

УДК 631.348:629.734.7

DOI: 10.37128/2520-6168-2021-2-16

**ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО  
АПАРАТУ AGRAS T16****Холодюк Олександр Володимирович**, к.т.н., ст. викладач  
Вінницький національний аграрний університет**Oleksandr Kholodiuk**, Ph.D., Senior teacher  
Vinnytsia National Agrarian University

*Науковий і технічний прогрес дозволяє сьогодні широко використовувати в землеробстві сучасні технології під час планування і використання агротехнологій. Такими технологіями, безсумнівно, є застосування безпілотних літальних апаратів. Нині вони дозволяють збирати інформацію про поле, скласти ортофотоплан поля, здійснювати моніторинг посівів та його стан на різних етапах розвитку рослин, виконувати картографію, відстежувати нормалізований вегетаційний індекс, обприскувати засобами захисту рослин для боротьби зі шкідниками та хворобами чи вносити трихограму.*

*Об'єктом дослідження в даній статті був процес підготовки, налаштування, планування місії польоту та використання безпілотного літального апарату Agras T16 на обприскуванні робочих ділянок.*

*Метою досліджень є ефективне використання дрона Agras T16 від компанії DJI шляхом обґрунтування основних заходів щодо своєчасності та правильності його підготовки до роботи, налаштування на задані параметри експлуатації, планування місії виконання та розрахунок продуктивності його роботи.*

*Завданням роботи передбачалось: здійснити аналіз існуючих досліджень щодо використання безпілотних літальних апаратів в Україні для цілей сільського господарства; встановити конструкційні особливості дрона; з'ясувати основні налаштування і планування польотів; встановити продуктивність дрона на обприскуванні та обґрунтувати заходи і шляхи його ефективного використання.*

*Методика досліджень ґрунтувалась на методі пізнавальної діяльності, методах аналізу та синтезу як інформації з офіційних джерел, так і інформації з праць інших дослідників.*

*У науковій роботі розглянуто відмінні конструкційні та технічні особливості гексакоптера Agras T16 від моделей попереднього покоління. Обґрунтовані практичні аспекти його використання при обприскуванні, підготовка до роботи, налаштування, вибір необхідного режиму експлуатації, планування полів і місії польотів за допомогою пульта дистанційного керування та робота із зарядною станцією. Відображені основні особливості різних режимів його експлуатації Manual Operation, Manual Plus, A-B Route Operation, Route Operation, які дозволяють вирішувати різні поставлені завдання. Особлива увага приділена методам польового планування польотів (маршрутів) дрона, налаштування системи розпилення, калібрування компаса і форсунок. За результатами теоретичних досліджень встановлено продуктивність дрона за годину змінного часу, яка склала 8,8 га/год. Обґрунтовані заходи щодо зменшення непродуктивних витрат часу при обприскуванні Agras T16 робочих ділянок.*

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, гексакоптер, Agras T16, ортофотоплан, планування польотів, обприскування, ультрамалооб'ємне внесення, зарядний пристрій, пульт керування, продуктивність дрона, OcuSync, D-RTK 2.

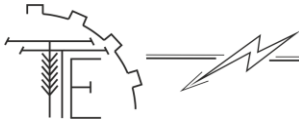
**Ф. 10. Рис. 13. Літ. 19.**

---

**1. Постановка проблеми**

Світ не стоїть на місці. Нові технології захоплюють все нові сфери людського життя і сільське господарство не є винятком. Науковий і технічний прогрес дозволяє сьогодні широко використовувати в землеробстві сучасні технології під час планування і використання агротехнологій [1, 2]. Такими технологіями, безсумнівно, є застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Розвиток сільського господарства спонукає розвиток технологій і навпаки. Більшість аграріїв починають використовувати технології точного землеробства. Не виключенням є використання БПЛА, які дозволяють збирати інформацію про поле, скласти ортофотоплан поля, здійснювати моніторинг



посівів та його стан на різних етапах розвитку рослин, виконувати картографію, відстежувати нормалізований вегетаційний індекс (NDVI), обприскувати засобами захисту рослин для боротьби зі шкідниками та хворобами чи вносити трихограму.

Так, під безпілотним літальним апаратом – розуміють літальний апарат, який літає та сідає без фізичної присутності пілота на його борту [3]. Це мобільні, автономні, запрограмовані на виконання певних функцій літальні апарати, які найчастіше конструктивно виконані у вигляді чотири-, і шестироторного гвинтокрила – відповідно квадрокоптера і гексакоптера.

Ринок агродронів нині в Україні ще доволі молодий. Однак він стрімко розвивається і компанії, які раніше виготовляли безпілотники виключно для потреб армії чи фотовідеозйомки, зараз звернули увагу на сільське господарство. Дрони все більше користуються попитом у агропідприємствах різних форм власності, адже вони є елементами точного землеробства з простою і відносно недорогою картографією полів, так і обприскувачами, які можуть обробити рослини різного рівня розвитку.

Також дані, що надані системою аеровізуального спостереження БПЛА, можуть бути використані для цілей автоматизації обліку на сільськогосподарських підприємствах. Зібрана інформація БПЛА при дистанційному зондуванні у подальшому дозволяє її аналізувати та встановлювати площу землі, рельєф, тип ґрунтів, моніторинг стану рослин та ступеню раціонального використання ґрунтів, вміст вологи в ґрунті, рівень сходження посівів, антропогенний вплив на врожайність, необхідність в добривах, витрати паливо-мастильних матеріалів на роботу техніки, прогноз врожайності сільськогосподарських культур, перевірка якості обробітку ґрунтів, екологічний моніторинг земель тощо.

Отож, сьогодні можна з впевненістю сказати, що технологія використання БПЛА у сільському господарстві досить стрімко поширюється територією України. І наразі сервісні компанії, які займаються внесенням пестицидів, фунгіцидів, десикантів просто перевантажені замовленнями.

Проте, слід зауважити, що для стабільного динамічного розвитку даного напрямку необхідно вирішувати ряд завдань:

- забезпечення достатньої кількості операторів безпілотних літальних апаратів;
- безпека польотів щодо питань недоторканності особистого життя і тонкощів страхування;
- навчання та підвищення навичок управління пілотів-операторів;
- узгодження законодавства щодо повномасштабного впровадження дронів в сільське господарство.

Адже, в обов'язки оператора БПЛА входить не лише сам політ чи обприскування, а й підготовка дрона до польоту; створення польотних завдань; контроль технічного стану безпілотника; отримання та обробка даних; прикріплення до БПЛА різних видів цифрової техніки; прийняття рішень під час позаштатних ситуацій; техобслуговування безпілотників; виконання нескладних ремонтних робіт; аналіз отриманих цифрових матеріалів, їх обробка; ведення документації тощо.

Таким чином аналіз та огляд конструкційних особливостей БПЛА сільськогосподарського призначення, а також практичні аспекти їх ефективного використання сьогодні є актуальним напрямком.

---

## 2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

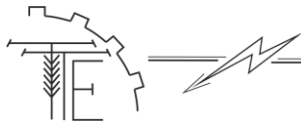
---

Проблемі використання БПЛА (дронів) в сільському господарстві та шляхи їх вирішення присвячено багато наукових робіт як вітчизняних [4, 5, 6, 7, 8] так і зарубіжних вчених [9, 10, 11, 12].

Серед українських компаній, які займаються виробництвом БПЛА для сільського господарства можна вказати DP 1900 (компанія DroneUA), Skif (компанія ITEC), SkyHunter VD-1, MD-Smart, MD-Lite, VTOL Hank (компанія MegaDrone), Катана-Agro (компанія Matrix UAV), DroneePLANE (компанія Dronee), Arrow, Cetus і Iron (компанія ABRIS DG) серії Flirt, Лелека-100 (компанія DeViro), "Літаючий трактор" (компанія IT KIT) та ін. Незважаючи на те, що галузь безпілотних літальних апаратів є молодю в Україні, проте вона є досить перспективною при використанні у галузі сільського господарства, особливо при обприскуванні посівів.

За даними [13] українські виробники цивільних дронів займають близько 7 % внутрішнього ринку. Деякі компанії намагаються працювати і на експорт. Наприклад, Krau Technologies випускає безпілотники для агросектора, освоює ринки США і Канади.

Щодо зарубіжних аналогів БПЛА та їх використання в Україні можна відзначити китайську компанію DJI, яка є беззаперечним світовим лідером виробництва безпілотників та утримує близько 75 % світового ринку [14]. Серед дронів, які використовують для обприскування полів можна відзначити моделі DJI Agras MG-1P, Agras T16, Agras T20 тощо. За різними оцінками частка DJI в нашій країні сягає



близько 70-85% ринку [13].

Іншим китайським виробником БПЛА для сільського господарства є компанія XAG, авторизованим представником якої в Україні є "XAG Україна". Сьогодні для потреб агровиробників компанія пропонує дрони-обприскувачі XAG P20, P30 та інтелектуальну картографічну систему C2000 [15].

Другим за популярністю в світі брендом дронів є французький Parrot – це перші БПЛА, які потрапили на полиці Apple Store і стали першим масмаркет-дроном у світі. Третій лідер – Yuneec. Ці дрони завойовують популярність, позиціонуючи себе як якісний американський продукт з можливістю професійного застосування [13]. Також до числа найбільших гравців відносить Hubsan, 3dr, Walkera. Крім того, світові гіганти і лідери індустрії – Boeing і Lockheed Martin – вже розробляють свої вантажні дрони.

Використання БПЛА для обприскування полів стало можливим завдяки технології ультрамалооб'ємного внесення ЗЗР з мінімальними витратами робочого розчину, а саме, від 0,5 до 5 л/га. Розмір каплі близько 100 мікрометрів дозволяє забезпечити гарне проникнення препарату в ґрунт навіть дуже густих посівів. Чим більше крапель досягає своєї поверхні рослин і утримується на них, тим більш ефективною є хімічна обробка.

Методика досліджень заснована на методі пізнавальної діяльності, методах аналізу та синтезу як інформації з офіційних джерел так і інформації з праць інших дослідників.

---

### 3. Мета дослідження

---

Полягає в ефективному використанні дрона Agras T16 від компанії DJI шляхом обґрунтування основних заходів щодо своєчасності та правильності його підготовки до роботи, налаштування на задані параметри експлуатації, планування місії виконання та розрахунок продуктивності його роботи.

---

### 4. Виклад основного матеріалу

---

Нині одним із використовуваних безпілотних літальних апаратів є гексакоптер нового покоління Agras T16 (рис. 1) від компанії DJI [11]. Безпілотник дозволяє ефективно обприскувати культури завдяки потужному програмному забезпеченню, системі штучного інтелекту та плануванню 3D-операцій. Виконаємо короткий огляд його конструкційних особливостей в порівнянні з моделями попереднього покоління.

Поява в 2019 році моделі T16 стала знаковою подією як для DJI, так і для реалізації в усьому світі концепції розумного сільського господарства. Для DJI розробка нової платформи стала черговим кроком успішного просування спеціалізованих безпілотників професійного призначення, причому створених для особливих завдань. У порівнянні з попередниками у Agras T16 була покращена модульна конструкція, збільшене корисне навантаження і ширина розпилення [14, 16].

Модульна конструкція літального апарату - це важливий крок на шляху до більш зручного обслуговування системи і підвищення безпеки польотів. Так, вже на сучасному етапі швидкість розбирання корпусу і швидкість технічного обслуговування зросли на 50 %. Модульна конструкція T16 спрощує складання і щоденний догляд за дроном. Легка та міцна платформа частково виготовлена з карбонового волокна, яка у складеному вигляді становить 25 % від початкового розміру, що зручно для транспортування апарату [14, 16]. В умовах розпау польових робіт, коли потреба в роботі літального апарату різко зростає, швидко обслуговування впливає не тільки на безпеку польотів, а й ефективність господарства в цілому.

Якщо коротко, то Agras T16 краще своїх попередників, оскільки його ширина обприскування на 44 % більше, місткість робочого бака стала на 60 % також більшою, його продуктивність збільшилася на 100 %, площа обробки за годину - на 67 %, а швидкість зарядки акумуляторних батарей на 50 % [14, 16].

Місткість бака дрона становить 16 л, а діаметр розпилення збільшений до 6,5 м. Система розпилення оснащена 4-ма насосами і 8 форсунками з максимальною швидкістю розпилення 4,8 л/хв (min. 1,28 л/хв). Вона обладнана електромагнітним витратоміром (рис. 2), який забезпечує більш точну і стабільну обробку ділянки з похибкою  $\pm 2$  % [17].

Відносно апаратного забезпечення модульність проявляється у використанні системи резервування, коли такі важливі компоненти, як інерційний вимірювальний блок, барометр і система геопозиціонування RTK + GNSS представлені в двох екземплярах. В результаті, тепер система управління може скористатися даними з резервного модуля в разі виходу з ладу основного блоку. Дублювання RTK + супутникових систем GNSS (рис. 2) забезпечує сантиметрову з точність

позиціонування. Технологія з використанням двох антен забезпечує підвищену стійкість та опір магнітним перешкодам.

Точне позиціонування Agram T16 реалізується за допомогою випромінювання навігаційних радіосигналів системи GPS в діапазоні частоти L1 (1575,42 МГц), навігаційної системи GLONASS в діапазоні L1 (1600,995 МГц) та Galileo – E1 (1575,42 МГц) [18]. У разі використання послуги RTK (Real Time Kinematic) можна отримати поправки до вимірювань і встановлювати місце розташування з сантиметровою точністю в режимі реального часу за допомогою GNSS приймача в мережі постійно діючих референтних GNSS станцій. В режимі RTK використовуються такі робочі частоти: GPS L1/L2, GLONASS L1/L2, BeiDou B1/B2, Galileo E1/E5 [17, 18].



**Рис. 1. Загальний вигляд гексакоптера Agram T16 від компанії DJI**



**Рис. 2. Схема розташування основних елементів Agram T16**

Удосконалена система радарів Agram T16 здатна визначати умови функціонування як вдень, так і вночі без впливу світла або пилу. Рівень безпеки польоту збільшився завдяки функції запобігання зіткнень попереду і позаду апарату. Інноваційна система радарів обладнана технологією цифрового формування променів, яка підтримує 3D-моделі (технологія DBF), створювані з хмар точок. Радари розпізнають тип місцевості і допомагають огинати перешкоди.

І на завершення щодо конструкційних особливостей дрона про систему передачі даних, яка важлива для ефективного управління ним і передачі крім іншого візуальних даних з бортової камери на пульт або мобільний гаджет. У Agram T16 інженери DJI встановили систему OcuSync другого покоління (2.0), яка вже є стандартом на багатьох безпілотноках компанії останніх років та має робочі частоти 2,4 і 5,8 ГГц [17]. Оновлена система зв'язку забезпечує ефективне управління на відстані до 3 км. Вона також грає важливу роль в ефективному управлінні FPV-камерою і потужним нічним прожектором. Таким чином, робочі умови для оператора стали більш комфортними, а управління надійніше і якісніше.

Пульт дистанційного керування (рис. 3) використовує дводіапазонну систему передачі зображень DJI OcuSync 2.0, яка має максимальну відстань управління до 5 км (3,11 милі). Він включає спеціальний дисплей на базі Android, який працює DJI MG2 незалежно для планування експлуатації та відображення стану гексакоптера.

У пульт керування необхідно встановити ключ затверджений DJI та SIM-карту. Ключ підтримує різні стандарти мережі. Потрібно використовувати SIM-карту, сумісну з обраним провайдером мобільної мережі, а також вибрати план мобільних даних відповідно до запланованого рівня використання. Ключ та SIM-карта дозволяють пульту дистанційного керування отримувати доступ до певних мереж і платформ, таких як платформа DJI AG.

Пульт дистанційного керування (рис. 3) містить змінну акумуляторну батарею, яку в процесі роботи необхідно періодично замінювати. Рівень заряду акумулятора відображається за допомогою світлодіодів на передній частині пульта керування. Внутрішня резервна батарея пульта дистанційного керування дозволяє користувачам вставляти та виймати зовнішню батарею, поки пульт дистанційного керування все ще увімкнено та використовується, причому таку заміну необхідно виконати упродовж 1 хв.

На потужність сигналу пульта дистанційного керування впливає положення антен, тому рекомендованим положенням для оптимальної зони передачі необхідно пульт дистанційного керування тримати як показано на рисунку 3 (антенною перпендикулярно поверхні землі).

Також пульт дистанційного керування має функцію Multi-Aircraft Control, яка може використовуватися для координації роботи одночасно до п'яти дронів, що дозволяє пілотам працювати дуже ефективно. Проте цю можливість на практиці не завжди вдається реалізувати.





**Рис. 3. Пульт дистанційного керування Agrab T16**

Декілька слів про силову установку і живлення. Зарядний пристрій потужністю 2,6 кВт дозволяє одночасно заряджати 4 акумулятори (рис. 4). Одну батарею можна зарядити за 20 хвилин завдяки спеціальній опції швидкої зарядки. Ємність акумулятора Intelligent Flight Battery становить 17500 мАг, а високовольтна система 14S знижує енергоспоживання. Конструкція батареї з суцільнометалевим корпусом має ступінь захисту IP54, причому ефективність системи відводу тепла збільшена на 140 % в порівнянні з моделями попереднього покоління [14, 16]. Завдяки технології розподілу енергії між осередками акумулятора кількість циклів зарядки збільшилася до 400, що на 100 % перевищує цей показник у попередніх моделей і знижує виробничі витрати.

Без корисного навантаження дрона заряду акумулятора вистачає на 25 хв., а з навантаженням в 16 л близько 10...12 хв. Передбачена кількість зарядів акумуляторів 400 циклів [14, 17].

Agrab T16 створений для різних потреб і здатен працювати у різних режимах польоту для обробки плоских і горбистих поверхонь, а також для обробки садів. Система штучного інтелекту допомагає визначити перешкоди, а також визначити місцезнаходження і характеристики фруктових дерев (що важливо для садових господарств). Для роботи в умовах гірських схилів задіяний функціонал визначення кута нахилу, а також гнучка силова установка. Різні варіанти робочих режимів полегшують роботу над звичайними більш-менш рівними полями.



**Рис. 4. Загальний вигляд зарядного пристрою**

Завдяки просунутим програмним рішенням можна запланувати не тільки порядок виконання робіт, але і створити плани полів та планувати роботи на певних ділянках, щоб заощадити час і сили для подальших завдань.

Ефективна і успішна місія роботи Agrab T16 потребує від оператора та помічника підготовки і виконання ряду заходів, а саме: підготовка безпілота (заряд акумуляторів, промивка форсунок), фіксація контурів поля, вибір маршруту польоту, вибір місць вильоту і посадки, підготовка робочого розчину, підвезення води і т. д.

Для здійснення польотів користувачеві доступні наступні режими експлуатації Agrab T16:

- "Manual Operation" (ручне керування);
- "Manual Plus" (ручне керування плюс);
- "A-B Route Operation" (визначення кінцевих точок маршруту);
- "Route Operation" (визначення маршруту).

Розглянемо ці режими експлуатації більш детально.

Ручний режим роботи "Manual Operation" вибирають торкнувшись на сенсорному екрані пульта керування DJI MG2 значок "М" (рис. 5). У цьому режимі можна керувати всіма рухами дрона, вносити

робочу рідину на ділянці, використовуючи пульт дистанційного керування та регулювати швидкість розпилення. Ручний режим роботи ідеально підходить для невеликих ділянок.



Рис. 5. Відображення режимів роботи на пульті дистанційного керування Agras T16

Ручний режим роботи "Manual Plus" (рис. 5) підходить для робочих зон неправильної форми. Основною відмінністю даного режиму від "Manual Operation" є те, що дрон розпилює робочу рідину при русі його вперед чи назад, або по діагоналі за вказаним напрямком (при польоті вбік – не розпилює), а всі інші рухи можна контролювати вручну. У цьому режимі максимальна швидкість польоту дрона становить 7 м/с (настроюється в DJI MG2). За оптимальних умов роботи радіолокаційний модуль підтримує дистанцію розпилення між дронами та рослинністю, якщо увімкнена функція стабілізації висоти. Щоб у кінці робочого проходу дрон змістити ліворуч чи праворуч (рис. 5) використовують відповідні кнопки на екрані дисплея чи кнопки C1 або C2, які знаходяться у нижній частині пульта дистанційного керування DJI MG2 (потрібно налаштувати).

У процесі роботи міжрядковий інтервал (рис. 6) не регулюється, а дотримується попередньо налаштованого значення. Щоб його налаштувати необхідно перемикнути у ручний режим роботи "Manual Operation", а потім повернутись до режиму роботи "Manual Plus". Норма розпилення регулюється автоматично відповідно до швидкості польоту дрона.

У режимі експлуатації маршруту "A-B Route Operation" (рис. 5) дрон літає за заздалегідь спланованим маршрутом. У цьому режимі доступні відновлення роботи, захист даних, стабілізація висоти, уникнення перешкод та функції автоматичного обходу модуля радіолокації. Даний режим дозволяє оператору встановлювати ширину захвату (інтервал між лініями), швидкість польоту та інші параметри. Режим роботи "A-B Route Operation" рекомендований для обприскування великих прямокутних ділянок.

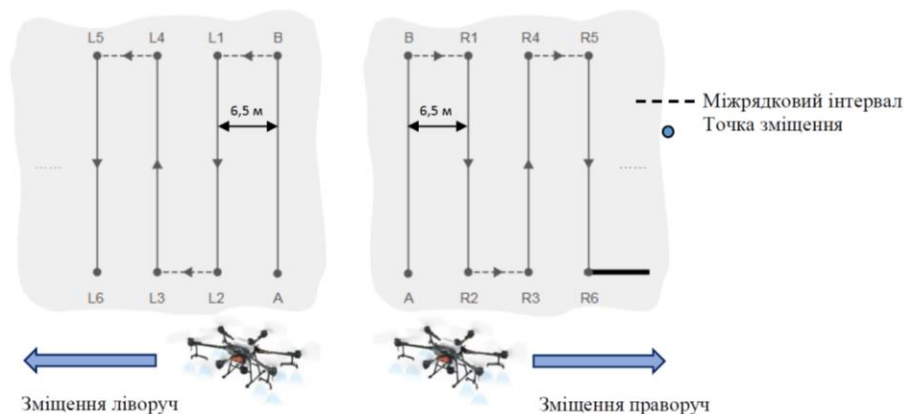


Рис. 6. Способи польоту Agras T16 у режимі роботи "Manual Plus"

Режим роботи "Route Operation" (визначення маршруту) можна використати після встановлення контурів робочої ділянки (полігон) та перешкод, якщо такі є. Для створення маршруту польоту оператор використовує вбудовану інтелектуальну систему планування операцій DJI MG2. Запланований маршрут польоту (місію) можна задати у будь який момент по потребі, попередньо його зберігши у карту пам'яті пульта керування чи хмару. При активації місії дрон Agras T16 розпочинає обприскування заплановану ділянку автоматично із дотриманням запланованого маршруту польоту. Відновлення роботи, стабілізація висоти, уникнення перешкод та автоматичний байпас

радіолокаційного модуля доступні в режимі роботи маршруту "Route Operation". Режим роботи маршруту рекомендовано використовувати для великих ділянок розпилення.

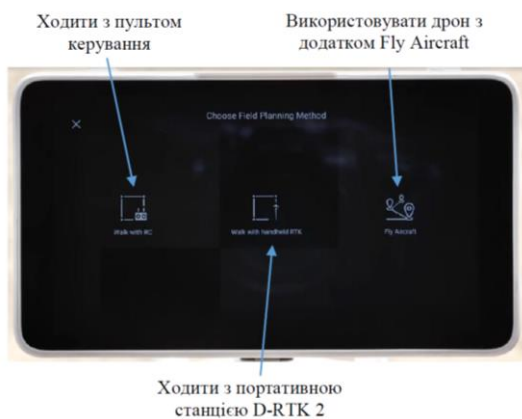
Особливої уваги потребує планування полів "Field Planning".

DJI MG2 підтримує безліч методів планування для різних застосувань. Одним із методів планування є використання оператором дрона для додавання точок маршруту для встановлення (окреслення) областей та вимірювання перешкод (рис. 7). Оператор здійснює переліт дрона в потрібні позиції та використовує додаток Fly Aircraft або пульт дистанційного керування.

Іншим варіантом встановлення меж робочих ділянок (полігонів) є використання пульта дистанційного керування (рис. 7). Для цього оператору перед плануванням необхідно переконатись що Agras T16 вимкнений. Потім увімкнути пульт дистанційного керування DJI MG2 та натиснути "Field planning" (планування полів), вибрати прогулянку з дистанційним управлінням. При плануванні необхідно зачекати, доки сигнал GNSS буде сильним. Кількість супутників повинна бути не менше 10. Точність позиціонування може змінюватися  $\pm 2$  метри. Далі оператору необхідно обійти все поле, додаючи точки маршруту, натискаючи кнопку C2 на пульті дистанційного керування. У разі наявності перешкод на полі відмітити їх використовуючи кнопку C1 на пульті дистанційного керування. Пройшовши по периметру усього поля та відмітивши усі наявні перешкоди, потрібно торкнутись на екрані дисплея "End Obstacle Measurement" завершивши планування.

При плануванні полів обов'язковою умовою є додавання точок калібрування, які використовують для компенсації упередженості маршруту польоту, спричиненої різницею позиціонування між пультом дистанційного керування та дроном.

Для встановлення меж робочих ділянок також можна використовувати сигнали RTK (рис. 7). Мобільна станція D-RTK 2 (рис. 8) від DJI повністю підтримує сигнали GPS, GLONASS, Beidou та GALILEO. Проста і швидка в налаштуванні мобільна станція D-RTK 2 забезпечує різницю даних у реальному часі для безпілотників для досягнення точності позиціонування на сантиметровому рівні. Вбудована антена з високим коефіцієнтом посилення забезпечує кращий прийом сигналу від більшої кількості супутників, навіть коли є перешкоди.



**Рис. 7. Меню "Field Planning Method"**  
(Метод польового планування)



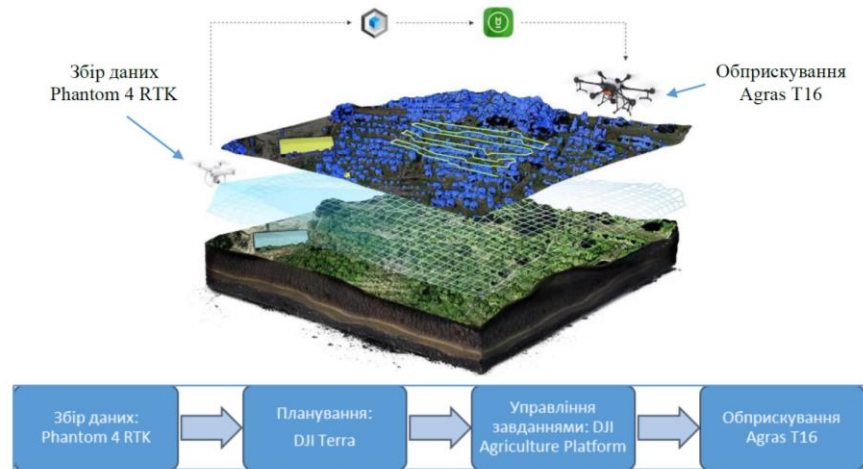
**Рис. 8. Мобільна станція D-RTK 2**

Мобільна станція D-RTK 2 підтримує зв'язок через 4G, OcuSync, WiFi та LAN, забезпечуючи безперебійну, стабільну передачу даних за будь-якого сценарію програми. До 5 пультів дистанційного керування можна одночасно підключити до мобільної станції D-RTK 2 при використанні з безпілотниками DJI Agras, Phantom 4 RTK або P4 Multispectral.

При встановленні меж робочих ділянок (рис. 7) з використанням мобільної станцією D-RTK 2 необхідно її зв'язати з пультом дистанційного керування. Тому потрібно переконатись, що мобільна станція – це пристрій, яким зараз керує пульт дистанційного керування. Далі у програмі потрібно натиснути "Field planning" і вибрати "Handheld RTK" (портативний RTK). Також потрібно звернути увагу, що статус RTK має значення FIX.

Слід також вказати один із методів планування полів з використанням програмного продукту від DJI Terra, це – універсальне і просте у використанні рішення для картографування, розроблене для допомоги фахівцям в оцифруванні реальних сценаріїв. Завдяки можливості створення карт в реальному часі можна швидко згенерувати 2D-ортомозаїку площі чи 3D-планування маршруту (рис. 9), де заплановано виконувати політ. Для цього використовують Phantom 4 RTK для ефективної зйомки і

картування DJI Maps у цифровому форматі моделюється робоча зона. Заплановані робочі ділянки можна завантажити на платформу DJI AG або зберігати дані на карті microSD у пульті дистанційного керування.



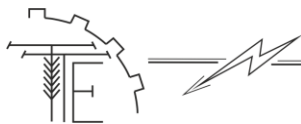
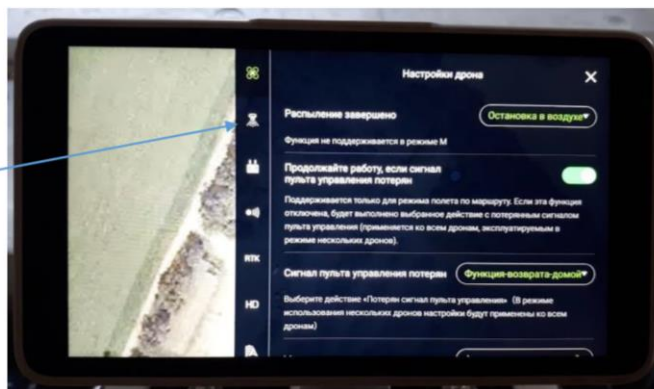
*Рис. 9. Тривимірне планування маршруту*

Перед тим як виконувати квадрокоптером заплановану місію необхідно пам'ятати основні правила польоту, які потрібні як для власного захисту, так і для безпеки оточуючих. Основні правила польоту наступні:

1. Політ у відкритих районах. Потрібно звертати увагу на опори інженерних мереж, лінії електропередач та інші перешкоди. Не варто літати поблизу або над водою, людьми чи тваринами.
2. Зберігайте контроль у будь-який час. Завжди тримайте руки на пульті дистанційного керування та контролюйте свій дрон коли він у польоті, навіть під час використання інтелектуальних функцій, таких як режим роботи Маршрут і А-В Маршрут та Розумне повернення додому.
3. Підтримуйте лінію зору. Постійно тримайте візуальну лінію зору на своєму дроні та уникайте польоту позаду будівель або інші перешкоди, які можуть заблокувати ваш погляд.
4. Стежте за висотою квадрокоптера. Для безпеки пілотованих літальних апаратів та іншого повітряного руху завжди літайте на висоті, меншій за 30 метрів, відповідно до усіх місцевих законів та норм.
5. Стежте за швидкістю вітру. Не використовуйте дрон для обприскування при вітрі, що перевищує 18 км/год.
6. Стежте за погодними умовами. Не використовуйте дрон в несприятливих погодних умовах, таких як вітер, що перевищує 28 км/год, сильний дощ (швидкість опадів перевищує 25 мм за 12 годин), сніг або туман.
7. Слідкуйте за сигналом GNSS. Переконайтесь, що під час роботи є потужний сигнал GNSS (15-18 супутників).

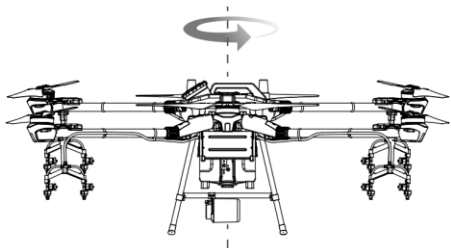
Кожного разу після попереднього обприскування (наприклад вчорашнє) потрібно виконувати калібрування системи розпилення. У разі не виконання даного заходу це може негативно вплинути на якість розпилення і продуктивність роботи дрона в цілому. Також, якщо у шлангах є бульбашки потрібно їх усунути відкривши усі ручні запобіжні клапани на форсунках та за допомогою кнопки на пульті дистанційного керування Spray Button прокачати систему розпилення. Кнопка (коліщатко) Spray Rate Dial дозволяє змінювати подачу рідини на форсунки [17]. Функцію калібрування системи розпилення виконують з пульта керування у меню налаштування (рис. 10) вкладка "Налаштування системи розпилення". Для цього наповнюють бак безпілотною не менше 6 л води. Система послідовно калібрує кожну пару форсунок Agrab T16 і виводить результат "successfully" на екран пульта керування у разі успішного виконання. Якщо ж калібрування не вдається здійснити необхідно натиснути "?" щоб переглянути проблему та вирішити її. Потім виберіть насос, який не вдалося відкалібрувати та виконайте операцію повторно. Уся процедура калібрування може зайняти до 10 хв часу.



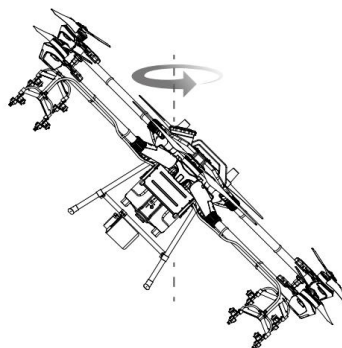
Налаштування  
системи розпилення*Рис. 10. Панель налаштування пульта керування*

На екрані пульта керування може з'явитись інформація щодо калібрування компаса. Тоді у панелі налаштувань необхідно вибрати "Налаштування дрона" далі → Розширені налаштування → Датчики. В розділі калібрування компаса натиснути "Калібрування", а потім дотримуватись інструкцій на екрані. Дану функцію бажано виконувати лише по запиту програмного забезпечення та із порожнім баком (рис. 10). Самовільне "Калібрування" поміж обприскуваннями робочих ділянок та переїздами з ділянки на ділянку призводить до появи помилки "Failed to upload operation" (не вдалося завантажити операцію), яка унеможливує подальше виконання місії.

При калібруванні компаса, квадрокоптер необхідно тримати горизонтально (рис. 11, а) і обертати його на 360° навколо його уявної вертикальної осі приблизно 1,2 м над землею. Калібрування завершується, коли програма показує, що калібрування пройшло успішно. Якщо додаток відображає нахилений квадрокоптер (рис. 11, б), це означає, що горизонтальне калібрування не вдалося. Тоді потрібно нахилити дрон і обертати його горизонтально. Калібрування завершується, коли програма показує, що калібрування пройшло успішно. Щоб зменшити кількість необхідних обертань, дрон повинен бути нахилений щонайменше на 45°.



а



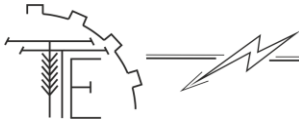
б

*Рис. 11. Можливі варіанти калібрування компаса*

На рисунку 12 представлена візуалізація процесу обприскування Agras T16 та уся інформація, що виводиться на екран пульта керування. Усі характеристики роботи дрона можна спостерігати і контролювати одночасно on-line.

Маючи контури поля, яке необхідно обробити препаратом, далі для Agras T16 потрібно скласти місію роботи. Для цього необхідно внести усі характеристики роботи дрона: норму внесення препарату у л/га (мін. 4,5 чи 6 л/га залежно від прошивки програмного забезпечення); ширину розпилення в метрах (від 4 до 6,5 м); висоту польоту над культурою 3-5 м; висоту повернення у точку вильоту (приймають 10 м); вказати точки початку роботи (обприскування) і завершення (рис. 12). Також необхідно звернути увагу на можливість повернення дрона додому "Home" з будь-якого місця на полі у разі потреби, а також перевірити чи не має ні яких перешкод на траєкторії його повернення (максимальна висота 30 м).

За даними [17] розмір каплі при обприскуванні Agras T16 для модифікації XR11001VS становить 130 - 250 мкм, а XR110015VS - 170 - 265 мкм, та залежить від робочого середовища і швидкості розпилення.



Максимальна робоча швидкість Agras T16 при обприскуванні складає 7 м/с (25,2 км/год), максимальна швидкість польоту 10 м/с (36 км/год), а максимальна стійкість до вітру – 8 м/с (28,8 км/год) [17].

Діапазон стабілізації висоти підтримується від 1,5 до 15 м. Перешкоди у процесі роботи виявляються на відстані 20-25 м, про що інформує відповідна індикація на дисплеї пульта керування.

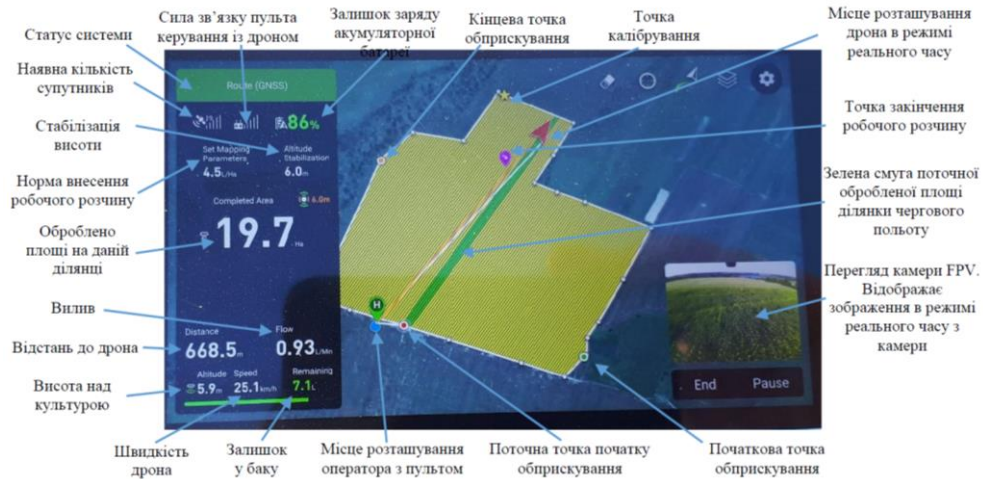


Рис. 12. Візуалізація процесу обприскування Agras T16

Не рекомендується використовувати дрон в несприятливих погодних умовах, таких як вітер, що перевищує 28 км/год, сильний дощ (швидкість опадів, що перевищує 25 мм за 12 годин), туман, сніг, блискавки, торнадо або урагани.

Слід також згадати за розміри буферних зон при роботі дрона на краях полів, щоб уникнути впливу ЗЗР на суміжній території. Програмне забезпечення Agras T16 це дозволяє враховувати і встановлювати необхідне значення. Розмір буферної зони встановлюють при плануванні польоту "Field planning".

Розрахуємо експлуатаційну продуктивність роботи Agras T16 за годину змінного часу за відомою формулою [19]:

$$W_{\text{год}} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau, \text{ га / год} \quad (1)$$

де  $B_p$  – робоча ширина захвату дрона.

Приймаємо  $B_p = 6,5$  м;  $V_p$  – робоча швидкість дрона, км/год. Приймаємо  $V_p = 25$  км/год;  $\tau$  – коефіцієнт використання часу зміни.

Коефіцієнт використання часу зміни визначаємо як:

$$\tau = \frac{T_o}{T_{\text{зм}}} \quad (2)$$

де  $T_o$  – час основної (чистої) роботи (обприскування), год;  $T_{\text{зм}}$  – тривалість зміни, для операції обприскування  $T_{\text{зм}} = 6$  год.

Розрахунок часу основної (чистої, корисної) роботи виконаємо, скориставшись методикою розрахунку потокової лінії захисту рослин. Так, час на виконання основної роботи (обприскування) за зміну визначаємо за формулою:

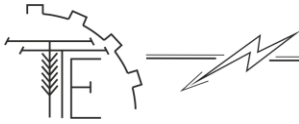
$$T_o = t_o \cdot n_y, \text{ год} \quad (3)$$

де  $t_o$  – тривалість робочого ходу дрона за один цикл, год;  $n_y$  – кількість циклів дрона за зміну

$$n_y = \frac{T_{\text{зм}} - (T_{\text{нз}} + T_{\text{мо}} + T_{\text{ф}})}{t_y}, \quad (4)$$

де  $T_{\text{нз}}$  – тривалість підготовчо-заключних робіт, год. Приймають  $T_{\text{нз}} = 0,4-0,6$  год;  $T_{\text{мо}}$  – тривалість виконання технічного і технологічного обслуговування дрона, год. Приймають  $T_{\text{мо}} = 0,1-0,3$  год;  $T_{\text{ф}}$  – час на відпочинок і особисті потреби, год. Приймають  $T_{\text{ф}} = 0,4-0,7$  год;  $t_y$  – тривалість циклу, год.

Вищезгадані складові тривалості зміни  $T_{\text{нз}}$ ,  $T_{\text{мо}}$ , і  $T_{\text{ф}}$  прийняті на основі власних хронометражних спостережень. За певних умов вони можуть приймати дещо інші значення. У



розрахунку також не брався до уваги час на переїзди від офісу компанії, яка надає дані послуги, до місцезорозташування господарства чи робочої ділянки.

Тривалість циклу, в даному випадку, - це час повного спорожнення бака дрона (16 л), який визначаємо таким чином:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{оч}} + t_{\text{зан}} + t_{\text{рух}} + t_o + t_x + t_{\text{пер}}, \text{ год} \quad (5)$$

де  $t_{\text{оч}}$  – тривалість очікування заправки, год. Передбачає тривалість заміни батареї і бака. Приймаємо до 0,015 год.;  $t_{\text{зан}}$  – тривалість заправки бака дрона, год;  $t_{\text{рух}}$  – тривалість злітання і руху дрона з робочим розчином від місця заправки до першого проходу в загінці та без робочого розчину в зворотному напрямку та сідання у точці зльоту, год;  $t_o$  – тривалість робочого ходу (обприскування) дрона, год;  $t_x$  – тривалість зміщення дрона (ліворуч чи праворуч) у кінці робочого ходу, год;  $t_{\text{пер}}$  – тривалість перевірки оператором основних налаштувань польоту, год.

Здебільшого заправку виконують вручну при заливанні робочого розчину із 20 л каністр. Орієнтовна тривалість заправки 16 літрового бака Agras T16 становить від 0,025 до 0,040 год. Приймаємо  $t_{\text{зан}} = 0,035$  год;

Тривалість руху  $t_{\text{рух}}$  визначаємо наступним чином. Час злітання і садіння дрона приблизно рівен 30 секундам (0,0083 год), а відстань перельоту (ліворуч чи праворуч від пункту заправки) до першого проходу вибирають із міркувань ефективного використання часу та становить приблизно 50 – 100 м. Таким чином розрахункову формулу для визначення тривалості руху до першого проходу дрона запишемо у вигляді

$$t_{\text{рух}} = 2 \left( t_{\text{зл}} + \frac{10^{-3} L}{V_{\text{техн}}} \right), \text{ год} \quad (6)$$

де  $L$  – середньозважена відстань прольоту дрона до першого проходу в загінці, м. Приймаємо  $L = 50$  м;  $V_{\text{техн}}$  – середньотехнічна швидкість руху дрона до першого проходу в загінці, км/год. Приймаємо  $V_{\text{техн}} = 20$  км/год.

Таким чином проведемо розрахунок:

$$t_{\text{рух}} = 2 \left( 0,0083 + \frac{10^{-3} \cdot 50}{20} \right) = 0,0216 \text{ год.}$$

Тривалість робочого ходу дрона (час спорожнення бака), визначаємо за формулою:

$$t_o = \frac{10^{-3} l_o}{V_p}, \text{ год} \quad (7)$$

де  $l_o$  – довжина шляху (польоту), що пролітає дрон між двома послідовними заправками

$$l_o = \frac{10^4 \cdot V_6}{B_p \cdot H_o}, \text{ м} \quad (8)$$

де  $V_6$  – місткість бака дрона, л;  $H_o$  – норма витрати робочої рідини, л/га. Приймаємо  $H_o = 5$  л/га,

$$l_o = \frac{10^4 \cdot 16}{6,5 \cdot 5} = 4923, \text{ м.}$$

Проте, слід зазначити, що не завжди доцільно використовувати максимально розраховану довжину шляху, оскільки робочий розчин може скінчитись посеред поля (рис. 12, точка закінчення робочого розчину) чи на протилежній його стороні. Тому оператору завжди необхідно оцінювати розміри ділянок, довжину робочого гону на даній загінці, відстань холостих прольотів дрона та заряд акумуляторної батареї. Також йому необхідно самостійно прораховувати потребу у робочому розчині для заповнення бака, оскільки програмна Agras T16 цього не передбачає на відміну від XAG P20 чи P30.

Розглянемо робочу ділянку (рис. 13), на якій виконували обприскування. Як видно вона містить ділянки із довжиною гонів 450 і 670 м. Тому оператору при черговому відправленні дрона необхідно цю довжину враховувати, орієнтовно розраховуючи потребу в робочій рідині. Приймаємо, що дрон розпочинає проводити обприскування з точки А постійно зміщуючись ліворуч в точку Б (початкова робоча довжина гону  $l_p = 450$  м). Таким чином, починаючи свій політ з точки А він може виконати 10 проходів ( $4923:450 = 10,94$ ). Загальна довжина польоту  $l_o$  дрона на заданій місії становитиме  $4500$  м ( $10 \cdot 450 = 4500$  м), що якраз і вистачить 16 л робочого розчину.



Рис. 13. Схема робочої ділянки для визначення продуктивності Agras T16

Таким чином тривалість робочого ходу дрона (час спорожнення бака) становитиме:

$$t_o = \frac{10^{-3} \cdot 4500}{25} = 0,18, \text{ год.}$$

Вважаємо, що у продовж 0,18 год (10,8 хв) основної роботи дрона якраз вистачить заряду акумулятора на виконання заданої місії. У разі індикації заряду акумуляторної батареї 25 % терміново необхідно припинити поточну місію і повертати дрон на місце зльоту. Тому оператору обов'язково необхідно за цим слідкувати.

Тривалість холостого ходу (зміщення його ліворуч протягом циклу) визначають за наступною формулою:

$$t_x = \frac{10^{-3} \cdot l_x \cdot n_x}{V_x}, \text{ год} \quad (9)$$

де  $l_x$  – довжина одного холостого повороту дрона, м. Вона рівна його ширині захвату  $l_x = 6,5$  м;  $n_x$  – кількість холостих поворотів дрона за час спорожнення його бака;  $V_x$  – швидкість дрона при зміщенні його ліворуч на заданій загінці, км/год. Приймають  $V_x \approx 5$  км/год.

Кількість холостих поворотів агрегату визначається за залежністю:

$$n_x = \frac{l_o}{l_p} \quad (10)$$

де  $l_p$  – робоча довжина гону поля, м. За прийнятими умовами  $l_p = 450$  м.

Тоді

$$n_x = \frac{4500}{450} = 10 \text{ проходів,}$$

а тривалість холостого ходу становитиме:

$$t_x = \frac{10^{-3} \cdot 6,5 \cdot 10}{5} = 0,013, \text{ год.}$$

Тривалість перевірки оператором основних налаштувань польоту  $t_{пер}$  приймаємо рівними нулю ( $t_{пер} = 0$  год), оскільки він їх перевіряє під час роботи помічника оператора (заміна акумуляторної батареї, заливка бака тощо).

Отже, тривалість циклу, а в даному випадку це час повного спорожнення бака дрона (16 л) становитиме:

$$t_{\text{ц}} = 0,015 + 0,035 + 0,0216 + 0,18 + 0,013 = 0,265 \text{ год.}$$

Тоді кількість циклів дрона за зміну дорівнюватиме

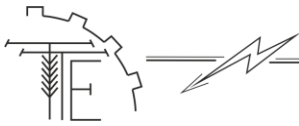
$$n_{\text{ц}} = \frac{6 - (0,5 + 0,2 + 0,6)}{0,265} \approx 18 \text{ циклів.}$$

Час основної роботи дрона за зміну складе:

$$T_o = 0,18 \cdot 18 = 3,24, \text{ год.}$$

Коефіцієнт використання часу зміни становитиме





$$\tau = \frac{3,24}{6} = 0,54.$$

Отже, продуктивність роботи Agras T16 за годину змінного часу складатиме

$$W_{\text{год}} = 0,1 \cdot 6,5 \cdot 25 \cdot 0,54 = 8,8, \text{га} / \text{год}.$$

Саме таку продуктивність роботи дрона 8-9 га/год і одержують на полях неправильної конфігурації та ті, що містять значну кількість перешкод, наприклад лінії електропередач.

З практичного досвіду можна додати, що своєчасне виконання усіх заходів, а саме: надійна робота дрона, наявність заряджених акумуляторних батарей, підготовлений робочий розчин, ефективна організація праці дозволяють обробити 10 га площі і більше за одну годину роботи. Припустивши, наприклад, що ніч роботи екіпажу в складі 2-х операторів (два дрон) і 1-го помічника з 19 год вечора до 7 год ранку за сприятливих погодних умов двома безпілотниками Agras T16, дозволить покрити площу від 170 га до 240 га. Звісно, щоб одержувати такі показники роботи необхідно операторам і помічнику бути у чудовій фізичній формі й мати неабияку витримку.

Щодо можливих заходів підвищення продуктивності обприскування БПЛА необхідно зменшувати час заправки місткості бака, використовуючи автоматизовані заправні станції до 150-200 л. Працюючи з Agras T16 бажано мати дві місткості бака для швидкої заміни. Також необхідно зменшувати непродуктивні витрати часу на підготовчо-заключні роботи, технологічне обслуговування дрона та особисті потреби оператора й помічника.

Для надійної роботи Agras T16 після обприскування йому необхідно провести технічне обслуговування. Тому щодня потрібно чистити усі частини дрона відразу після обприскування. Для цього потрібно заповнити резервуар об'ємом 6 л для розпилення чистою водою або мильною водою та за допомогою пульта керування розпилити воду через сопло до тих пір, поки резервуар не стане пустим. У разі потреби, можна зняти розпилювачі, сітчасті форсунки та їх очистити. Також потрібно витирати наявні водяні плями чистою сухою ганчіркою. Не рекомендовано поливати корпус дрона надмірною кількістю води.

Таким чином, використання БПЛА, зокрема Agras T16, створюють передумови зменшення витрат палива, підвищення урожайності культур та рівня еколого-гігієнічної безпеки.

## 5. Висновки

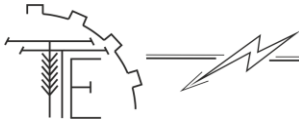
1. БПЛ все більше користуються попитом у агропідприємствах різних форм власності, адже вони є елементами точного землеробства з простою і відносно недорогою картографією полів, так і обприскувачами, які можуть обробити рослини різного рівня розвитку. Використання БПЛА для обприскування полів стало можливим завдяки технології ультрамалооб'ємного внесення ЗЗР з мінімальними витратами робочого розчину від 0,5 до 5 л/га.

2. Встановлено, що порівнянні з попередніми моделями у Agras T16 покращена модульна конструкція, збільшене корисне навантаження і ширина розпилення збільшена до 6,5 м. Швидкість розбирання корпусу і швидкість технічного обслуговування зросли на 50 %. Місткість робочого бака збільшена на 60 % і становить 16 л. Інерційний вимірювальний блок, барометр і система геопозиціонування RTK + GNSS представлені в двох екземплярах. Ємність акумулятора батареї Intelligent Flight Battery, що виготовлений з суцільнометалевого корпусу (ступінь захисту IP54), збільшено до 17500 мАг, а високовольтна система 14S дозволяє знизити енергоспоживання. Без корисного навантаження дрона заряду акумулятора вистачає на 25 хв., а з навантаженням в 16 л близько 10...12 хв. Передбачена кількість зарядів акумуляторів 400 циклів. Пульт дистанційного керування використовує дводіапазонну систему передачі зображень DJI OcuSync 2.0, яка має максимальну відстань управління до 5 км (3,11 милі).

3. Agras T16 створений для різних потреб і здатен працювати у різних режимах польоту для обробки плоских і горбистих поверхонь, а також для обробки садів. Можливі наступні режими експлуатації дрона: "Manual Operation", "Manual Plus"; "A-B Route Operation" та "Route Operation". Ці режими дозволяють ефективно обробляти невеликі ділянки, робочі зони неправильної форми, обприскувати великі прямокутні ділянки і здійснювати смуговий обробіток.

4. Завдяки просунутим програмним рішенням можна запланувати не тільки порядок виконання робіт, але й створити плани полів та планувати роботи на певних ділянках, щоб заощадити час і сили для подальших завдань. Такими рішеннями є використання додатку Fly Aircraft, пульта дистанційного керування з додаванням точок контурів C2 поля і перешкод C1, мобільну станцію D-RTK 2 та програмного продукту Terra від DJI.

5. Описані заходи, які дозволяють підтримувати Agras T16 в надійному, працездатному стані, а саме, основні правила польоту, підготовка і налаштування до виконання місії, калібрування та прокачування системи розпилення, очищення форсунок, калібрування компаса, технічне обслуговування тощо.



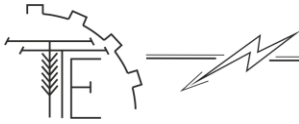
б. За результатами теоретичних досліджень встановлено експлуатаційну продуктивність дрона за годину змінного часу, яка склала 8,8 га/год. Обґрунтовані заходи щодо зменшення непродуктивних витрат часу при обприскуванні Agras T16 робочих ділянок.

#### Список використаних джерел

1. Новітні технології у рослинництві / В. Д. Паламарчук, І. С. Поліщук, В. А. Мазур, О. Д. Паламарчук. Вінниця, 2017. 602 с.
2. Калетнік Г. М., Підлипна М. П., Янович В. П. Геоінформаційний метод дистанційного зондування Землі на базі програмного забезпечення Erdas Imagine. *Всеукраїнський науковий журнал "Техніка, енергетика, транспорт АПК"*. 2016. № 2 (94). С. 5–11.
3. Холодюк О. В. Термінологічний словник з точного землеробства для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 208 - "Агроінженерія". Вінниця: ВНАУ. 2020. 42 с.
4. Алла Ачасова. Ефективне використання дронів у сільському господарстві: що необхідно? 2015. URL: <http://www.50northspatial.org/ua/drones-agriculture-issues/> (дата звернення 20.01.2021).
5. Алексей Бойко. Проблемы и опасности, связанные с беспилотниками. Инциденты. 2017. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/problemy-i-opasnosti-svyazannye-s-bespilotnikami.-incidynty> (дата звернення 20.01.2021).
6. Беляев О. В., Задорожна О. В. Використання безпілотних літальних апаратів як шлях до підвищення врожайності сільськогосподарських культур. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2016. № 1(37). С. 20–22.
7. Огійчук В. Обприскування з дрона. *The Ukrainian Farmer*. 2019. № 5. С. 26–28.
8. Діордієв В. Т., Кашкар'єв А. О., Семендяєв О. Є. Проблеми використання дронів у задачах обприскування сільськогосподарських культур та шляхи їх вирішення. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2019. Вип. 9, том. 1. URL: <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/271> (дата звернення 11.02.2021).
9. Kashkarov A., Diordiiev V., Sabo A., Novikov G. Semi-Autonomous Dron for Agriculture on the Tractor Base. *Acta Technologica Agriculturae*. 2018. № 4. PP. 152-155. DOI: 10.2478/ata-2018-0027
10. Lluís Medir Llorens, Romualdo Moreno Ortiz. Agricultura de precisión basada en drones. Anàlisi de la fumigació, i altres aplicacions. *Memòria del Treball Fi de Grau en Gestió Aeronàutica realitzat per*. Escola d'Enginyeria Sabadell. 2020. 114 pàg.
11. The Role of Drone Technology in Sustainable Agriculture. URL: <https://www.precisionag.com/in-field-technologies/drones-uavs/the-role-of-drone-technology-in-sustainable-agriculture/> (дата звернення 23.02.2021).
12. Gerard Sylvester. E-Agriculture in action: drones for agriculture. Published by Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Telecommunication Union. Bangkok, 2018. URL: <http://www.fao.org/3/i8494en/i8494en.pdf> (дата звернення 16.03.2021).
10. Галузі майбутнього: як безпілотники підкорюють Україну. URL: <https://mind.ua/publications/20187343-galuzi-majbutnogo-yak-bezpilotniki-pidkoryuyut-ukrayinu> (дата звернення 16.12.2020).
14. Офіційний сайт Drone.UA. URL: <https://store.drone.ua/drones/> (дата звернення 10.04.2021).
15. Офіційний сайт XAG Україна. URL: <http://xag.com.ua/> (дата звернення 10.04.2021).
16. Офіційний сайт Quadro.UA. URL: <https://quadro.ua/> (дата звернення 10.04.2021).
17. User Manual Agras T16. URL: [http://dl.djicdn.com/downloads/t16/20191009/Agras\\_T16\\_User\\_Manual\\_v1.0\\_EN.pdf](http://dl.djicdn.com/downloads/t16/20191009/Agras_T16_User_Manual_v1.0_EN.pdf) (дата звернення 08.12.2020).
18. Холодюк О. В. Глобальні навігаційні супутникові системи та їх роль у технологіях точного землеробства. *Всеукраїнський науковий журнал "Техніка, енергетика, транспорт АПК"*. 2020. № 2 (109). С. 71–87.
19. Бендера І. М., Грубий В. П., Роздорожнюк П. І. Експлуатація машин і обладнання. Кам'янець-Подільський, 2013. 576 с.

#### References

- [1] Palamarchuk, V.D., Polishchuk, I.S., Mazur, V.A., Palamarchuk, O.D. (2017). *Novitni tekhnolohiyi u roslinnytstvi*. Vinnytsya. [in Ukrainian].
- [2] Kaletnik, H.M., Pidlypna, M.P., Yanovych, V.P. (2016). Heoinformatsiynyy metod dystantsiynoho zonduvannya Zemli na bazi prohramnoho zabezpechennya Erdas Imagine. *Vseukrayins'kyi naukovyy zhurnal "Tekhnika, enerhetyka, transport APK"*. 2 (94). 5–11. [in Ukrainian].



- [3] Kholodiuk, O.V. (2020). Terminolohichnyy slovnyk z tochnoho zemlerobstva dlya zdobuvachiv pershoho (bakalavrs'koho) rivnya vyshchoyi osvity za spetsial'nisty 208 - "Ahroinzheneriya". Vinnytsya: VNAU. 42 s. [in Ukrainian].
- [4] Ahasova, A. (2015). Efektyvne vykorystannya droniv u sil's'komu hospodarstvi: shcho neobkhidno? URL: <http://www.50northspatial.org/ua/drones-agriculture-issues/> (data zvernennya 20.01.2021). [in Ukrainian].
- [5] Boyko, A. (2017). Problemy i opasnosti, svyazannyye s bespilotnikami. Intsidenty. 2017. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/problemy-i-opasnosti-svyazannye-s-bespilotnikami.-incidenty> (data zvernennya 20.01.2021). [in Ukrainian].
- [6] Byelyayev, O.V., Zadorozhna, O.V. (2016). Vykorystannya bespilotnykh lital'nykh apparativ yak shlyakh do pidvyshchennya vrozhaynosti sil's'kohospo-dars'kykh kul'tur. *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku*. 1(37). 20–22. [in Ukrainian].
- [7] Ohychuk, V. (2019). Obpryskuvannya z drona. *The Ukrainian Farmer*. 5. 26–28. [in Ukrainian].
- [8] Diordiyev, V.T., Kashkar'ov, A.O., Semendiyayev O.YE. (2019). Problemy vykorystannya droniv u zadachakh obpryskuvannya sil's'kohospodars'kykh kul'tur ta shlyakh yikh vyrishennya. *Naukovyy visnyk TDAU*. Vyp. 9, tom. 1. URL: <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/271> (data zvernennya 11.02.2021). [in Ukrainian].
- [9] Kashkarov, A., Diordiiev, V., Sabo, A., Novikov, G. (2018). Semi-Autonomous Drone for Agriculture on the Tractor Base. *Acta Technologica Agriculturae*. 2018. 4. 152–155. DOI: 10.2478/ata-2018-0027. [in Ukrainian].
- [10] Lluís Medir Llorens, Romualdo Moreno Ortiz. (2020). Agricultura de precisión basada en drones. Análisis de la fumigación, i altres aplicacions. *Memòria del Treball Fi de Grau en Gestió Aeronàutica realitzat per*. Escola d'Enginyeria Sabadell. 114 pàg. [in Spain].
- [11] The Role of Drone Technology in Sustainable Agriculture. URL: <https://www.precisionag.com/in-field-technologies/drones-uavs/the-role-of-drone-technology-in-sustainable-agriculture/> (data zvernennya 23.02.2021). [in English].
- [12] Gerard, S. (2018). *E-Agriculture in action: drones for agriculture*. Published by Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Telecommunication Union. Bangkok. URL: <http://www.fao.org/3/i8494en/i8494en.pdf> (дата звернення 16.03.2021). [in English].
- [13] Haluzi maybutn'oho: yak bespilotnyky pidkoryuyut' Ukrayinu. [URL: <https://mind.ua/publications/20187343-galuzi-majbutnogo-yak-bespilotniki-pidkoryuyut-ukrayinu>] (data zvernennya 16.12.2020). [in Ukrainian].
- [14] Ofitsiynyy sayt Drone.UA. URL: <https://store.drone.ua/drones/> (data zvernennya 10.04.2021). [in Ukrainian].
- [15] Ofitsiynyy sayt XAG Ukrayina. URL: <http://xag.com.ua/> (data zvernennya 10.04.2021). [in Ukrainian].
- [16] Ofitsiynyy sayt Quadro.UA. URL: <https://quadro.ua/> (data zvernennya 10.04.2021). [in Ukrainian].
- [17] User Manual Agras T16. URL: [http://dl.djicdn.com/downloads/t16/20191009/Agras\\_T16\\_User\\_Manual\\_v1.0\\_EN.pdf](http://dl.djicdn.com/downloads/t16/20191009/Agras_T16_User_Manual_v1.0_EN.pdf) (data zvernennya 08.12.2020). [in English].
- [18] Kholodiuk O.V. Hlobal'ni navihatsiyni suputnykovi systemy ta yikh rol' u tekhnolohiyakh tochnoho zemlerobstva. *Vseukrayins'kyi naukovyy zhurnal "Tekhnika, enerhetyka, transport APK"*. 2020. 2(109). 71–87. [in Ukrainian].
- [19] Bendera I.M., Hrubyi V.P., Rozdorozhnyuk P.I. (2013). *Ekspluatatsiya mashyn i obladnannya*. Kamyanets'-Podil's'kyi. [in Ukrainian].

## ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА AGRAS T16

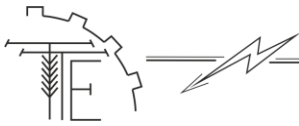
Научный и технический прогресс позволяет сегодня широко использовать в земледелии современные технологии при планировании и использования агротехнологий. Такими технологиями, несомненно, является применение беспилотных летательных аппаратов. Сейчас они позволяют собирать информацию о поле, составлять ортофотоплан поля, осуществлять мониторинг посевов и его состояние на разных этапах развития растений, выполнять картографию, отслеживать нормализованный вегетационный индекс, опрыскивать средствами защиты растений для борьбы с вредителями и болезнями вносить трихограмму.

Объектом исследования в данной статье был процесс подготовки, настройки, планирование миссий полета и использования беспилотного летательного аппарата Agras T16 на опрыскивании рабочих участков.

Целью исследований является эффективное использование дрона Agras T16 от компании DJI путем обоснования основных мероприятий по своевременности и правильности его подготовки к работе, настройка на заданные параметры эксплуатации, планирование миссий выполнения и расчет производительности его работы.

Задачей работы предполагалось: осуществить анализ существующих исследований по использованию беспилотных летательных аппаратов в Украине для целей сельского хозяйства; установить конструкционные особенности дрона; выяснить основные настройки и планирования полетов; установить производительность дрона на опрыскивании и обосновать мероприятия и пути его эффективного использования.





Методика исследований основывалась на методе познавательной деятельности, методах анализа и синтеза как информации из официальных источников, так и информации из трудов других исследователей.

В научной работе рассмотрены отличные конструкционные и технические особенности гексакоптера Agras T16 от моделей предыдущего поколения. Обоснованные практические аспекты его использования при опрыскивании, подготовка к работе, настройки, выбор необходимого режима эксплуатации, планирование полетов и миссий полетов с помощью пульта дистанционного управления и работа с зарядной станцией. Отражены основные особенности различных режимов его эксплуатации Manual Operation, Manual Plus, A-B Route Operation, Route Operation, которые позволяют решать различные поставленные задачи. Особое внимание уделено методам полевого планирования полетов (маршрутов) дрона, настройки системы распыления, калибровки компаса и форсунок. По результатам теоретических исследований установлено производительность дрона за час сменного времени, которая составила 8,8 га/ч. Обоснованные меры по уменьшению непроизводительных затрат времени при опрыскивании Agras T16 рабочих участков.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, гексакоптер, Agras T16, ортофотоплан, планирование полетов, опрыскивание, ультрамалообъемное внесение, зарядное устройство, пульт управления, производительность дрона, OcuSync, D-RTK 2.

**Ф. 10. Рис. 13. Лит. 19.**

### PRACTICAL ASPECTS OF USE OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLE AGRAS T16

Scientific and technological progress today allows the widespread use of modern technologies in agriculture in the planning and use of agricultural technologies. Such technologies are the use of unmanned aerial vehicles as well. Now they allow to collect information about the field, make an orthophoto of the field, monitor crops and its condition at different stages of plant development, perform cartography, monitor the normalized vegetation index, spray plant protection products to control pests and diseases or make a trichogram.

The object of research in this article is the process of preparation, adjustment, planning of flight missions and the use of unmanned aerial vehicle AgrasT16 for spraying work sites.

The aim of the research is the effective use of the Agras T16 drone from DJI by substantiating the main measures for the timeliness and correctness of its preparation for work, setting the specified operating parameters, planning missions and calculating its productivity.

The objectives of the work: to analyze the existing research on the use of unmanned aerial vehicles in Ukraine for agricultural purposes; to establish design features of the drone; to find out the basic settings and flight planning; to establish the productivity of the drone on spraying and to substantiate measures and ways of its effective use.

The methods of research include the method of cognitive activity and methods of analysis and synthesis of both information from official sources and information from the works of other researchers.

The scientific work deals with the different design and technical features of the Agras T16 hexacopter from the previous generation models. The practical aspects of its use in spraying, preparation for work, adjustment, selection of the necessary mode of operation, planning of fields and flight missions by means of the remote control and work with the charging station have been substantiated. The main features of different modes of its operation Manual Operation, Manual Plus, A-B Route Operation, Route Operation, which will allow you to solve various tasks have been highlighted. Particular attention has been paid to the methods of field flight planning (routes) of the drone, setting up the spray system, calibration of the compass and nozzles. According to the results of theoretical research, the productivity of the drone per hour of variable time has been established, which amounted to 8.8 ha/h.

The measures to reduce unproductive time spent when spraying Agras T16 work areas have been substantiated.

**Key words:** unmanned aerial vehicle, hexacopter, Agras T16, orthophoto, flight planning, spraying, ultra-low volume application, charger, control panel, drone performance, OcuSync, D-RTK 2.

**F. 10. Pic. 13. Ref. 19.**

### ВІДОМОСТ ПРО АВТОРІВ

**Холодюк Олександр Володимирович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри "Агроінженерії та технічного сервісу" Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: [holodyk@vsau.vin.ua](mailto:holodyk@vsau.vin.ua), <https://orcid.org/0000-0002-4161-6712> ).

**Холодюк Александр Владимирович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры "Агроинженерии и технического сервиса" Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: [holodyk@vsau.vin.ua](mailto:holodyk@vsau.vin.ua), <https://orcid.org/0000-0002-4161-6712> ).

**Oleksandr Kholodiuk** – Ph.D, Senior Lecturer of the Department of "Operation of a machine-tractor park and technical service" of Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonychna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: [holodyk@vsau.vin.ua](mailto:holodyk@vsau.vin.ua), <https://orcid.org/0000-0002-4161-6712> ).