними.

Окрім відкритих систем, існують пропрієтарні рішення, які використовуються у комерційних дронах (наприклад, DJI). Такі системи зазвичай мають високу надійність і оптимізовані для конкретного обладнання, однак вони обмежені у можливостях налаштування та не надають доступу до внутрішніх алгоритмів. Це ускладнює їх використання для наукових досліджень і розробки власних систем.[21]

Важливим елементом систем управління є наземні станції управління (Ground Control Station, GCS), які забезпечують взаємодію оператора з БПЛА. [22] Вони дозволяють:

- планувати маршрути польоту.
- здійснювати моніторинг параметрів у реальному часі.

- змінювати налаштування автопілоту.
- аналізувати телеметричні дані.

Порівняльний аналіз систем управління БПЛА показує, що відкриті платформи, такі як ArduPilot та PX4, є найбільш придатними для розробки власних автоматизованих систем. Вони забезпечують необхідну гнучкість, масштабованість та можливість адаптації під конкретні задачі, зокрема у сфері аграрного моніторингу. З огляду на вимоги до розроблюваної системи, зокрема необхідність реалізації автоматичних місій польоту, інтеграції з наземною станцією управління, підтримки різних режимів роботи та сумісності з різними сенсорами, доцільним є використання платформи **ArduPilot**. Дана система забезпечує оптимальне поєднання функціональності, стабільності та доступності, що робить її ефективним рішенням для побудови автоматизованої системи управління дроном для моніторингу аграрних полів.[22]

Таблиця 2.1 – Порівняння систем автопілоту ArduPilot та PX4

Характеристика	ArduPilot	PX4
Тип ліцензії	Відкритий код (Open Source)	Відкритий код (Open Source)
Підтримувані типи БПЛА	Мультикоптери, літаки, гелікоптери, ровери, підводні апарати	Мультикоптери, літаки, VTOL
Гнучкість налаштування	Висока (велика кількість параметрів)	Висока, але більш структурована
Складність освоєння	Середня	Вища (більш складна архітектура)

Програмне забезпечення наземної станції	Mission Planner, QGroundControl	QGroundControl
Підтримка автоматичних місій	Повна (waypoints, grid mission, складні сценарії)	Повна
Підтримка обладнання	Широка (велика кількість контролерів і сенсорів)	Обмеженіша, але сучасніша
Стабільність роботи	Висока, перевірена часом	Висока, активно розвивається
Підтримка спільноти	Дуже велика	Велика
Інтеграція з симуляторами	Підтримується	Широка підтримка
Орієнтація використання	Практичні та прикладні задачі	Дослідження та розробка

Аналіз наведених характеристик показує, що обидві системи автопілоту мають високий рівень функціональності та широко застосовуються у сфері безпілотних літальних апаратів. Проте система ArduPilot відзначається більшою універсальністю, стабільністю та простотою інтеграції з різноманітним апаратним забезпеченням.

У контексті розробки автоматизованої системи управління дроном для моніторингу аграрних полів доцільним є використання саме ArduPilot, оскільки дана платформа забезпечує необхідні інструменти для реалізації автоматичних місій польоту, включаючи сіткові (grid) маршрути, та має широку підтримку користувачів і розробників.[24]

2.2 Аналіз програм наземного управління безпілотними літальними апаратами

Наземні станції управління (Ground Control Station, GCS) є важливою складовою системи управління безпілотними літальними апаратами. Вони забезпечують ефективну взаємодію між оператором і дроном, дозволяючи здійснювати налаштування параметрів, планування місій, моніторинг стану апарата та аналіз отриманих даних. Саме через такі програмні засоби реалізується більшість функцій управління польотом, що робить їх критично важливими для практичного застосування БПЛА в аграрному секторі.

Сучасні програми наземного управління реалізують широкий спектр функцій:

- конфігурація автопілота.
- планування маршрутів польоту.
- завантаження місій у політний контролер.
- моніторинг телеметричних даних у реальному часі.
- аналіз логів польоту.
- візуалізація карти місцевості.
- контроль стану систем дрона (акумулятор, сигнал, сенсори).
- інтеграція з геоінформаційними системами та картографічними сервісами.

Передача даних між БПЛА та наземною станцією зазвичай здійснюється за допомогою протоколу MAVLink, який забезпечує надійний обмін командами та телеметрією. Це дозволяє оператору не лише керувати польотом, але й отримувати детальну інформацію про стан систем у режимі реального часу.

Серед найбільш поширених програм наземного управління можна виділити Mission Planner та QGroundControl.[22]

Mission Planner є однією з найпопулярніших програм для роботи з автопілотом ArduPilot. Вона орієнтована на розширене налаштування та глибокий контроль параметрів системи, що робить її особливо корисною для інженерних і дослідницьких задач.

До основних можливостей Mission Planner належать:

- налаштування параметрів автопілота.
- калібрування сенсорів (акселерометрів, компаса, радіоканалу).
- планування маршрутів польоту за допомогою інтерактивної карти.
- створення автоматичних місій із використанням waypoint.
- підтримка сіткових (grid) місій для обльоту територій.
- відображення телеметричних даних у режимі реального часу.
- запис та детальний аналіз логів польоту.
- підтримка режимів симуляції (SITL) для тестування без реального дрона.

Важливою перевагою Mission Planner є можливість гнучкого налаштування практично всіх параметрів автопілота, що дозволяє адаптувати систему під конкретні задачі, зокрема моніторинг аграрних полів.[23]

QGroundControl є ще однією популярною програмою, яка підтримує роботу як з PX4, так і з ArduPilot. Вона відрізняється сучасним дизайном і зручністю використання, що робить її популярною серед широкого кола користувачів.

До переваг QGroundControl належать:

- кросплатформеність (Windows, Linux, macOS, Android, iOS).
- сучасний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.
- підтримка різних типів БПЛА.
- швидке та зручне планування місій.
- інтеграція з симуляторами.
- оптимізація для мобільних пристроїв.

Однак у порівнянні з Mission Planner дана програма має дещо обмежені можливості щодо глибокого налаштування параметрів автопілота. Це може бути суттєвим недоліком у випадках, коли необхідно реалізувати складні алгоритми або адаптувати систему під специфічні задачі.[23]

Крім зазначених рішень, існують також комерційні платформи, такі як UgCS або DJI Ground Station. Вони часто мають розширені можливості автоматизації та зручні інтерфейси, однак можуть бути обмеженими у доступі до внутрішніх налаштувань або вимагати ліцензії.[21]

Порівняльний аналіз програм наземного управління показує, що вибір програмного забезпечення залежить від поставлених задач. Для інженерних і дослідницьких задач, які потребують гнучкого налаштування, детального аналізу та повного контролю над системою, найбільш доцільним є використання Mission Planner. Для швидкого розгортання та простого використання на різних пристроях більш зручним може бути QGroundControl. У рамках даної роботи обрано програму **Mission Planner** як основний інструмент взаємодії з безпілотним літальним апаратом. Це обумовлено її широкими функціональними можливостями, зокрема підтримкою автоматичних місій, включаючи сіткові маршрути для моніторингу аграрних полів, глибоким налаштуванням параметрів та розвиненими засобами аналізу польотних даних.

Таким чином, використання сучасних програм наземного управління є необхідною умовою ефективного функціонування системи управління БПЛА. Правильний вибір програмного забезпечення забезпечує підвищення точності, надійності та ефективності виконання задач моніторингу аграрних полів.

2.3 Аналіз апаратного забезпечення системи управління БПЛА

Апаратне забезпечення є ключовою складовою системи управління безпілотним літальним апаратом, оскільки саме воно забезпечує обробку даних сенсорів, стабілізацію польоту та виконання команд автопілота. Від правильного вибору апаратних компонентів залежить надійність, точність, енергоефективність і загальна продуктивність системи. У контексті застосування БПЛА для моніторингу аграрних полів особливого значення набувають стабільність роботи, точність навігації та можливість інтеграції з різними сенсорами.[24]

До основних елементів апаратного забезпечення БПЛА належать:

- політний контролер.
- навігаційні сенсори (GPS/GNSS).
- інерціальні сенсори (акселерометри, гіроскопи).
- електронні регулятори швидкості (ESC).
- безколекторні електродвигуни.
- система живлення (акумулятори, розподільники живлення).
- модулі зв'язку (телеметрія, радіоканал).
- додаткові сенсори (барометр, компас).

Центральним елементом системи є політний контролер, який виконує обробку сигналів від сенсорів, реалізує алгоритми стабілізації та формує

керуючі сигнали для виконавчих механізмів. Саме він визначає поведінку БПЛА під час польоту та забезпечує виконання заданих місій.[24]

У рамках даної роботи використовується політний контролер **Diatone Mamba flight controller**, який широко застосовується у безпілотних літальних апаратах завдяки своїй надійності, доступності та високій продуктивності. Даний контролер базується на сучасних мікроконтролерах сімейства STM32, що забезпечує швидку обробку даних і підтримку сучасних алгоритмів керування.

До основних характеристик контролера належать:

- використання високопродуктивного мікроконтролера STM32.
- підтримка декількох UART-інтерфейсів для підключення зовнішніх модулів.
- наявність вбудованих інерціальних сенсорів (IMU).
- підтримка сучасних прошивок (наприклад, Betaflight, INAV).
- компактні розміри та мала вага.
- інтеграція з ESC через сучасні протоколи (DSHOT).

Для реалізації навігаційних функцій у системі використовується GPS/GNSS-модуль, який підключається до політного контролера через інтерфейс UART. Сучасні модулі можуть підтримувати декілька супутникових систем (GPS, GLONASS, Galileo), що підвищує точність позиціонування.[25]

Основними функціями GPS у системі є:

- визначення поточного місцезнаходження БПЛА.
- забезпечення навігації за заданими маршрутами.
- реалізація режиму повернення до точки старту (RTL).

- стабілізація позиції у режимі утримання (Loiter).
- підвищення точності виконання автоматичних місій.

Інтеграція GPS із даними інерціальних сенсорів (IMU) дозволяє реалізувати алгоритми фільтрації (наприклад, комплементарні або Калманівські фільтри), що забезпечує високу точність і стабільність польоту навіть у складних умовах. Електронні регулятори швидкості (ESC) відповідають за керування обертами двигунів, отримуючи сигнали від політного контролера. Вони забезпечують точне регулювання тяги, що є необхідним для стабілізації та маневрування. Сучасні ESC підтримують цифрові протоколи керування, що підвищує швидкість реакції системи. Безколекторні електродвигуни є виконавчими елементами, які створюють підйомну силу та забезпечують рух БПЛА. Їх характеристики (потужність, оберти, ефективність) визначають вантажопідйомність і тривалість польоту. Система живлення, як правило, базується на літій-полімерних (Li-Po) акумуляторах, які забезпечують високу енергетичну щільність. Важливими параметрами є ємність акумулятора, напруга та здатність віддавати струм. Вибір системи живлення безпосередньо впливає на тривалість польоту та стабільність роботи всіх компонентів. Окрему роль відіграють модулі зв'язку, які забезпечують передачу телеметричних даних між БПЛА та наземною станцією управління. Це дозволяє оператору контролювати стан системи в реальному часі та за необхідності коригувати параметри польоту. Важливою особливістю використання політного контролера Mamba є його орієнтація на FPV-дрони, що забезпечує високу швидкодію та стабільність роботи. Однак для реалізації функцій автономного польоту та навігації необхідне використання відповідного програмного забезпечення (наприклад, INAV), а також додаткове налаштування системи.[25]

Порівняно з професійними автопілотами (наприклад, Pixhawk), контролери типу Mamba мають такі переваги:

- нижча вартість.

- компактність і мала вага.
- достатня продуктивність для базових задач.
- широка доступність і популярність.

Разом із тим, існують і певні обмеження:

- менша кількість спеціалізованих сенсорів.
- обмежені можливості для складних автономних місій.
- потреба в додатковому налаштуванні для реалізації навігаційних функцій.

Таким чином, обране апаратне забезпечення є достатнім для реалізації базових і середньої складності функцій автоматизованої системи управління дроном. Воно дозволяє виконувати задачі моніторингу аграрних полів із необхідним рівнем точності, забезпечуючи при цьому баланс між вартістю, продуктивністю та функціональністю.[25]

2.4 Постановка задачі розробки

На основі проведеного аналізу існуючих методів моніторингу аграрних полів, систем управління безпілотними літальними апаратами та апаратного забезпечення сформульовано задачу розробки програмно-апаратної системи формування та передачі польотних місій для безпілотного літального апарата. Проведений аналіз показав, що існуючі рішення, такі як стандартні наземні станції управління, забезпечують базову функціональність планування польоту, однак не завжди надають можливість гнучкого формування місій та їх автоматизованого виконання за заданим сценарієм, зокрема з відкладеним запуском. Метою даної роботи є розробка програмного модуля (користувачького інтерфейсу), який забезпечує:

- формування польотної місії шляхом вибору точок на карті;

- перетворення координат у набір waypoint-команд;
- передачу сформованої місії на політний контролер;
- реалізацію механізму відкладеного запуску місії без постійної участі оператора.

У рамках роботи передбачається використання відкритої платформи автопілота ArduPilot, яка забезпечує підтримку автоматичних режимів польоту та приймання місій через стандартний протокол обміну даними. Як апаратна основа використовується політний контролер Diatone Mamba Basic F405 Flight Controller, який забезпечує обробку команд автопілота та керування виконавчими механізмами. Вибір даного контролера обумовлений його доступністю та достатньою продуктивністю для реалізації поставлених задач в умовах обмежених ресурсів. Для забезпечення навігації використовується GPS/GNSS-модуль, підключений через інтерфейс UART, що дозволяє визначати координати БПЛА та реалізовувати автоматичні режими польоту, зокрема виконання маршрутів та повернення до точки старту.

Основні задачі розроблюваної системи:

- розробка програмного інтерфейсу для формування місії польоту;
- реалізація механізму вибору точок маршруту на карті;
- формування waypoint-місії на основі вибраних координат;
- передача місії на політний контролер;
- реалізація відкладеного запуску місії;
- інтеграція з автопілотом для виконання місії в автоматичному режимі;

- забезпечення моніторингу стану виконання місії.

Система повинна забезпечувати можливість створення місії з заданими параметрами (висота, швидкість, координати точок) та її подальше автоматичне виконання через визначений проміжок часу або за заданою умовою. Особлива увага приділяється реалізації відкладеного запуску місії, що дозволяє підготувати політ заздалегідь та виконати його без безпосередньої участі оператора у момент старту. Такий підхід підвищує рівень автоматизації системи та розширює можливості її практичного застосування.

У процесі розробки передбачається проведення експериментальних досліджень, спрямованих на оцінку:

- коректності формування місії;
- надійності передачі даних на політний контролер;
- точності виконання маршруту;
- стабільності роботи системи;
- ефективності механізму відкладеного запуску.

Таким чином, поставлена задача полягає у створенні програмно-апаратної системи формування та передачі польотних місій для безпілотного літального апарата на базі контролера Mamba та автопілоту ArduPilot, яка забезпечує автоматизоване виконання місій, включаючи можливість їх відкладеного запуску.[26]

2.5 Проєктування архітектури системи управління дроном

Проєктування архітектури системи управління є важливим етапом розробки автоматизованої системи безпілотного літального апарата, оскільки визначає структуру, склад компонентів та принципи їх взаємодії. Правильно побудована архітектура забезпечує надійність, масштабованість та ефективність

функціонування системи. Розроблювана система орієнтована не лише на виконання польоту, але й на формування та передачу польотних місій із використанням власного програмного модуля. У зв'язку з цим архітектура системи включає наступні основні підсистеми:

- безпілотний літальний апарат;
- систему автопілоту;
- навігаційну систему;
- програмний модуль формування місій (користувацький інтерфейс);
- підсистему передачі місій;
- наземну станцію моніторингу.

Центральним елементом системи є політний контролер Diatone Mamba Basic F405 Flight Controller, який працює під керуванням автопілоту ArduPilot. Він забезпечує обробку даних сенсорів, виконання алгоритмів стабілізації та керування рухом безпілотного літального апарата. Навігаційна підсистема представлена GPS-модулем, який визначає координати, швидкість та висоту польоту. Дані GPS у поєднанні з інерціальними сенсорами використовуються автопілотом для забезпечення стабільного та точного виконання маршруту.[27]

Ключовою особливістю запропонованої архітектури є наявність програмного модуля формування місій, який реалізує користувацький інтерфейс для вибору точок маршруту на карті. Даний модуль забезпечує:

- інтерактивне формування маршруту;
- генерацію waypoint-місії;
- задання параметрів польоту;

- реалізацію відкладеного запуску місії.

Сформована місія передається до політного контролера через підсистему обміну даними, яка може бути реалізована із використанням протоколу передачі телеметрії. Передача місії може здійснюватися як безпосередньо, так і через допоміжне програмне забезпечення, зокрема Mission Planner. Принцип роботи системи полягає у наступному. Користувач формує місію у програмному інтерфейсі шляхом вибору точок на карті та задання параметрів польоту. Після цього місія передається на політний контролер та зберігається у його пам'яті. Особливістю системи є можливість відкладеного запуску місії. Це означає, що після завантаження місії її виконання може бути розпочате не одразу, а через заданий проміжок часу або за визначеною умовою. Такий підхід дозволяє підвищити рівень автоматизації та зменшити необхідність постійної участі оператора.[28]

Після активації місії дрон переходить у автоматичний режим, у якому автопілот забезпечує виконання маршруту на основі отриманих даних навігації. Під час польоту здійснюється передача телеметричних даних на наземну станцію, що дозволяє контролювати стан системи. Після завершення маршруту можливе автоматичне повернення до точки старту, що підвищує безпечність виконання польоту. Таким чином, запропонована архітектура системи поєднує апаратні та програмні компоненти, включаючи власний програмний модуль формування місій, і забезпечує автоматизоване виконання польотних задач із можливістю відкладеного запуску.

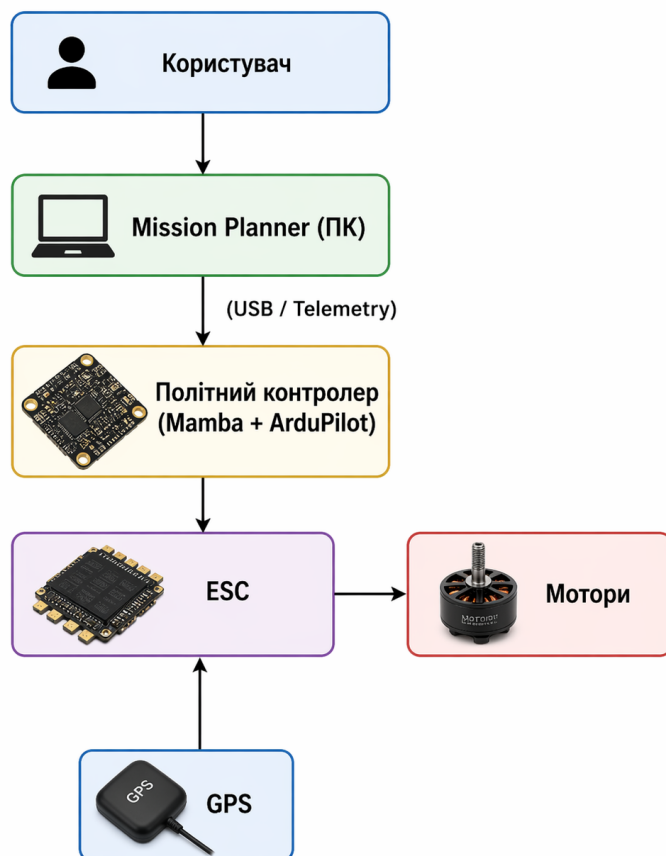


Рис. 2.5 Схема підключення системи

2.6 Формування місії польоту та реалізація grid mission

Формування місії польоту є важливим етапом функціонування системи управління безпілотним літальним апаратом, оскільки визначає траєкторію руху, параметри польоту та послідовність виконання задач. Від правильного налаштування місії залежить ефективність збору даних та якість моніторингу аграрних полів.[29]

У рамках даної роботи формування місій польоту здійснюється за допомогою програмного забезпечення Mission Planner, яке дозволяє створювати маршрути на основі інтерактивної карти місцевості. Місія польоту формується у вигляді набору точок (waypoints), кожна з яких визначає координати, висоту та додаткові параметри. Основними параметрами місії є:

- географічні координати точок маршруту;
- висота польоту;

- швидкість руху;
- режими виконання (AUTO, RTL);
- параметри зйомки (за наявності камери).

Процес формування місії включає наступні етапи:

- Визначення області дослідження на карті;
- Вибір типу місії;
- Налаштування параметрів польоту;
- Генерація маршруту;
- Завантаження місії до політного контролера.

Особливу роль у моніторингу аграрних полів відіграє використання сіткових (grid) місій. Даний тип місії передбачає автоматичне формування маршруту у вигляді паралельних ліній, що забезпечують повне покриття заданої території. Принцип реалізації grid mission полягає у наступному. Оператор задає межі ділянки, після чого система автоматично генерує маршрут у вигляді послідовних проходів над полем. Дрон рухається за “змійкоподібною” траєкторією, що дозволяє ефективно покрити всю площу без пропусків.[30]

Приклад планування GRID місії на рис. 2.6.1

Основними параметрами grid mission є:

- висота польоту;
- перекриття зображень (overlap);
- напрямок руху;

- відстань між маршрутними лініями;
- швидкість польоту.

Використання сіткових місій забезпечує:

- повне покриття досліджуваної території;
- отримання великої кількості зображень;
- можливість подальшого створення ортофотопланів;
- підвищення точності аналізу стану посівів.

Після формування місії вона передається до політного контролера Diatone Mamba Basic F405 Flight Controller, який під керуванням автопілоту ArduPilot забезпечує її виконання у автоматичному режимі. Таким чином, реалізація механізму формування місій польоту, зокрема сіткових маршрутів, є ключовим елементом системи управління дроном та забезпечує ефективне виконання задач моніторингу аграрних полів.

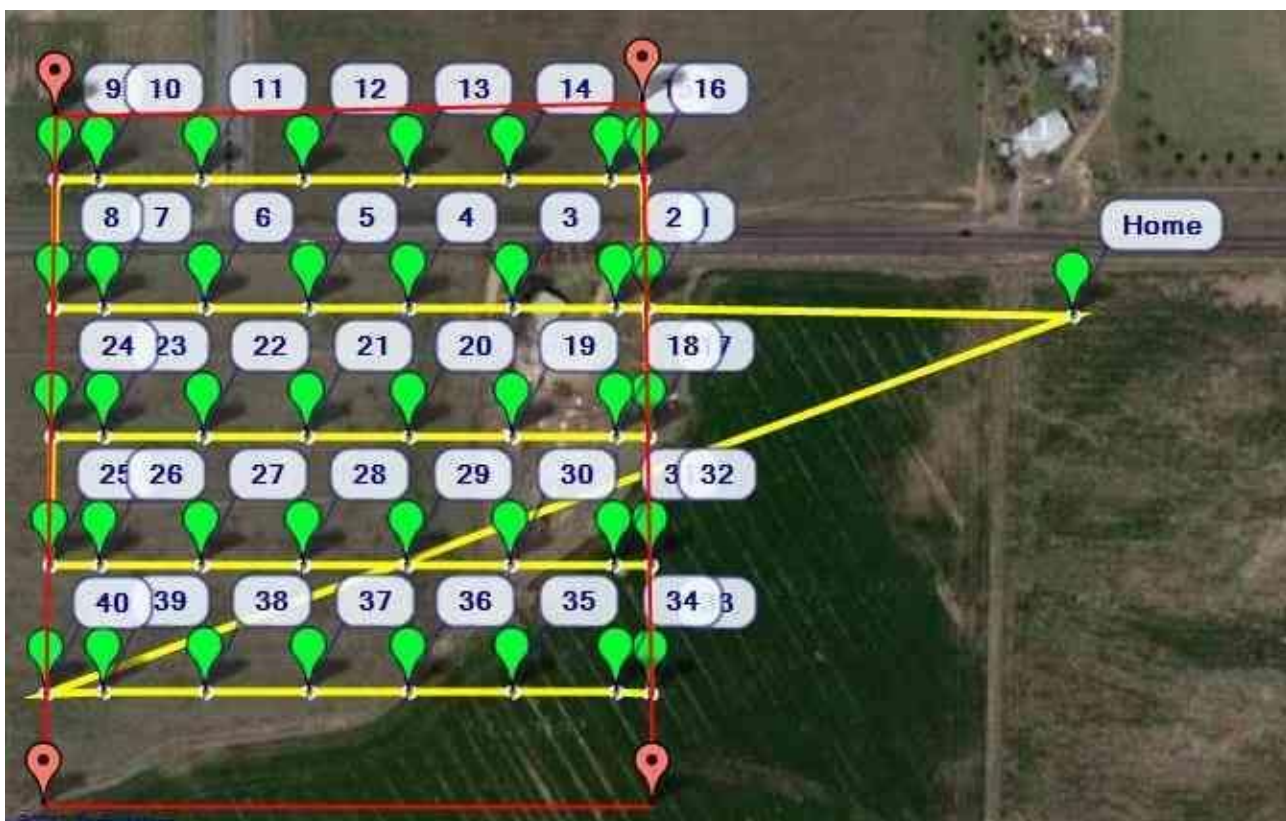


Рис. 2.6.1 Приклад планування GRID місії

РОЗДІЛ 3: Розробка додатку для відкладеного планування місії

3.1 Розробка програмного інтерфейсу формування польотної місії

У рамках практичної частини роботи було розроблено програмний інтерфейс для формування польотної місії безпілотної літального апарата. Основним призначенням даного програмного модуля є спрощення процесу створення маршруту польоту, вибору waypoint-точок на карті та підготовки місії для подальшої передачі на політний контролер. Розроблений інтерфейс дозволяє користувачу формувати маршрут польоту без необхідності ручного введення координат. Для цього у програмі передбачено інтерактивну карту, на якій оператор може обирати точки маршруту. Кожна вибрана точка зберігається як waypoint із відповідними географічними координатами, висотою польоту та порядковим номером у місії.[32]

Основними елементами програмного інтерфейсу є:

- інтерактивна карта для вибору точок маршруту;

- поле введення висоти польоту;
- список сформованих waypoint-точок;
- кнопка очищення маршруту;
- кнопка видалення останньої точки;
- кнопка експорту місії у файл;
- блок налаштування MAVLink-з'єднання;
- кнопка передачі місії на політний контролер;
- механізм відкладеного запуску місії.

Інтерактивна карта є центральним елементом інтерфейсу. Вона дозволяє користувачу візуально обрати необхідні точки маршруту, що значно зменшує ймовірність помилок при формуванні місії. Після вибору точки її координати автоматично додаються до списку waypoint-точок. Список waypoint-точок використовується для контролю сформованого маршруту. У ньому відображаються порядковий номер точки, широта, довгота та висота польоту. Це дозволяє оператору перевірити структуру місії перед її експортом або передачею на політний контролер. Окремим елементом інтерфейсу є можливість експорту місії у файл формату .waypoints, який може бути імпортований у Mission Planner для перевірки та подальшого завантаження на політний контролер. Такий підхід дозволяє використовувати розроблену програму як допоміжний модуль для швидкого формування маршрутів. Також передбачено можливість передачі місії безпосередньо на політний контролер через MAVLink-з'єднання. Для цього користувач задає порт підключення та швидкість обміну даними. Після встановлення з'єднання програма може передати сформовану waypoint-місію на автопілот.[32]

Особливістю розробленого програмного модуля є підтримка відкладеного запуску місії. Дана функція дозволяє підготувати маршрут заздалегідь, передати його на політний контролер та виконати запуск через визначений проміжок часу або у встановлений момент. Це підвищує рівень автоматизації системи та зменшує необхідність постійної участі оператора. Таким чином, розроблений програмний інтерфейс є важливою складовою автоматизованої системи управління дроном, оскільки забезпечує зручне формування, перевірку та передачу польотних місій для виконання моніторингу аграрних полів.

3.2 Створення інтерактивної карти

У програмному засобі для планування місій безпілотного літального апарата одним із ключових елементів інтерфейсу є інтерактивна карта місцевості. Вона використовується для візуального відображення району польоту, вибору точок маршруту, позначення поточного місцезнаходження оператора, побудови меж ділянки та контролю просторового розташування місії. Для реалізації карти у застосунку використовується бібліотека `tkintermapview`, яка інтегрується з графічним інтерфейсом `Tkinter`. Це дозволяє створити настільний застосунок, у якому карта є не окремим зовнішнім сервісом, а безпосередньою частиною робочого вікна програми.

Після запуску застосунку формується головне вікно інтерфейсу. Воно поділяється на дві основні області: панель керування та область карти. Панель керування розміщується ліворуч і містить параметри польоту, інструменти побудови маршруту, налаштування `MAVLink`, телеметрії та інші функції. Карта займає основну праву частину вікна, що забезпечує зручну роботу з просторовими даними. Під час створення карти задається початкова географічна позиція. У програмі як стартові координати використовується центральна область України. Це дозволяє після запуску одразу відобразити карту у релевантній для користувача зоні. Також встановлюється початковий масштаб, достатній для огляду великої території. Надалі користувач може змінювати масштаб карти, переміщуватись по ній та деталізувати потрібну ділянку.

Карта підтримує інтерактивну взаємодію з користувачем. Основна дія виконується за допомогою натискання на карту. Лівий клік використовується для додавання точки маршруту або виконання поточного активного інструменту. Наприклад, якщо увімкнений режим побудови маршруту, натискання на карту створює нову точку польоту. Якщо активовано режим побудови межі ділянки, клік додає точку контуру області для подальшої генерації сіткової місії. Також реалізоване контекстне меню, яке відкривається правою кнопкою миші. Через нього користувач може явно вибрати дію: додати точку маршруту, додати точку межі ділянки або встановити поточне місцезнаходження вручну. Такий підхід робить інтерфейс більш гнучким, оскільки користувач може працювати як у режимі активного інструменту, так і через контекстні команди.

Для візуального позначення об'єктів на карті використовуються маркери. Кожна точка маршруту відображається як окремий маркер із підписом, наприклад WP 1, WP 2 тощо. Це дозволяє оператору швидко бачити послідовність проходження маршруту. Точки межі ділянки також позначаються окремими маркерами, що дає змогу будувати полігон для автоматичної генерації сіткового маршруту.

Крім маркерів, карта підтримує побудову ліній між точками. Після додавання двох або більше маршрутних точок програма з'єднає їх лінією, формуючи візуальне представлення траєкторії польоту. Це дає можливість одразу оцінити форму маршруту, його напрямок та взаємне розташування точок. Для межі ділянки також будується контур, який після додавання достатньої кількості точок може замикатися в полігон. Окремо передбачено роботу з поточним місцезнаходженням. Користувач може автоматично визначити свою позицію за IP-адресою або встановити її вручну на карті. Поточна позиція відображається окремим маркером. У разі потреби її можна додати до маршруту як звичайну точку польоту. Це корисно, коли місія планується відносно фактичного місця перебування оператора або стартової позиції дрона.

У програмі також реалізована можливість перемикання картографічних шарів. Користувач може обрати стандартну карту OpenStreetMap, топографічну

карту OpenТоромар або супутниковий шар. Це розширює можливості аналізу місцевості: стандартна карта зручна для загальної навігації, топографічна — для оцінки рельєфу, а супутникова — для візуального огляду реальних об'єктів на місцевості.

Таким чином, модуль карти виконує не лише функцію відображення місцевості, а є основним інструментом взаємодії користувача з місією. Через карту здійснюється вибір точок маршруту, побудова меж ділянки, перегляд траєкторії польоту, встановлення поточної позиції та аналіз району виконання завдання. Це робить інтерфейс наочним і зручним для планування польотів безпілотного літального апарата приклад зображено на Рис 3.2

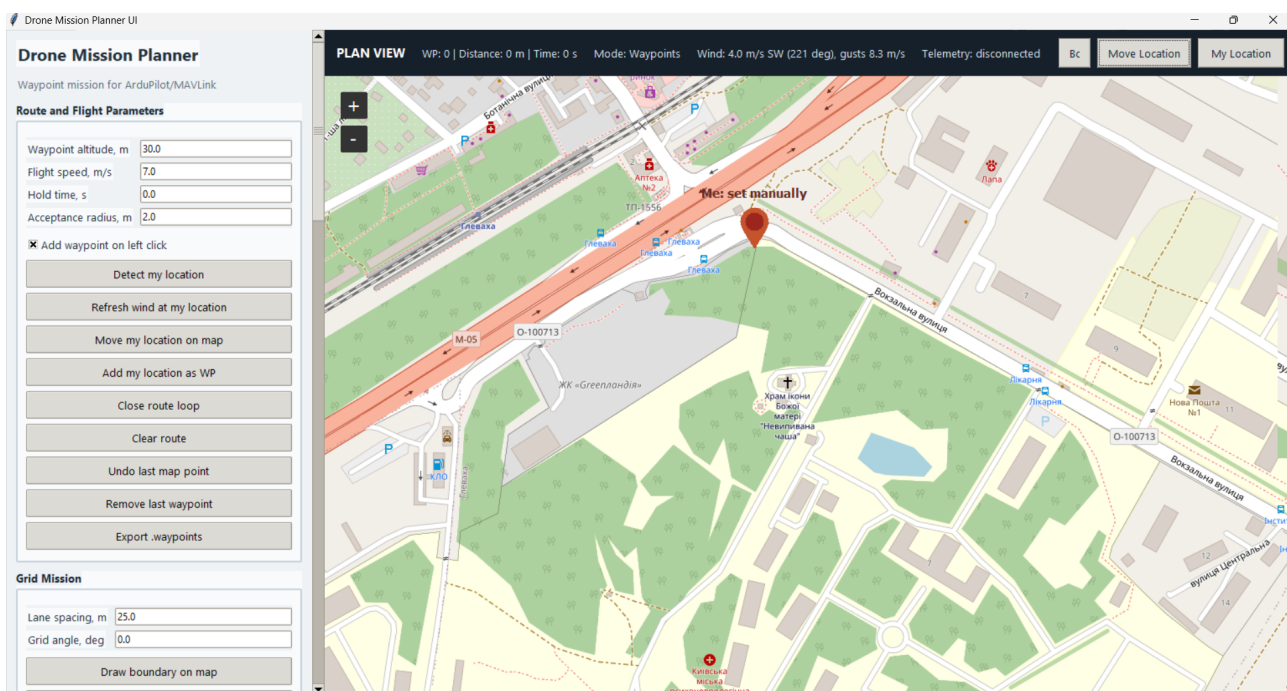


Рис. 3.2 Візуальна частина карти

3.3 Вибір та формування місії польоту

Одним із головних функціональних елементів програмного засобу є модуль вибору та формування місії польоту. Його призначення полягає у створенні маршруту для безпілотного літального апарата, налаштуванні основних параметрів польоту та підготовці місії до подальшого експорту або завантаження у політний контролер.

У розробленому застосунку передбачено два основні підходи до формування місії: ручне створення маршруту за допомогою точок польоту та автоматична генерація сіткової місії для обльоту заданої ділянки. Такий підхід дозволяє використовувати програму як для простих маршрутних польотів, так і для задач, пов'язаних з оглядом території, картографуванням або моніторингом об'єктів.

Ручне планування маршруту здійснюється шляхом додавання маршрутних точок на інтерактивну карту. Користувач натискає на потрібне місце на карті, після чого програма створює нову точку польоту. Кожна така точка містить географічні координати, висоту польоту, час очікування в точці та радіус прийняття точки. Ці параметри визначають поведінку дрона під час проходження маршруту.

Для кожної точки маршруту використовується структура даних 'Waypoint', у якій зберігаються широта, довгота, висота, час затримки та радіус досягнення. Завдяки цьому маршрут представлений у програмі як послідовність об'єктів, з якими зручно виконувати подальші операції: відображення на карті, розрахунок дистанції, експорт у файл або передача через MAVLink.

Перед додаванням точки користувач може налаштувати основні параметри польоту. До них належать висота польоту, швидкість руху, час утримання точки та радіус прийняття. Висота визначає, на якій відносній висоті дрон має проходити маршрутну точку. Швидкість використовується для оцінки тривалості польоту та формування команди зміни швидкості. Час утримання задає, скільки секунд апарат має залишатися в точці. Радіус прийняття визначає відстань, на якій точка вважається досягнутою.

Після додавання точок програма автоматично відображає їх на карті у вигляді маркерів із послідовною нумерацією. Між точками будується лінія маршруту, що дозволяє оператору візуально оцінити траєкторію польоту. Також у бічній панелі формується список усіх маршрутних точок із координатами та параметрами. Це спрощує контроль структури місії та дає змогу швидко перевірити правильність побудови маршруту.

Для редагування маршруту реалізовані допоміжні функції. Користувач може видалити останню точку, скасувати останню дію, очистити весь маршрут або замкнути маршрут у петлю. Замикання маршруту означає, що в кінець списку додається точка з координатами першої точки. Це корисно для місій, у яких дрон повинен повернутися до початкової області маршруту.

Другий режим формування місії – це побудова сіткового маршруту. Він використовується тоді, коли потрібно рівномірно облетіти певну територію. Для цього користувач спочатку вмикає режим побудови межі ділянки та позначає на карті вершини полігону. Після додавання щонайменше трьох точок програма може сформувати замкнену область, усередині якої буде згенеровано маршрут.

Під час генерації сіткової місії враховуються два основні параметри: відстань між лініями маршруту та кут повороту сітки. Відстань між лініями визначає щільність покриття території. Чим менше значення цього параметра, тим детальніше буде обліт, але тим довшим стане маршрут. Кут сітки дозволяє повернути напрямок проходів відповідно до особливостей місцевості або вимог завдання.

Алгоритм генерації сіткової місії працює з координатами межі ділянки. Спочатку географічні координати перетворюються у локальну метричну систему координат. Це потрібно для того, щоб зручно виконувати геометричні розрахунки у метрах. Далі полігон повертається на заданий кут, після чого всередині нього будуються паралельні лінії. Точки перетину цих ліній з полігоном використовуються для створення послідовності проходів.

Сформовані точки сітки впорядковуються за принципом “змійки”: один прохід виконується в одному напрямку, наступний — у протилежному. Такий підхід зменшує кількість зайвих розворотів і робить маршрут більш ефективним. Після генерації сіткові точки перетворюються назад у географічні координати та замінюють поточний список маршрутних точок.

У процесі планування програма також розраховує коротку зведену інформацію про місію. Вона включає кількість точок, приблизну довжину маршруту та орієнтовний час польоту. Дистанція між точками обчислюється за

географічними координатами з використанням формули гаверсінуса, яка дозволяє оцінювати відстань між двома точками на поверхні Землі.

Після завершення побудови маршруту місія може бути експортована у форматі QGC WPL 110. Цей формат підтримується такими наземними станціями керування, як Mission Planner і QGroundControl. Під час формування файлу програма додає домашню позицію, команду зльоту, команду зміни швидкості, усі маршрутні точки та команду повернення до точки запуску. Завдяки цьому сформована місія може бути перевірена в зовнішньому програмному забезпеченні або використана для подальшого завантаження у політний контролер.

Таким чином, модуль вибору та формування місії забезпечує повний цикл підготовки маршруту: від вибору точок на карті до створення структурованої місії у стандартному форматі. Наявність ручного та автоматичного режимів планування робить систему придатною як для простих маршрутних польотів, так і для складніших задач обльоту територій.

3.4 Відправка місії через MAVLink та відкладений запуск

Після формування маршруту наступним етапом роботи програмного засобу є передача місії до політного контролера. Для цього в застосунку використовується протокол MAVLink. MAVLink є поширеним протоколом обміну даними між наземною станцією керування, автопілотом, симулятором або іншими компонентами безпілотної системи. У межах даного програмного засобу він використовується для завантаження маршрутної місії, запуску місії та взаємодії з автопілотом.

Перед відправкою місії користувач задає параметри підключення до політного контролера. У відповідному блоці інтерфейсу вказується порт або мережева адреса, а також швидкість обміну даними. Наприклад, для фізичного контролера може використовуватись послідовний порт типу `COM3`, а для симулятора — UDP-з'єднання. Це дозволяє застосовувати програму як для реального обладнання, так і для тестування в SITL-середовищі.

Процес передачі місії починається з перевірки наявності маршрутних точок. Якщо користувач не створив жодного waypoint, програма не дозволяє виконати завантаження. Така перевірка запобігає надсиланню порожньої або некоректної місії до автопілота. Додатково перед виконанням MAVLink-операцій виводиться попередження з вимогою перевірити безпечність роботи, зокрема зняти пропелери або використовувати симулятор.

Після підтвердження безпечного виконання програма встановлює MAVLink-з'єднання. Для цього використовується бібліотека ``rpy2mavlink``, яка забезпечує роботу з MAVLink-повідомленнями на рівні Python. Після відкриття з'єднання програма очікує heartbeat-повідомлення від автопілота. Heartbeat підтверджує, що політний контролер або симулятор активний і готовий до обміну даними. Після цього визначаються ідентифікатори цільової системи та компонента, які потрібні для адресації наступних MAVLink-команд.

Перед надсиланням місії сформований у програмі маршрут перетворюється у набір MAVLink mission items. Кожна точка маршруту представляється окремим повідомленням місії. На початку додається команда зльоту, далі команда зміни швидкості, після чого додаються всі waypoint-точки. Наприкінці місії додається команда повернення до точки запуску. Така структура дозволяє автопілоту отримати повний сценарій польоту: зліт, проходження маршруту та завершення місії поверненням.

Після формування mission items програма очищує попередню місію в автопілоті. Це необхідно, щоб у пам'яті політного контролера не залишалися старі команди, які можуть конфліктувати з новим маршрутом. Потім програма надсилає кількість елементів нової місії. Політний контролер у відповідь починає запитувати окремі елементи місії за їх порядковими номерами.

Передача місії відбувається не одним суцільним блоком, а поетапно. Автопілот надсилає запит на конкретний елемент місії, після чого програма передає відповідне MAVLink-повідомлення. Такий механізм забезпечує контрольовану передачу даних і дозволяє переконатися, що автопілот отримує

всі команди в правильній послідовності. Якщо контролер не надсилає запит або повертає некоректний номер елемента, програма повідомляє про помилку.

Після передачі всіх елементів програма очікує повідомлення `'MISSION_ACK'`. Це підтвердження з боку автопілота означає, що місія прийнята. Якщо підтвердження не отримано протягом заданого часу, операція вважається невдалою. У разі успішного завершення користувач отримує повідомлення про те, що місію успішно завантажено через MAVLink.

У програмі також передбачено можливість автоматичного старту місії після її завантаження. Якщо користувач увімкнув відповідну опцію, після успішної передачі маршруту програма надсилає додаткові команди автопілоту. Спочатку, за потреби, може бути виконана команда озброєння дрона. Після цього автопілот переводиться в автоматичний режим, а потім надсилається команда старту місії. Цей режим є потенційно небезпечним, тому він супроводжується попередженням і має використовуватись лише в безпечних умовах або в симуляторі.

Окремою функцією системи є відкладений запуск. Його призначення полягає в тому, щоб виконати завантаження місії не відразу, а через певний проміжок часу або у визначений момент. Це може бути корисно під час підготовки демонстрацій, тестів або сценаріїв, у яких місія повинна стартувати за розкладом.

У застосунку реалізовано два способи планування відкладеного запуску. Перший спосіб – запуск через задану кількість хвилин. Користувач вводить кількість хвилин, після чого програма обчислює час майбутнього запуску. Другий спосіб – запуск у конкретний час у форматі `'HH:MM'`. Якщо вказаний час уже минув у поточній добі, програма переносить запуск на наступний день.

Після встановлення часу запуску створюється окремий фоновий потік. Це потрібно для того, щоб очікування не блокувало графічний інтерфейс. Поки потік працює, програма періодично перевіряє поточний час і порівнює його із запланованим. У статусному полі відображається час, що залишився до запуску. Завдяки цьому користувач може контролювати стан очікування.

Коли запланований час настає, програма автоматично викликає процедуру завантаження місії через MAVLink. Тобто відкладений запуск використовує той самий механізм передачі місії, що й звичайне ручне завантаження. Це забезпечує однакову логіку роботи та зменшує дублювання функціональності.

Також передбачена можливість скасування відкладеного запуску. Для цього використовується спеціальна подія зупинки, яка повідомляє фоновому потоку, що очікування потрібно припинити. Після скасування статус програми оновлюється, а автоматичне завантаження місії не виконується приклад створення GRID місії зображено на Рис 3.3

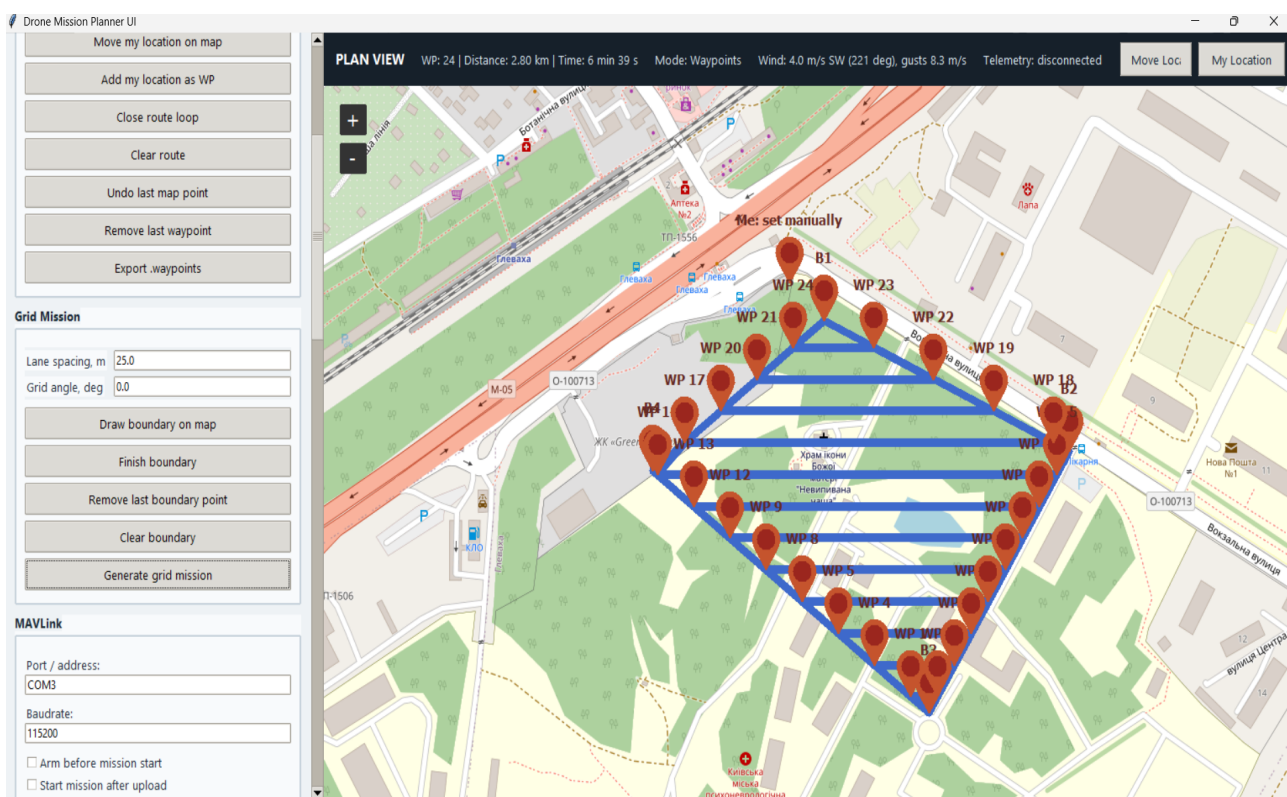


Рис. 3.3 Приклад GRID місію у створеному інтерфейсі

3.4 Приклад налаштування відкладеного запуску

Таким чином, модуль MAVLink-відправки та відкладеного запуску забезпечує практичний зв'язок між спланованою місією та політним контролером. Він відповідає за підключення до автопілота, формування MAVLink-команд, передачу маршруту, підтвердження успішного завантаження, запуск місії та виконання дій за розкладом. Це робить програму не лише

засобом візуального планування, а повноцінним інструментом підготовки й передачі польотного завдання можна побачити на Рис 3.4

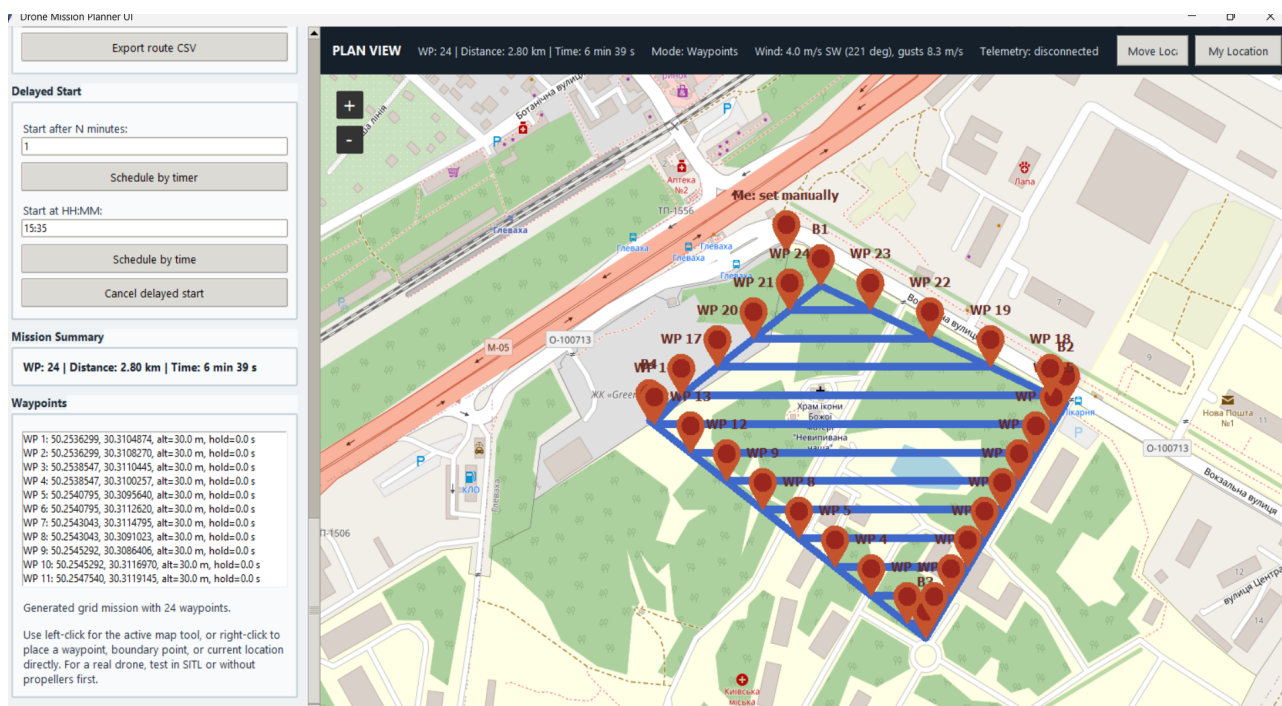


Рис. 3.4 Приклад створення GRID місії у додатку

Список використаних джерел

1. Моніторинг полів в сільському господарстві: як застосовувати отримані дані[Електронний ресурс]-<https://blog.agrokebety.com/monitorynh-poliv-v-silskomu-hospodarstvi> (дата звернення: 01.04.2026)
2. AI and Electronics in Modern Agriculture: From Field Monitoring to Autonomous Systems [Електронний ресурс]. – <https://researchgate.net/> (дата звернення: 01.04.2026).
3. Цифрова агрономія [Електронний ресурс]. – <https://rhiza.com.ua/innovacziyi-v-agrosektori-vykorystannya-droniv-dlya-monitoryngu-poliv/> (дата звернення: 02.04.2026).
4. UAV-Based Spectral and Thermal Indices in Precision Viticulture [Електронний ресурс]. – <https://sciencedirect.com/> (дата звернення: 02.04.2026).
5. Vegetation Indices (VARI, NDVI) Explained [Електронний ресурс]. – <https://farmonaut.com/> (дата звернення: 03.04.2026).
6. Дрони і Супутники в Сільському [Електронний ресурс]. – <https://eos.com/uk/blog/drony-ta-suputnyky/> (дата звернення: 03.04.2026).
7. Моніторинг земель: призначення та завдання [Електронний ресурс]. –https://legaid.wiki/index.php/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3_%D0%B7%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BB%D1%8C:_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D1%82%D0%B0_%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F (дата звернення: 03.04.2026).
8. Моніторинг стану рослинності за допомогою даних дистанційного зондування Землі [Електронний ресурс]. – <https://ua.sensefarming.com/monitoryng-stanu-roslynnosti/> (дата звернення: 04.04.2026).

9. Вимірювання як основа для визначення стану ґрунтів: виклики сучасності та шляхи їх вирішення [Електронний ресурс]. – <https://agro-business.com.ua/zberezhennia-hruntu/item/31331-vymiriuвання-i-ak-osnova-dlia-vyznachennia-stanu-gruntiv-vyklyky-suchasnosti-ta-shliakhy-i-kh-vyrishennia.html> (дата звернення: 04.04.2026).
10. Моніторинг вегетаційних індексів (NDVI) у сільському господарстві [Електронний ресурс]. – <https://www.soft.farm/uk/blog/monitoring-vegetacijnih-indeksiv-ndvi-u-silskomu-gospodarstvi-139> (дата звернення: 05.04.2026).
11. Вегетаційні індекси NDVI, EVI, GNDVI, CVI, True color [Електронний ресурс]. – <https://www.soft.farm/uk/blog/vegetacijni-indeksi-ndvi-evi-gndvi-cvi-true-color-140> (дата звернення: 05.04.2026).
12. Як гіперспектральна супутникова зйомка допомагає точному землеробству? [Електронний ресурс]. – <https://geopard.tech/uk/%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%B3/%D1%8F%D0%BA-%D1%81%D1%83%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%96-%D0%B7%D0%BD%D1%96%D0%BC%D0%BA%D0%B8-%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%B0%D1%8E%D1%82%D1%8C-%D1%82%D0%BE/> (дата звернення: 06.04.2026).
13. Мультиспектральний аналіз дронами в садівництві та плодоовочівництві: можливості для підвищення ефективності [Електронний ресурс]. – <https://east-fruit.com/uk/plodoovochevyi-rynok/oglyady-rynku/multyspektralnyy-analiz-dronamy-v-sadivnytstvi-ta-plodoovochivnytstvi-mozhlyvosti-dlya-pidvyshchennya-efektyvnosti/> (дата звернення: 07.04.2026).
14. Detecting Plant Stress Using Thermal and Optical Imagery From an Unoccupied Aerial Vehicle [Електронний ресурс]. – <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8579776/> (дата звернення: 08.04.2026).

15. Multispectral Image Segmentation in Agriculture: A Comprehensive Study on Fusion Approaches [Електронний ресурс]. – <https://arxiv.org/abs/2308.00159> (дата звернення: 08.04.2026).
16. An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges [Електронний ресурс]. – https://www.researchgate.net/publication/325585854_An_Overview_of_Internet_of_Things_IoT_and_Data_Analytics_in_Agriculture_Benefits_and_Challenges (дата звернення: 09.04.2026).
17. Пояснення про PID регулятор [Електронний ресурс]. – <https://fpvua.org/threads/poyasnennya-shchodo-pid-dlya-fpv-droniv-pokrashchennya-pol-otnykh-kharakterystyk-za-dopomohoyu-nalashtuvannya-pid.487/> (дата звернення: 10.04.2026).
18. Components of GPS Drones [Електронний ресурс]. – <https://gaotek.com/> (дата звернення: 10.04.2026).
19. PX4 Architectural Overview [Електронний ресурс]. – <https://docs.px4.io/> (дата звернення: 10.04.2026).
20. PX4 vs ArduPilot: Build Powerful Drone Control Apps [Електронний ресурс]. – <https://a-bots.com/> (дата звернення: 10.04.2026).
21. DJI [Електронний ресурс]. – <https://www.dji.com/global> (дата звернення: 11.04.2026).
22. Ground Control Stations [Електронний ресурс]. – <https://ardupilot.org/plane/docs/common-GCS.html> (дата звернення: 11.04.2026).
23. ArduPilot & PX4 Integration with UgCS [Електронний ресурс]. – <https://sphengineering.com/> (дата звернення: 13.04.2026).
24. Multirotor design [Електронний ресурс]. – <https://hal.science/hal-02433405v2/file/main.pdf> (дата звернення: 15.04.2026).
25. UAV Agriculture Drone Components [Електронний ресурс]. – <https://bharatskytech.com/> (дата звернення: 16.04.2026).

26. Practical Guidelines for UAV Mapping Flights [Электронный ресурс]. – <https://mdpi.com/> (дата звернения: 17.04.2026).
27. Grid Mission Planning Guide [Электронный ресурс]. – <https://flytbase.com/> (дата звернения: 18.04.2026).
28. Flight Path Optimization for Mapping Projects [Электронный ресурс]. – <https://anvil-labs.com/> (дата звернения: 21.04.2026).
29. Next-Generation Crop Monitoring Technologies [Электронный ресурс]. – <https://researchgate.net/> (дата звернения: 22.04.2026).
30. Autonomous Waypoint Planning for UAVs [Электронный ресурс]. – <https://arxiv.org/> (дата звернения: 30.04.2026).
31. Flight Control Software Architecture for UAV [Электронный ресурс]. – <https://mdpi.com/> (дата звернения: 03.05.2026).
32. Mission Planning [Электронный ресурс]. – <https://ardupilot.org/planner/docs/common-mission-planning.html> (дата звернения: 03.05.2026).
33. Mavlink [Электронный ресурс]. – <https://ardupilot.org/dev/docs/mavlink-commands.html> (дата звернения: 03.05.2026).

Лістинг програмного коду

Створення мапи

```
import tkinter as tk
from tkinter import ttk
```

```
import tkintermapview
```

```
DEFAULT_HOME_LAT = 49.0
DEFAULT_HOME_LON = 31.0
```

```
class MapCreationPart:
```

```
    def build_map_area(self, main: ttk.Frame) -> None:
        map_frame = ttk.Frame(main, style="Map.TFrame")
        map_frame.pack(side=tk.RIGHT, fill=tk.BOTH, expand=True)

        map_toolbar = ttk.Frame(map_frame, padding=(12, 10),
style="Toolbar.TFrame")
        map_toolbar.pack(side=tk.TOP, fill=tk.X)

        ttk.Label(map_toolbar, text="PLAN VIEW",
style="ToolbarTitle.TLabel").pack(side=tk.LEFT)
        ttk.Label(map_toolbar, textvariable=self.mission_summary,
style="Toolbar.TLabel").pack(side=tk.LEFT, padx=(16, 0))
        ttk.Label(map_toolbar, textvariable=self.map_mode_text,
style="Toolbar.TLabel").pack(side=tk.LEFT, padx=(16, 0))
        ttk.Label(map_toolbar, textvariable=self.wind_text,
style="Toolbar.TLabel").pack(side=tk.LEFT, padx=(16, 0))
```

```

        ttk.Button(map_toolbar, text="My Location", style="Accent.TButton",
command=self.locate_me).pack(side=tk.RIGHT)

        ttk.Button(map_toolbar, text="Move Location", style="Accent.TButton",
command=self.enable_manual_location_mode).pack(
            side=tk.RIGHT,
            padx=(0, 8),
        )

        ttk.Button(map_toolbar, text="Boundary Tool", style="Accent.TButton",
command=self.enable_boundary_mode).pack(
            side=tk.RIGHT,
            padx=(0, 8),
        )

        self.map_widget = tkintermapview.TkinterMapView(map_frame,
corner_radius=0)
        self.map_widget.pack(fill=tk.BOTH, expand=True)
        self.map_widget.set_position(DEFAULT_HOME_LAT,
DEFAULT_HOME_LON)
        self.map_widget.set_zoom(6)

        self.map_widget.add_left_click_map_command(self.add_waypoint_from_map)
        self.map_widget.add_right_click_menu_command(
            label="Add waypoint",
            command=self.add_waypoint_from_map,
            pass_coords=True,
        )
        self.map_widget.add_right_click_menu_command(
            label="Add boundary point",
            command=self.add_boundary_point_from_map,
            pass_coords=True,

```

```

)
self.map_widget.add_right_click_menu_command(
    label="Set current location here",
    command=self.set_current_location_from_map,
    pass_coords=True,
)

def apply_map_tile_server(self) -> None:
    servers = {
        "OpenStreetMap": ("https://a.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png", 19),
        "OpenTopoMap": ("https://a.tile.opentopomap.org/{z}/{x}/{y}.png", 17),
        "Google      satellite":
("https://mt0.google.com/vt/lyrs=s&hl=en&x={x}&y={y}&z={z}&s=Ga", 20),
    }

    url, max_zoom = servers.get(self.map_tile_server.get(),
servers["OpenStreetMap"])
    self.map_widget.set_tile_server(url, max_zoom=max_zoom)
    self.status_text.set(f"Map layer changed to {self.map_tile_server.get()}.")

def show_current_location(self, lat: float, lon: float, label: str) -> None:
    if self.current_location_marker is not None:
        self.current_location_marker.set_position(lat, lon)
        self.current_location_marker.set_text(f"Me: {label}")
    else:
        self.current_location_marker = self.map_widget.set_marker(lat, lon,
text=f"Me: {label}")

    self.map_widget.set_position(lat, lon)
    self.map_widget.set_zoom(15)

```

Створення місії

```
from dataclasses import dataclass
```

```
MAV_CMD_NAV_WAYPOINT = 16
```

```
MAV_CMD_NAV_RETURN_TO_LAUNCH = 20
```

```
MAV_CMD_NAV_TAKEOFF = 22
```

```
MAV_CMD_DO_CHANGE_SPEED = 178
```

```
MAV_FRAME_GLOBAL = 0
```

```
MAV_FRAME_GLOBAL_RELATIVE_ALT = 3
```

```
MAV_FRAME_MISSION = 2
```

```
Point = tuple[float, float]
```

```
@dataclass
```

```
class Waypoint:
```

```
    lat: float
```

```
    lon: float
```

```
    alt: float
```

```
    hold: float
```

```
    acceptance_radius: float
```

```
class MissionSelectionPart:
```

```
    def add_waypoint_from_map(self, coords: Point) -> None:
```

```
        if self.boundary_mode_enabled.get():
```

```
            self._add_boundary_point(coords)
```

```
        return
```

```

if self.manual_location_mode.get():
    self._show_current_location(coords[0], coords[1], "set manually")
    self._set_map_mode("waypoint")
    return

```

```

if self.add_mode_enabled.get():
    self._add_waypoint(coords)

```

```

def _add_waypoint(self, coords: Point) -> None:

```

```

    lat, lon = coords
    altitude, _speed, hold, radius = self._read_flight_params()

```

```

    waypoint = Waypoint(
        lat=lat,
        lon=lon,
        alt=altitude,
        hold=hold,
        acceptance_radius=radius,
    )

```

```

    self.waypoints.append(waypoint)

```

```

        self.markers.append(self.map_widget.set_marker(lat, lon, text=f'WP
{len(self.waypoints)}'))

```

```

    self._redraw_path()

```

```

    self._refresh_waypoints_list()

```

```

def _add_boundary_point(self, coords: Point) -> None:

```

```

    lat, lon = coords

```

```

    self.boundary_points.append((lat, lon))

```

```

        self.boundary_markers.append(self.map_widget.set_marker(lat, lon,
text=f"B{len(self.boundary_points)}"))
        self._redraw_boundary()
        self.status_text.set(f"Added boundary point {len(self.boundary_points)}")

def generate_grid_mission(self) -> None:
    if len(self.boundary_points) < 3:
        raise ValueError("Add at least 3 boundary points before generating a grid
mission.")

    altitude, _speed, hold, radius = self._read_flight_params()
    spacing, angle = self._read_grid_params()
    grid_points = self._build_grid_points(self.boundary_points, spacing, angle)

    self.waypoints = [
        Waypoint(lat=lat, lon=lon, alt=altitude, hold=hold, acceptance_radius=radius)
        for lat, lon in grid_points
    ]
    self._replace_waypoints(self.waypoints)
    self._set_map_mode("waypoint")

def build_qgc_wpl_110(self) -> str:
    if not self.waypoints:
        raise ValueError("There are no waypoints to export.")

    _altitude, speed, _hold, _radius = self._read_flight_params()
    home = self.waypoints[0]
    lines = ["QGC WPL 110"]

    lines.append(

```

```

        f"0\t1\t{MAV_FRAME_GLOBAL}\t0\t0\t0\t0\t0\t"
        f"{home.lat:.8f}\t{home.lon:.8f}\t{home.alt:.6f}\t1"
    )
    lines.append(

f"1\t0\t{MAV_FRAME_GLOBAL_RELATIVE_ALT}\t{MAV_CMD_NAV_TAKE
OFF}\t0\t0\t0\t0\t"
        f"{home.lat:.8f}\t{home.lon:.8f}\t{home.alt:.6f}\t1"
    )
    lines.append(

f"2\t0\t{MAV_FRAME_MISSION}\t{MAV_CMD_DO_CHANGE_SPEED}\t0\t{sp
eed:.3f}\t-1\t0\t"
        "0\t0\t0\t1"
    )

    seq = 3
    for waypoint in self.waypoints:
        lines.append(

f"{seq}\t0\t{MAV_FRAME_GLOBAL_RELATIVE_ALT}\t{MAV_CMD_NAV_W
AYPOINT}\t"
            f"{waypoint.hold:.3f}\t{waypoint.acceptance_radius:.3f}\t0\t0\t"
            f"{waypoint.lat:.8f}\t{waypoint.lon:.8f}\t{waypoint.alt:.6f}\t1"
        )
        seq += 1

    lines.append(

```

```
f"{seq}\t0\t{MAV_FRAME_GLOBAL_RELATIVE_ALT}\t{MAV_CMD_NAV_RETURN_TO_LAUNCH}\t0\t0\t0\t0\t"
    "0\t0\t0\t1"
)
return "\n".join(lines) + "\n"
```

Створення місії

```
import time
import tkinter as tk
from tkinter import messagebox
```

```
MAV_CMD_NAV_WAYPOINT = 16
MAV_CMD_NAV_RETURN_TO_LAUNCH = 20
MAV_CMD_NAV_TAKEOFF = 22
MAV_CMD_DO_CHANGE_SPEED = 178
MAV_CMD_COMPONENT_ARM_DISARM = 400
MAV_CMD_MISSION_START = 300
```

```
MAV_FRAME_GLOBAL_RELATIVE_ALT = 3
MAV_FRAME_MISSION = 2
```

```
class MavlinkMissionUploadPart:
    def _connect_mavlink(self):
        try:
            from pymavlink import mavutil
        except ImportError as exc:
```

```

        raise RuntimeError("pymavlink is not installed. Run: pip install -r
requirements.txt") from exc

```

```

try:
    baud = int(self.baudrate.get())
except tk.TclError as exc:
    raise ValueError("Invalid MAVLink baudrate.") from exc

```

```

        master = mavutil.mavlink_connection(self.connection_string.get().strip(),
baud=baud)

```

```

        master.wait_heartbeat(timeout=15)
        return master, mavutil

```

```

def upload_mission_mavlink(self, skip_confirmation: bool = False) -> None:

```

```

    if not self.waypoints:
        messagebox.showwarning("Error", "There are no waypoints to upload.")
        return

```

```

        if not skip_confirmation and not self._confirm_mavlink_action("mission
upload"):
            return

```

```

try:
    self.status_text.set("Connecting to MAVLink...")
    master, mavutil = self._connect_mavlink()
    target_system = master.target_system
    target_component = master.target_component
    items = self._build_mavlink_mission_items(mavutil, target_system,
target_component)

```

```

master.mav.mission_clear_all_send(target_system, target_component)
time.sleep(0.5)
master.mav.mission_count_send(target_system, target_component, len(items))

sent = 0
while sent < len(items):
    message = master.recv_match(
        type=["MISSION_REQUEST", "MISSION_REQUEST_INT",
"MISSION_ACK"],
        blocking=True,
        timeout=20,
    )
    if message is None:
        raise TimeoutError("Autopilot did not request the next mission item.")
    if message.get_type() == "MISSION_ACK":
        break

    seq = int(message.seq)
    if seq < 0 or seq >= len(items):
        raise RuntimeError(f"Invalid mission item sequence: {seq}")

    master.mav.send(items[seq])
    sent += 1

    ack = master.recv_match(type="MISSION_ACK", blocking=True,
timeout=20)
    if ack is None:
        raise TimeoutError("MISSION_ACK was not received.")

    if self.start_after_upload.get():

```

```

        self._send_start_commands(master, target_system, target_component)

    self.status_text.set("Mission uploaded successfully via MAVLink.")
    messagebox.showinfo("Done", "Mission uploaded successfully via
MAVLink.")
except Exception as exc:
    self.status_text.set("MAVLink error.")
    messagebox.showerror("MAVLink error", str(exc))

    def _build_mavlink_mission_items(self, mavutil, target_system: int,
target_component: int):
        _altitude, speed, _hold, _radius = self._read_flight_params()
        items = []

    def add_item(
        seq: int,
        frame: int,
        command: int,
        lat: float,
        lon: float,
        alt: float,
        current: int = 0,
        p1: float = 0,
        p2: float = 0,
        p3: float = 0,
        p4: float = 0,
    ) -> None:
        message = mavutil.mavlink.MAVLink_mission_item_int_message(
            target_system,
            target_component,

```

```

seq,
frame,
command,
current,
1,
p1,
p2,
p3,
p4,
int(lat * 1e7),
int(lon * 1e7),
float(alt),
)
items.append(message)

```

```

home = self.waypoints[0]
        add_item(0, MAV_FRAME_GLOBAL_RELATIVE_ALT,
MAV_CMD_NAV_TAKEOFF, home.lat, home.lon, home.alt, current=1)
        add_item(1, MAV_FRAME_MISSION, MAV_CMD_DO_CHANGE_SPEED,
0.0, 0.0, 0.0, p1=0, p2=speed, p3=-1)

```

```

seq = 2
for waypoint in self.waypoints:
    add_item(
        seq,
        MAV_FRAME_GLOBAL_RELATIVE_ALT,
        MAV_CMD_NAV_WAYPOINT,
        waypoint.lat,
        waypoint.lon,
        waypoint.alt,

```

```

        p1=waypoint.hold,
        p2=waypoint.acceptance_radius,
    )
    seq += 1

    add_item(seq, MAV_FRAME_GLOBAL_RELATIVE_ALT,
MAV_CMD_NAV_RETURN_TO_LAUNCH, 0.0, 0.0, 0.0)

    return items

def _send_start_commands(self, master, target_system: int, target_component: int)
-> None:

    if self.arm_before_start.get():
        master.mav.command_long_send(
            target_system,
            target_component,
            MAV_CMD_COMPONENT_ARM_DISARM,
            0,
            1,
            0,
            0,
            0,
            0,
            0,
            0,
            0,
            0,
            0,
            0,
            0,
        )
        time.sleep(1)

    master.set_mode_auto()
    time.sleep(0.5)
    master.mav.command_long_send(

```

