

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-359-27>

УДК 631.5+632.9

**ДОВБУШ ТАРАС**

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя

<https://orcid.org/0000-0002-8354-7276>e-mail: [tarasdowbush@gmail.com](mailto:tarasdowbush@gmail.com)**ГЕВКО ІВАН**

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя

<https://orcid.org/0000-0001-5170-0857>e-mail: [gevkoivan1@ukr.net](mailto:gevkoivan1@ukr.net)**ХОМИК НАДІЯ**

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя

<https://orcid.org/0000-0002-7095-709X>e-mail: [kumox@ukr.net](mailto:kumox@ukr.net)**ДОВБУШ АНАТОЛІЙ**

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя

<https://orcid.org/0000-0001-6656-9150>e-mail: [anatoliydowbush@gmail.com](mailto:anatoliydowbush@gmail.com)

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ АВІАЦІЙНОЇ ХІМІЧНОЇ ОБРОБКИ КУЛЬТУРНИХ РОСЛИН

У статті досліджено умови забезпечення високопродуктивної роботи агродронів під час обробки посівів і насаджень сільськогосподарських культур. Встановлено, що обов'язковим є співпадання часу технологічного процесу обробки рослин дронами і часу активної дії їх акумуляторів. Відзначено, що синхронізувати затрати часу можна завдяки вчасній підзарядці акумуляторів або їх заміні, а для цього необхідним є використання технологічного комплексу, який виконуватиме сервісні дії пов'язані із заправкою робочим розчином і підзарядкою або заміною акумуляторів. Встановлено, що важливим для продуктивної роботи агродронів є також правильний вибір технологічних схем обробки полів. Стаття присвячена розробці конструкції технологічного комплексу для авіаційної обробки рослин з використанням агродронів та містить рекомендації із синхронізування часу на виконання технологічного процесу агродронами залежно від об'єму бака та ресурсу роботи акумуляторів дронів. Опираючись на наявність конструктивної розробки технологічного комплексу для авіаційної хімічної обробки культурних рослин, враховуючи технологічні можливості агродронів та результати досліджень пов'язані із затратами часу на виконання технологічного процесу внесення агрохімікатів змодельовано використання агродронів на полях різної конфігурації відповідно до технологічних схем обробки полів та наявних технологічних комплексів для обслуговування агродронів.

**Ключові слова:** агродрон, хімічна обробка рослин, обприскування, зарядна станція, сервісний наземний мобільний технологічний апарат.

**DOVBUSH TARAS****HEVKO IVAN****KHOMYK NADIA****DOVBUSH ANATOLIY**

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

## APPLICATION OF TECHNOLOGICAL COMPLEX FOR AVIATION CHEMICAL TREATMENT OF CULTIVATED PLANTS

The article investigates the conditions for ensuring high-performance operation of agricultural drones during the processing of crops and plantations of agricultural crops. It is established that the coincidence of the time of the technological process of processing plants with drones and the time of active operation of their batteries is mandatory. It was noted that time expenditure can be synchronized by timely recharging or replacing batteries, and for this it is necessary to use a technological complex that will perform service actions related to filling with a working pesticide solution and recharging batteries. It has been established that the correct choice of technological schemes for field cultivation is also important for the productive operation of agricultural drones.

The article is devoted to the development of a design of a technological complex for aerial plant processing using agricultural drones and recommendations for synchronizing the time for performing the technological process by agricultural drones depending on the tank volume and the service life of the drone batteries. The developed service ground mobile technological device includes a platform with a system for refueling agricultural drones with working solutions of chemical preparations for treating plants, an agricultural drone fixation mechanism, a battery replacement mechanism, and a charging cradle. After filling the agrodrome's tank and replacing the discharged battery with a charged one, the mobile service automatically unhooks the drone, which takes off and moves in the desired direction to continue the technological process of aerochemical treatment of plants. Structurally, the technological complex for charging drones is safe to operate, and it can also be used to monitor the condition of the aircraft, especially its temperature, to prevent batteries from overheating. It was noted that when using agricultural drones for chemical treatment of fields, the characteristics of the drones, the size of the fields, and the location of charging stations are important, which are proposed to be equipped with the developed technological complexes.

Based on the availability of a constructive development of a technological complex for aerial chemical treatment of cultivated plants, taking into account the technological capabilities of agricultural drones and the results of research related to the time spent on performing the technological process of applying agrochemicals, the use of agricultural drones on fields of various configurations was simulated in accordance with technological schemes for field processing and existing technological complexes for servicing agricultural drones.

**Keywords:** agrodrome, chemical treatment of plants, spraying, charging station, service ground mobile technological device.

Стаття надійшла до редакції / Received 27.09.2025

Прийнята до друку / Accepted 07.11.2025

### Постановка проблеми

Дрони у сільському господарстві стають все більш популярними, пропонуючи широкий вибір можливостей для моніторингу, обробки та аналізу посівів. Дрони використовують для висаджування насіння, внесення добрив, поливу рослин, генерування туману, взяття проб ґрунту для аналізу, вимірювання площ полів та збирання інформації про стан посівів. Вони допомагають оптимізувати використання ресурсів, обробляти великі площі завдяки маневреності, збільшити та покращити врожайність культурних рослин та скоротити витрати коштів і часу порівняно з наземною технікою, оскільки агродрони не травмують і не знищують культурні рослини під час їх обробки. На шляху пересування такі літальні апарати забезпечують хімічну обробку рослин на незначній відстані над ними, відслідковують рельєф поля і завдяки цьому виконують рівномірну обробку рослин не пошкоджуючи їх.

Агродрони застосовують також і в тваринництві, вони допомагають доглядати за стадами, знаходити тварин, які відбилися від стада і загубилися, щоб повернути їх.

Безпілотні літальні апарати, застосовувані в агровиробництві, як і інші види дронів, потребують відповідних зарядних станцій, щоб можна було їх експлуатувати для виконання технологічного процесу внесення агрохімікатів. Завдяки зарядці акумулятора агродрона його можна знову запустити у повітря.

Використання зарядних станцій для дронів забезпечує їх безперервну роботу, підвищує продуктивність роботи, дозволяє оптимізувати маршрути польоту, створює умови для роботи у важкодоступних місцях, підтримує роботу дронів та створює безпечні умови під час їх експлуатації.

Час перебування агродронів у повітрі піз час виконання технологічного процесу обмежений двома основними факторами. Перший залежить від ємності акумуляторної батареї, яка забезпечує рух коптера над об'єктом обробки з певною швидкістю та на необхідній висоті, а також надає енергії компресору для створення необхідного тиску для розпилення хімічного препарату над посівами або насадженнями. В більшості випадків на одному заряді час польоту дрона може становити 20-40 хв. Другий фактор полягає в забезпеченні внесення хімічного препарату для обробки рослин. Сучасні агродрони забезпечені баками від 10 літрів до 30 літрів. Наприклад, дрони AGRAS T10, AGRAS T20, AGRAS T30, мають ємності відповідно 10, 20, 30 літрів. За таких умов важливу роль відіграє розхід препаратів на одиницю площі, яка обробляється. Зменшення витрат рідини досягнуте завдяки сучасній науці захисту рослин, можливостям синтезувати високоефективні концентровані препарати з використанням малих доз на значні площі, їх розхід становить 5-15 літрів на гектар площі. Проблема вчасної підзарядки дронів або заміни батарей є актуальною, щоб забезпечити їх дієвість під час виконання технологічного процесу.

### Аналіз досліджень та публікацій

У роботах [1-2] відзначено важливість і перспективи застосування агродронів різних конструкцій у світовому аграрному виробництві. Роботи [3-4] містять інформацію про революційні зміни у технологіях вирощування сільськогосподарських культур можливі завдяки застосуванню безпілотних літальних апаратів. У роботах [5-6] для порівняння з агродронами розглянуто особливості застосування наземної техніки для внесення хімічних препаратів на посівах сільськогосподарських культур. У невеликих дронів потужності менші, вони можуть піднімати до 20 кг, більші безпілотними мають відповідно більші потужності, однак потребують значних затрат енергії для польоту і виконання поставлених завдань. Тому питання пов'язані із сервісом дронів, особливо із забезпеченням їх енергією для польотів – надзвичайно важливі.

Квадрокоптери є електричні, бензинові та мультикоптери.. Перевага електричних у тому, що вони більш функціональні, недоліки – для обробки великих територій потребують акумуляторів із значним запасом енергії, їх можуть зносити пориви вітру. Агродрони на бензині працюють довше, стійкіші до поривів вітру завдяки більшій вазі; недолік їх конструкцій – при падінні часто розбиваються і можуть загорітися. Мультикоптери беруть енергію від генераторів потужністю 2 кВт. Переваги таких пристроїв: сильні двигуни, запасне джерело живлення - акумулятори.

Розробці та застосуванню технологічних пристроїв для наземного сервісу агродронів, а також моделюванню обробки полів різних конфігурацій з врахуванням різних можливостей користувачів безпілотників присвячені роботи [7-10].

У роботі [8] вирішено завдання вдосконалення технологічного комплексу для авіаційної хімічної обробки посівів, які не піддають міжрядному обробітку, усунувши неузгодженість у взаємодії двох і більше безпілотних літальних апаратів. Запропоновано конструкцію сервісного наземного мобільного технологічного апарата, який виконано з можливістю одночасно заправляти бачки двох агродронів робочими розчинами пестицидів та підзаряджати їх акумулятори від мобільного технологічного апарата. Розробка забезпечує узгодження виконання операцій залежно від розмірів поля. Зона розпилювання агрохімікатів та обсяг внесення хімічної рідини є змінними і узгоджуються з технічними умовами на їх внесення. У роботі [8] запропоновано також схеми використання технологічних комплексів для авіаційної обробки полів різних розмірів: для полів невеликих площ технологічний апарат розташовують з однієї сторони поля і він містить дві або більше базові точки розташування дронів для заправки хімічними розчинами та підзарядки акумуляторів. Для полів великих площ доцільно наземні мобільні технологічні апарати для сервісу агродронів розташовувати з обох боків поля.

У роботі [9] на основі аналізу виконання технологічного процесу агродроном розроблено методику розрахунку продуктивності дронів під час обробітку посівів.

У роботах [9-10] запропоновані технологічні схеми для обробітку різних за розмірами полів з різним розташуванням наземних сервісних комплексів для їх обслуговування, які забезпечують часткове зменшення

непродуктивних операцій, збільшуючи тим самим продуктивність роботи агродронів; проаналізовані затрати часу агродронами-обприскувачами на виконання технологічного процесу протягом зміни при роботі за різними схемами обробітку посівів.

### Формулювання цілей статті

**Метою роботи є:** забезпечення високої продуктивності роботи агродронів під час обробки посівів і насаджень сільськогосподарських культур. Обов'язковою умовою досягнення продуктивної роботи агродронів є співпадання часу технологічного процесу обробітку ними рослин  $T_0$  і часу активної дії акумуляторів дронів  $T_A$ . Синхронізувати затрати часу можна завдяки вчасній підзарядці акумуляторів або їх заміні, а для цього необхідним є використання технологічного комплексу, який виконуватиме сервісні дії пов'язані із заправкою робочим розчином і підзарядкою акумуляторів. Важливим є також правильний вибір технологічних схем обробітку полів, це забезпечить високі результати їх використання [9, 10].

### Виклад основного матеріалу

Завдяки зарядним станціям сучасні дрони можуть підтримувати подовжений період роботи та після завершення польоту повернутися на станцію для вчасної підзарядки акумулятора і продовження виконання завдань.

Зарядні станції або мобільні технологічні пристрої для наземного сервісу агродронів доцільно розташовувати в оптимальних місцях для покриття великої території, найчастіше їх застосовують по один або два боки поля, забезпечуючи тим самим безперервний політ заданим маршрутом для обробки посівів чи насаджень. При розташуванні зарядних станцій по обидва боки поля агродрони програмують так, щоб вони могли летіти до найближчої станції для наступної підзарядки. Зарядні станції іноді можуть розташовувати у важкодоступних місцях.

Конструктивно технологічний комплекс для зарядки дронів має бути безпечним у роботі, також його можна використовувати для контролю стану літального апарату, особливо його температури, щоб запобігти перегріванню акумуляторів.

Зарядні станції можуть бути центрами керування для контролю за станом та знаходженням дронів у реальному часі, також їх можна використовувати для зберігання інформації про роботу літальних апаратів.

Для забезпечення ефективної роботи агродронів, які базуються на мобільних станціях під час обробки посівів, пропонуємо комплектувати їх технологічними комплексами для рис. 1.

Технологічний комплекс для авіаційної хімічної обробки рослин з використанням безпілотного літаючого апарата складається із сервісного наземного мобільного технологічного апарата 1 і безпілотного літаючого апарата 2 з баком накопичення рідини для хімічної обробки рослин 3. Сервісний наземний мобільний технологічний апарат 1 складається з платформи 4 з системою заправки 5 безпілотного літаючого апарата 2 рідиною для хімічної обробки рослин, механізму фіксації 6 безпілотного літаючого апарата 2 з рухомими фіксуєчими лапами 7, механізму заміни 8 батареї 9 безпілотного літаючого апарата 2 та зарядною обоймою 10. Також сервісний наземний мобільний технологічний апарат 1 містить резервуар 11 з рідиною для хімічної обробки рослин, який встановлено на колісній базі 12 і розміщено під платформою 4. Система заправки 5 безпілотного літаючого апарата 2 рідиною для хімічної обробки рослин містить заправний клапан 13, з яким агрегується бак накопичення рідини 3 для хімічної обробки рослин безпілотного літаючого апарата 2. Механізм заміни 8 батареї 9 безпілотного літаючого апарата 2 містить направляючі 14, по яких забезпечується рух затискачів 15 батареї 9 між механізмом фіксації 6 безпілотного літаючого апарата 2 та зарядною обоймою 10. Зарядна обойма 10 розташована на платформі 4 з можливістю кругового обертання й містить комірки 16 заповнені батареями 9 і одну порожню комірку 17.

Працює технологічний комплекс для авіаційної хімічної обробки рослин з використанням безпілотного літаючого апарата наступним чином. При обробленні рослин безпілотний літаючий апарат 2 піднімається над поверхнею землі і здійснює обробку рослин (на рисунках не показано). При спустошенні баку накопичення рідини для хімічної обробки рослин 3 чи розрядці батареї 9 безпілотний літаючий апарат 2 підлітає і сідає на платформу 4 сервісного наземного мобільного технологічного апарату 1, де проходить його автоматичне закріплення рухомими фіксуєчими лапами 7 механізму фіксації 6. При цьому відбувається автоматичне агрегування заправного клапана 13 системи заправки 5 безпілотного літаючого апарата 2 з баком накопичення рідини для хімічної обробки рослин 3, який встановлений на технологічному комплексі, таким чином відбувається заповнення бака агродрона робочим розчином. За потреби, відбувається заміна батареї 9, яка знаходиться на безпілотному літаючому апараті 2, шляхом виконання ряду операцій в автоматичному режимі. Спочатку відбувається затиск розрядженої батареї 9 затискачами 15. Потім проходить автоматичне від'єднання розрядженої батареї 9 від безпілотного літаючого апарату 2. Далі здійснюється рух затискачів 15 з розрядженою батареєю 9 по направляючих 14 від механізму фіксації 6 безпілотного літаючого апарата 2 до зарядної обойми 10 і потрапляння розрядженої батареї 9 в порожню комірку 16 зарядної обойми 10. Тоді відбувається повертання зарядної обойми 10 з подальшим потраплянням в затискачі 15 зарядженої батареї 9 та її переміщення в затискачах 15 по направляючих 14 від зарядної обойми 10 до механізму фіксації 6 безпілотного літаючого апарата 2 з подальшим її приєднанням до безпілотного літаючого апарату 2.

Після завершення операцій заповнення бака накопичення рідини для хімічної обробки рослин та, при потребі заміни розрядженої батареї 9 на заряджену, відбувається автоматичне відкріплення безпілотного літаючого апарату 2 з рухомих фіксуєчих лап 7 механізму фіксації 6, подальший зліт і переміщення в потрібному напрямі і продовження виконання технологічного процесу аерохімічної обробки рослин.

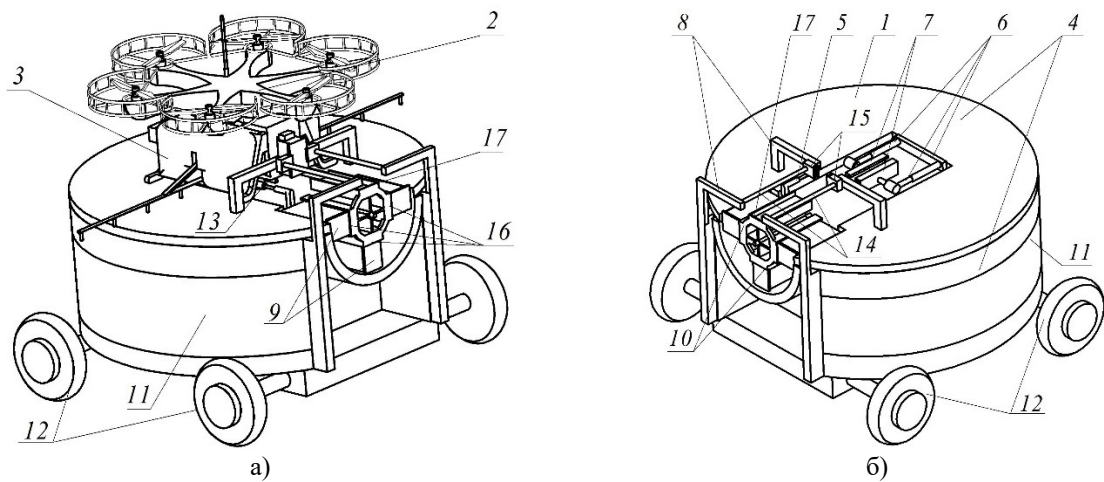


Рис. 1. Технологічний комплекс для авіаційної хімічної обробки рослин з використанням агродронів: а) – комплекс із встановленим агродроном; б) – загальний вигляд комплексу

Перевага розробленого технологічного комплексу для авіаційної обробки рослин з використанням агродронів – розширені можливості у маневруванні та виконанні технологічного процесу.

При використанні агродронів для хімічної обробки полів важливими є характеристики дронів, розміри полів та місця розташування зарядних станцій.

Час виконання технологічного процесу обприскування агродроном, тобто час протягом якого витрачається об'єм одного бака агродрона

$$T_0 = 3,6 \cdot 10^4 \cdot \frac{v_B}{q \cdot H \cdot V_p}, \quad (1)$$

де  $v_B$  - об'єм бачка з рідиною, л;

$H$  - ширина захвату зони розпилення агродроном, м;

$q$  - норма використання технологічної рідини на 1 га поля, л/га;

$V_p$  - робоча швидкість агродрона, км/год.

Ефективне внесення агрохімікатів відбувається на швидкостях руху дронів: 10-12 км/год для складних рельєфів полів; до 23 км/год для рівних полів; ширина захвату зони розпилення агродронами становить 6-12 метрів. Задавшись певними умовами, а саме: шириною захвату зон розпилення і нормами використання технологічної рідини при постійній швидкості агродрона та однаковому об'єму бака хімічної речовини, дослідимо затрати часу на виконання технологічного процесу (рис. 2).

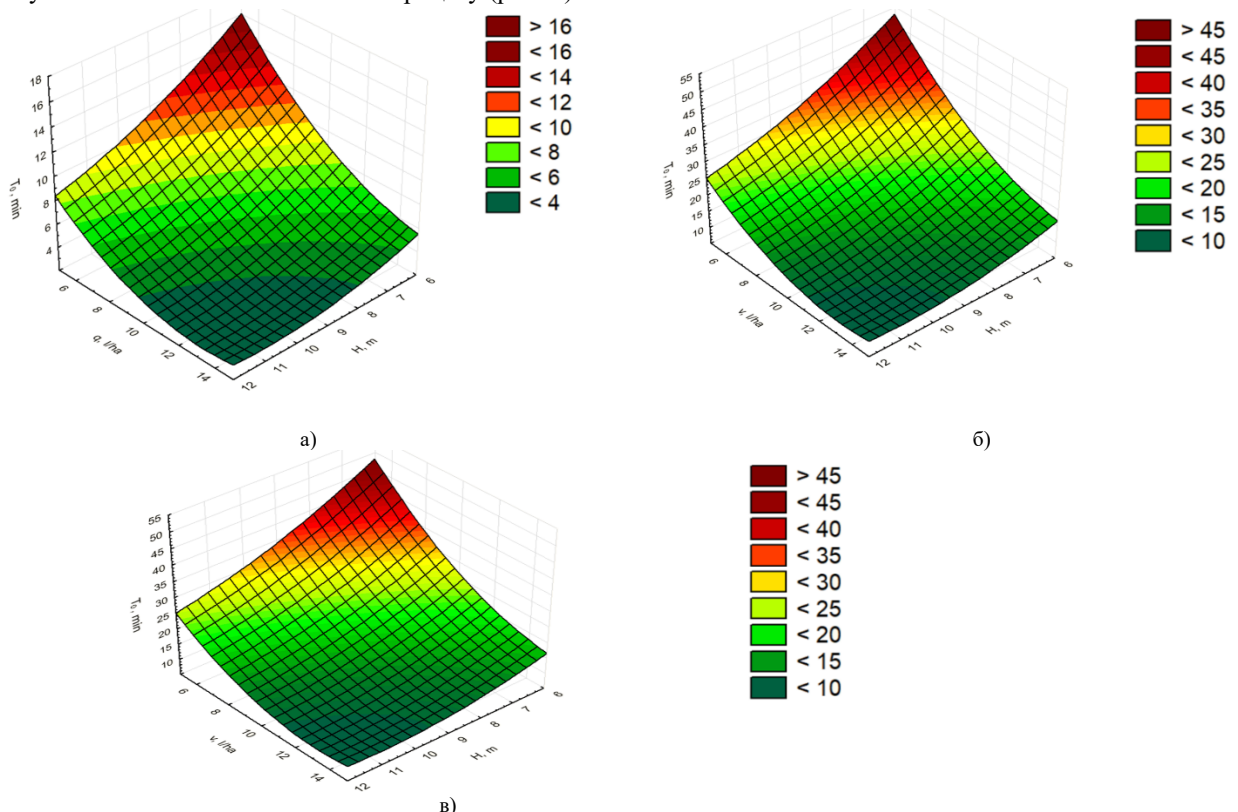


Рис. 2. Час виконання технологічного процесу агродронами: а) – при швидкості 12 км/год і об'єму бака 10 л; б) – при швидкості 12 км/год і об'єму бака 20 л; в) при швидкості 12 км/год і об'єму бака 30 л

Використовуючи отримані результати (див. рис. 2), можна синхронізувати час на виконання технологічного процесу агродронами залежно від об'єму бака та ресурсу роботи акумуляторів дронів.

Опираючись на наявність конструктивної розробки технологічного комплексу для авіаційної хімічної обробки культурних рослин, враховуючи технологічні можливості агродронів та результати досліджень пов'язані із затратами часу на виконання технологічного процесу внесення агрохімікатів можна змодельовати використання агродронів на полях різної конфігурації, обравши відповідну технологічну схему обробки полів (рис. 3-6) та наявність технологічних комплексів для обслуговування агродронів. Позначення на рис. 3: – ширина захвату зони розпилення;  $L$  – відстань від станції до межі поля;  $l_x$  – шлях холостого ходу дрона (без розпилення рідини);  $t_E$  – час одного етапу (час використання повного об'єму бачка заповненого рідиною);  $l_p$  – ширина поля. Опис пропонує схем та можливість їх застосування наведено в роботі [9].

Для технологічних схем (див. рис. 3 і 4) необхідно забезпечити, щоб кратність прольотів агродронів при виконанні технологічного процесу була кратною двом

$$n = \frac{l_0}{l_p} \geq 2, \quad (2)$$

де  $l_0$  – довжина шляху коптера під час виконання технологічного процесу за період використання одного бака

рідини, визначають так

$$l_0 = \frac{v_B \cdot 10^4}{H \cdot q}, \quad (3)$$

$l_p$  – ширина поля.

Використовуючи технологічні схеми (рис. 5 і 6), придатні для полів, у яких ширина поля  $l_p > 1$  км, необхідно забезпечити виконання умови  $l_0 \geq l_p$ .

Для забезпечення ефективної роботи агродронів, які за короткий часовий проміжок, а це в основному вечірній і нічний період доби, можуть обробляти великі площі, пропонуємо використовувати технологічну схему показану на рис. 7.

Якщо ширина поля  $l_p \approx 2$  км і для обробітку застосувати агродрони AGRAS T30, то працюючи за цією схемою можна досягти продуктивності до 50 га/год. Розроблена схема має суттєву перевагу – дозволяє обробляти поля, на яких розміщені смугові посіви, тобто зайняті різними культурами. Особливість таких посівів у тому, що для різних культур потрібні різні препарати для обробки. Використання розробленої схеми дозволяє одночасно, використовуючи одну мобільну станцію (технологічний сервіс), укомплектовану розробленими технологічними комплексами для авіаційної хімічної обробки рослин (див. рис. 1) обробляти кожну з культур відповідним хімікатом. Розробка придатна також для обробітку одночасно двох полів зайнятих смуговими посівами, для цього технологічний сервіс комплектують чотирма технологічними комплексами для обслуговування агродронів.

Обравши технологічну схему обробки посівів, необхідно уточнити ефективну продуктивність дронів користуючись відповідною методикою [9].

### Висновки

Розроблено конструкцію технологічного комплексу для авіаційної обробки рослин з використанням агродронів та рекомендації із синхронізування часу на виконання технологічного процесу агродронами залежно від об'єму бака та ресурсу роботи акумуляторів дронів, перевагою якого є розширені можливості у маневруванні агродронів та виконанні ними технологічного процесу аерохімічної обробки рослин.

Досліджено затрати часу на виконання технологічного процесу внесення агрохімікатів, змодельовано використання агродронів на полях різної конфігурації відповідно до технологічних схем обробки полів та наявних технологічних комплексів для обслуговування агродронів.

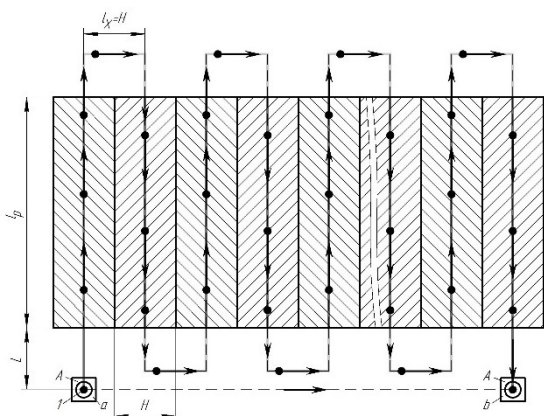


Рис. 3. Схематизація роботи одного дрона:  
A – мобільна станція (платформа); 1 – дрон

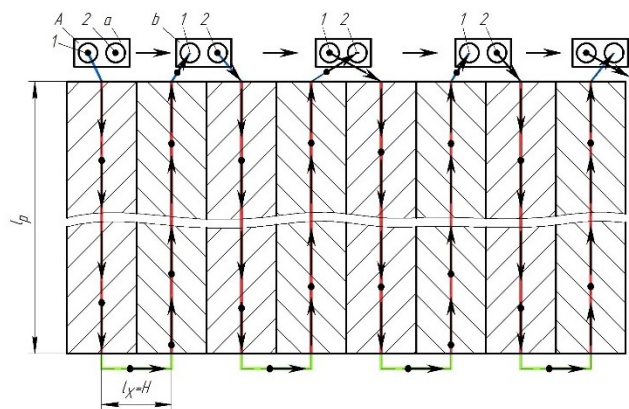


Рис. 4. Схема переміщення двох дронів з використанням однієї мобільної станції:  
A – мобільна станція; 1, 2 – дрони; a, b – позиції мобільної станції

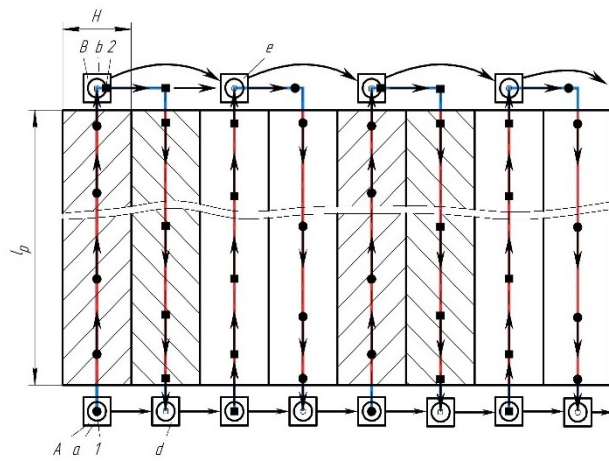


Рис. 5. Технологічна схема роботи двох дронів з двома мобільними станціями:

A, B – мобільні станції; 1, 2 – дрони

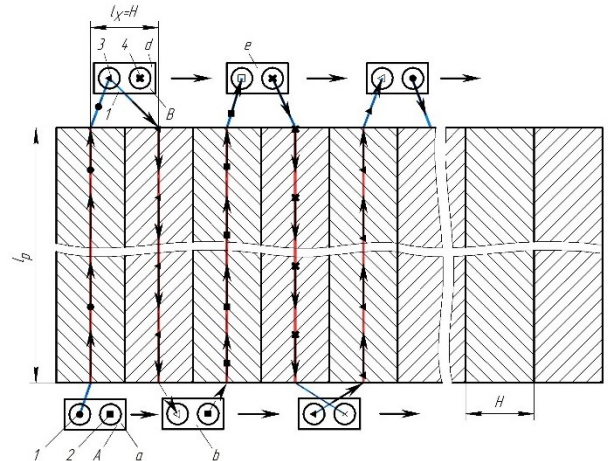


Рис. 6. Технологічна схема роботи чотирьох дронів з двома мобільними станціями:

A, B – мобільні станції; 1, 2, 3, 4 – дрони

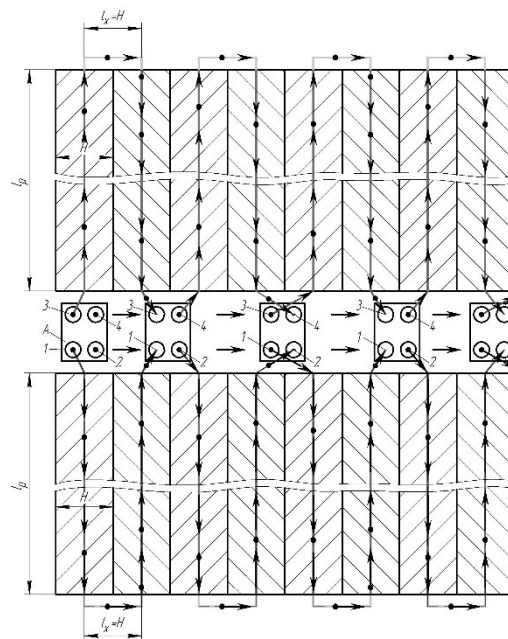


Рис. 7. Технологічна схема роботи чотирьох дронів з однією мобільною станцією:

A – мобільна станція; 1, 2, 3, 4 – дрони

## Література

1. Ahirwar S., Swarnkar R., Srinivas B., Namwade G. (2019). Application of Drone in Agriculture. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 8. 2500-2505. [10.20546/ijemas.2019.801.264](https://doi.org/10.20546/ijemas.2019.801.264).
2. Rejeb A., Abdollahi A., Rejeb K., Treiblmaier H. (2022). Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. Computers and Electronics in Agriculture, Volume 198, 2022, 107017. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017>.
3. Castaldo, João. (2023). Revolutionizing agriculture from the skies: exploring the potential of spraying drones in precision farming. Cadernos de Ciência & Tecnologia, 40, 2023. [10.35977/0104-1096.cct2023.v40.27284](https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2023.v40.27284).
4. Raj M., Harshini N.B., Gupta S., Atiquzzaman M., Rawlley O., Goel L. (2024). Leveraging precision agriculture techniques using UAVs and emerging disruptive technologies. Energy Nexus, Volume 14, 2024, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2024.100300>.
5. Babii A., Levytskyi B., Dovbush T., Babii M., Khomuk N., Dovbush A., Valiashek V. Mathematical model of sprayer tank loading. Procedia Structural Integrity, 2024. No 59, 609-616. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.086>.
6. Andrii Babii, Taras Dovbush, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Anna Tson, Vasyl Oleksyuk, 2022. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor. Procedia Structural Integrity No 36, PP.203-210. Science Direct. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.025>.
7. Довбуш Т.А., Гевко Р.Б., Хомик Н.І. Спосіб авіаційної хімічної обробки рослин з використанням дронів-обприскувачів. Сучасні технології промислового комплексу-2020: матеріали V-ої міжнар. наук.-практ. конф., вип. 5, м. Херсон, 10-15 верес. 2019 р. Херсон: ХНТУ, 2019. С. 40-41.

8. Патент на корисну модель UA 141056 U Україна: МПК (2020.01), A01M 7/00, A01M 11/00. Технологічний комплекс для авіаційної хімічної обробки рослин з використанням дронів-обприскувачів. Винахідники: Гевко Р.Б., Довбуш Т.А., Ляшук О.Л., Ткаченко І.Г., Хомик Н.І., Довбуш А.Д., Бортник І.М.; заявник і патентовласник ТНТУ. – № заявки u2019 07592 ; заяв. 08.07.2019 ; опубл. 25.03.2020. Бюл. № 6. – 6 с.

9. Tson H., Dovbush T., Martyniuk V., Khomyk N., Stashkiv M., Dovbush A. (2025) Development of highly productive technological schemes for the use of agrodrones for plant protection. *Scientific Journal of TNTU*. Tern.: TNTU, 2025. Vol 118. No 2. P. 66–78.

10. Хомик Н.І., Мартинюк В.В., Антончак Н.А. Аналіз продуктивності роботи запропонованих агродронових систем. Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матер. Між нар. наук.-техн. конф. присвяченої 180-річчю з дня народження Івана Пулюя та 65-річчю з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2025. С. 162-164.

### References

1. Ahirwar S., Swarnkar R., Srinivas B., Namwade G. (2019). Application of Drone in Agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 8. 2500-2505. [10.20546/ijemas.2019.801.264](https://doi.org/10.20546/ijemas.2019.801.264).

2. Rejeb A., Abdollahi A., Rejeb K., Treiblmaier H. (2022). Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 198, 2022, 107017. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017>.

3. Castaldo, João. (2023). Revolutionizing agriculture from the skies: exploring the potential of spraying drones in precision farming. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 40, 2023. [10.35977/0104-1096.cct2023.v40.27284](https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2023.v40.27284).

4. Raj M., Harshini N.B., Gupta S., Atiquzzaman M., Rawley O., Goel L. (2024). Leveraging precision agriculture techniques using UAVs and emerging disruptive technologies. *Energy Nexus*, Volume 14, 2024, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2024.100300>.

5. Babii A., Levytskyi B., Dovbush T., Babii M., Khomuk N., Dovbush A., Valiashek V. Mathematical model of sprayer tank loading. *Procedia Structural Integrity*, 2024. No 59, 609-616. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.086>.

6. Andrii Babii, Taras Dovbush, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Anna Tson, Vasyl Oleksyuk, 2022. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor. *Procedia Structural Integrity* No 36, PP.203-210. Science Direct. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.025>.

7. Dovbush T. A., Gevko R. B., Khomyk N. I. Method of aerial chemical treatment of plants using drones-sprayers. *Modern technologies of the industrial complex-2020: materials of the V int. scient.-practical conf.*, vol. 5, Kherson, September 10–15, 2019. Kherson: KhNTU, 2019. pp. 40–41. (In Ukrainian).

8. Utility model patent UA 141056 U In Ukrainian: IPC (2020.01), A01M 7/00, A01M 11/00. Technological complex for aerial chemical treatment of plants using sprayer drones. Inventor: Hevko R.B., Dovbush T.A., Lyashuk O.L., Tkachenko I.G., Khomyk N.I., Dovbush A.D., Bortnyk I.M. Owner: Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University. – Application No.: u201907592 ; Application filing date: 08.07.2019 ; Date from which rights are valid: 25.03.2020. Bulletin № 6. – 6 p.

9. Tson H., Dovbush T., Martyniuk V., Khomyk N., Stashkiv M., Dovbush A. (2025) Development of highly productive technological schemes for the use of agrodrones for plant protection. *Scientific Journal of TNTU*. Tern.: TNTU, 2025. Vol 118. No 2. pp. 66–78.

10. Khomyk N.I., Martyniuk V.V., Antonchak N.A. Analysis of the performance of proposed agrodrome systems. *Fundamental and applied problems of modern technologies: materials from the international scientific and technical conference dedicated to the 180th anniversary of Ivan Pul'uj's birth and the 65th anniversary of the founding of the Ivan Pul'uj Ternopil National Technical University*. Ternopil: FOP Palianytsia V.A., 2025. pp. 162-164.