

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БПЛА ПІД ЧАС ВНЕСЕННЯ ЗЗР,
ГЕРБИЦИДІВ ТА РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ (ФІТОГОРМОНІВ)****Зубко Владислав Миколайович**

доктор технічних наук, професор
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-2426-2772
vladyslav.zubko@snau.edu.ua

Хворост Тетяна В'ячеславівна

кандидат економічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-8863-8126
tetiana.khvorost@snau.edu.ua

Тесленко Олена Володимирівна

PhD студент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0009-0001-3177-9462
olena.vl.teslenko@gmail.com

Романовський Максим Олександрович

PhD студент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0009-0007-6500-6437
M.o.romanovskiy@gmail.com

Гузь Олег Іванович

PhD студент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0009-0004-5023-0530
Olegguziv@gmail.com

Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) при внесенні засобів захисту рослин (ЗЗР), гербицидів та регуляторів росту (фітогормонів) має численні переваги. Використання БПЛА зможе забезпечити більш точне і рівномірне внесення робочого розчину, порівняно з традиційними методами, допоможуть зменшити витрати на виконання технологічної операції, сприятимуть мінімізації впливу на довкілля, надаватимуть доступ до важкодоступних ділянок, де традиційна техніка не зможе працювати, знижуватимуть ризик для робітників працюючих з шкідливими хімікатами, сприятимуть підвищенню продуктивності і рентабельності аграрного виробництва та ще багато інших вигод від їх застосування.

У представленому дослідженні розглянуто ефективність використання БПЛА під час внесення ЗЗР, гербицидів та регуляторів росту (фітогормонів) на прикладі зібраних даних на 5000 га угідь Сумської області, з використанням різних видів БПЛА.

Проаналізовано переваги використання БПЛА у порівнянні з традиційними методами обприскування. Названі основні бренди БПЛА, які використовуються сервісними компаніями (СК). Розглянута обробка угідь БПЛА за видами культур, сконцентрована увага на середні норми внесення та зниження витрат робочого розчину при застосуванні дронів. Вказано мінімізацію шкоди для навколишнього середовища та зниження ризиків для операторів БПЛА працюючих з робочими розчинами. Враховані технічні аспекти використання БПЛА, такі як планування маршрутів польоту та основні несправності БПЛА китайського виробництва. Знайдено та описано основні несправності дронів у полях та операційні проблеми.

Проаналізовано ефективність застосування дронів, а саме оцінено вартість володіння екіпажем, період окупності інвестицій у дрони та коефіцієнт зростання загальної вартості володіння екіпажем протягом 2–3 років.

Також, досліджена продуктивність використання літальних апаратів та наведені проаналізовані непродуктивні втрати часу та методи їх скорочення.

Актуальність використання БПЛА в аграрному секторі визначається їхнім потенціалом, що має на меті значно покращити ефективність, стійкість та конкурентоспроможність сучасного агровиробництва. Подальші дослідження використання БПЛА при внесенні ЗЗР, гербицидів та регуляторів росту (фітогормонів) є важливим для розвитку сучасного, ефективного та екологічно стійкого агро. Вони сприятимуть впровадженню

інноваційних підходів, які можуть збільшити врожайність, знизити витрати і зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати (БПЛА), безпілотні літальні системи (БПЛС), «GIS technologies», «Precision Farming», дрони, продуктивність, коефіцієнт використання часу зміни (τ), засоби захисту рослин (ЗЗР), сервісні компанії (СК), пестициди, гербіциди.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.2.5>

Вступ. Захоплення сучасними технологіями та гаджетами тепер охопило й галузь аграрного виробництва. Тепер у цій галузі з'явилися роботи, які автоматично збирають врожай, трактори, які працюють без машиністів, технології зберігання продукції, БПЛА, для виконання різних технологічних операцій та безліч інших засобів для розв'язання численних проблем агровиробництва. Проте варто пам'ятати, що використання технологій становить лише малу частину майбутнього аграрного виробництва.

Сучасне агро є високотехнологічною галуззю, де застосовуються передові досягнення науки й техніки. Вже сьогодні тут впроваджують «GIS technologies» й «Precision Farming», прогнозують врожаї за допомогою дистанційного моніторингу посівів – це реальність сучасного аграрного виробництва.

За останні тринадцять років дрони набрали величезну популярність особливо у розвинених країнах світу. Не для кого не секрет, що дрони спочатку з'явилися в сфері військових застосувань. Саме тут була розроблена ця технологія, головною метою якої була військова розвідка. Цей тип літальних апаратів схожий на крилаті ракети та радіокеровані моделі, він обладнаний датчиками і призначений для польотів на великих або малих висотах, а також для передачі інформації на орбітальні супутники (John F. Guilmartin, 2020).

Світовий тренд спрямований на поширення стійких позицій БПЛА, як у військовій, так і у цивільній сферах. Асортимент безпілотних систем настільки розширився, що у деяких випадках вони стають незамінними варіантами у подоланні багатьох проблем (Тутощко О.І. et.al., 2007).

Незважаючи на те, що термін «дрон» часто використовується для опису безпілотних літальних апаратів, не всі дрони є безпілотними літальними апаратами.

Між БПЛА, безпілотними літальними системами (БПЛС) і дронами існує певна різниця (Jean-Paul Yaacoub, et.al., 2020).

Використання БПЛА у аграрному виробництві є одним із найбільш перспективних напрямків новітніх технологій. БПЛА можуть бути ефективно використані для планування і контролю різних етапів виробництва продуктів аграрного виробництва, а також для хімічної обробки посівів та інших рослин. Основним критерієм для впровадження БПЛА є їх економічна доцільність. Використання БПЛА дозволяє отримувати актуальну та ефективну інформацію у потрібний момент, а також аналізувати накопичену протягом тривалого часу інформацію для вивчення процесів у динаміці (Zastosuvannia..., 2017).

В наш час використання безпілотників в аграрному виробництві стає все більш поширеним явищем. Кількість БПЛА та їх функцій, які вони можуть виконувати як помічники фермера, зростає.

Розглянемо, які саме питання вирішують БПЛА при їх застосуванні у полі рис. 1.

Застосування безпілотних технологій тільки починає формуватися, проте за останні роки можна впевнено стверджувати – попит існує, і він зростає.

На основі проведених досліджень у «Центрі точного землеробства ім. М. Довжика», розглянемо більш детально використання БПЛА для внесення ЗЗР, гербіцидів та стимуляторів росту (фітогормонів).

Аналіз останніх публікацій. Аналіз методів внесення мінеральних добрив у ґрунт показав, що ефективність їх застосування значно залежить від умов, що створюються відповідними технологіями вирощування сільськогосподарських культур. З відомих методів внесення мінеральних добрив локальне внесення безпосередньо в ґрунт виявляється найбільш ефективним з точки зору використання рослинами і водночас менш

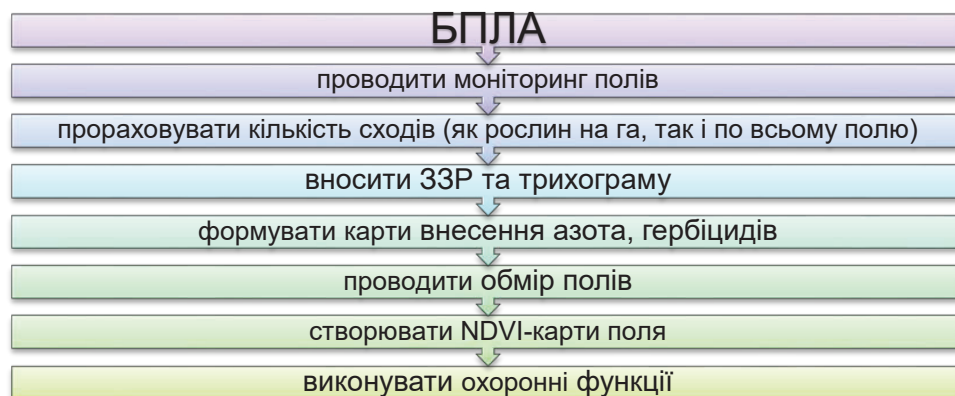


Рис. 1. Застосування БПЛА в аграрному виробництві

вразливим для навколишнього середовища (Kurlov V., et.al., 2020).

Використання БПЛА для внесення ЗЗР, гербіцидів та стимуляторів росту стало дуже популярним серед українських аграріїв. Проте основною проблемою такого методу обробки полів є обмежений досвід в цій сфері, як у компаній, що надають відповідні послуги, так і у місцевих фермерів. Тому результат може бути досить непередбачуваним – від успішного до неефективного, що може призвести до втрати коштів та надмірного використання пестицидів (Andrii Hubin, 2020).

За оцінками ФАО, використання пестицидів може відновити втрату 30–40% загального світового виробництва агрокультур. Підвищений попит на пестициди буде існувати протягом тривалого часу (Yan, Xiaojing, et.al., 2021).

Слід зазначити, на сьогодні існує декілька систем класифікації ЗЗР, які призначені для боротьби з джерелами зараження. Всі ці засоби можна розділити на дві основні категорії: хімічні та біологічні. Перші найчастіше називають пестицидами і наразі є найбільш активно використовуваними агровиборниками.

Однак працівники аграрного виробництва, які обробляють пестицидами рослини, часто зазнають великої шкоди від них, через відсутність або неналежне використання індивідуального захисту, що може призвести до потенційних негативних впливів на їхнє здоров'я (Palis, F.G., et.al., 2006). Ці контакти відбуваються в основному через вдихання і дермальний контакт з пестицидами під час їхнього змішування, навантаження, очищення обладнання, нанесення розчинів для обприскування або входу в обприскувані зони (Pinto, B.G.S., et.al., 2020).

Завдяки гнучкості БПЛА, великій ефективності та зменшеній інтенсивності праці, БПЛА, також відомі як дрони або безпілотні літальні системи (БЛС), привертають значну увагу у галузі точного контролю над шкідниками (Iost Filho, F.H., et.al., 2020).

Роторні БПЛА можуть точно та ефективно працювати в складних умовах, таких, як пагорби, гори, рисові поля та оперативно реагувати на виникнення шкідників, це відбувається завдяки відсутності необхідності в спеціальних місцях для зльоту та посадки (Qin, W.C., et.al., 2016).

Наприклад, у Китаї спостерігається швидкий розвиток наукових досліджень та практичного застосування БПЛА (Lan, Y. & Wang, G. 2018).

Згідно зі статистичними даними китайського аграрного відомства, використовуються майже 100 000 БПЛА для захисту рослин, а площа оброблених областей сягає близько 66 мільйонів гектарів у 2020 році (Yan, Xiaojing, et.al., 2021).

Останній стрімкий прогрес у технологіях реального часу, високоточного кінематичного позиціонування, керування польотом, уникнення перешкод та слідування за рельєфом землі сприяє широкому застосуванню БПЛА в галузі ЗЗР (Lan, Y. & Chen, S., 2018).

Датчики БПЛА можуть моніторити та ідентифікувати поведінку рослин при стресі, спричиненому шкідниками, насиченість рослин поживними речовинами, водою. Визначити такі проблеми допомагають здорові рослини,

які відбивають як зелені, так і інфрачервоні світлові хвилі (Wang, G., et.al., 2019).

Останні дослідження в основному сфокусовані на дослідженні впливу різних параметрів повітряного розпилення на розподіл крапель осідання та відстань дрейфу. Також досліджувалася порівняльна ефективність між БПЛА та традиційними обприскувачами при захисті рослин від різних комах та хвороб (Li, X., et.al., 2021; Mahajan U. & Bundel BR., 2017).

Постановка завдання. Цілями даної статті є дослідження ефективності використання БПЛА під час внесення ЗЗР, гербіцидів та регуляторів росту (фітогормонів) на прикладі зібраних даних на 5000 га угідь Сумської області, з використанням різних видів БПЛА.

Матеріали і методи досліджень. У даному дослідженні використані дані на ринку з надання послуг оренди БПЛА станом на 2023 рік. Опитування проводилось серед трьох СК обслуговуючих агропромисловості у Сумській області. Під час експерименту було застосовано методи емпіричного та теоретичного дослідження, а саме: опитування СК та аграріїв, спостереження за технологічними операціями внесення ЗЗР, гербіцидів та регуляторів росту БПЛА, порівняння показників ефективності та економічної вигідності використання дронів, аналіз вказаних показників.

Результати досліджень. У найбільш непередбачуваному для аграріїв сезоні 2023 року на ринку працювало три СК, які мали в своєму розпорядженні парк з 24 БПЛА. Ці компанії протягом сезону обробили приблизно 5 000 гектарів поля з кукурудзою, соєю, соняшником, озимою і ярою пшеницею та ячменем, а також ріпаком.

Аграрії, які обробили загалом у 2023 році 30 000 гектарів землі, скористалися послугами з внесення ЗЗР, гербіцидів та регуляторів росту БПЛА на площі 5 000 гектар, що становить 16,7 % від загальної обробленої площі у 2023 році.

За видами культур це виглядає наступним чином (рис. 2):

- Соняшник – 2 450 гектарів (49%);
- Кукурудза – 1 400 гектарів (28%);
- Ріпак – 450 гектарів (9%);
- Соя – 350 гектарів (7%);
- Озима пшениця та ячмінь – 195 гектарів (3,5%);
- Яра пшениця та ячмінь – 145 гектарів (2,5%).

Кожен агроном розраховує діючу речовину на гектар землі, у випадку з БПЛА це буде та ж кількість діючої речовини, що й у наземному обприскувачу, але у випадку з наземним обприскувачем витрата води буде значно більшою. Це ще одна перевага БПЛА, якщо у господарстві є проблеми з водою або з доставкою води до поля, БПЛА вирішить дану проблему. Середні норми внесення робочого розчину на гектар наведені на рис. 3.

З метою ефективного використання дронів СК ґрунтовано підходять до планування робочого процесу. Підготовка проходить в декілька етапів:

- вивчається супутникова карта поля;
- вивчається форма поля та зручність підльоту до нього;

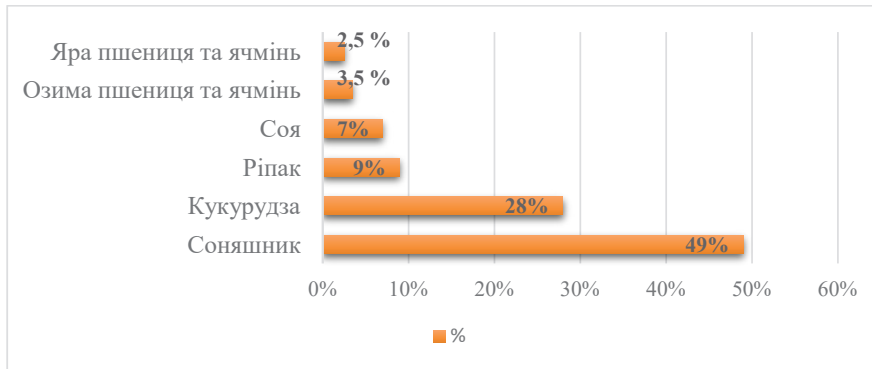


Рис. 2. Види культур

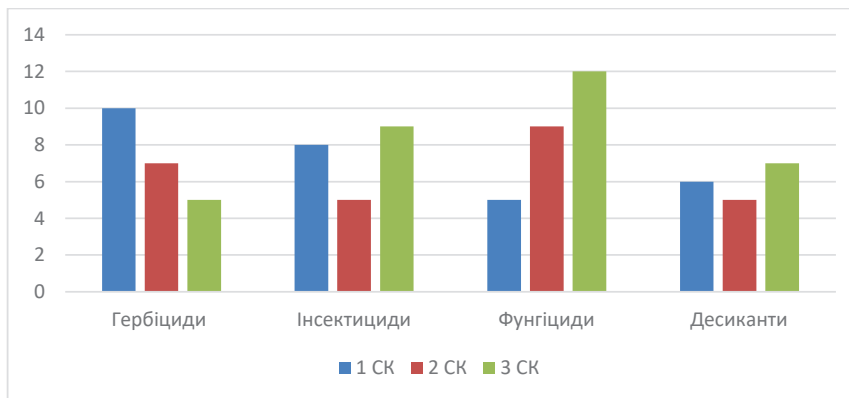


Рис. 3. Середні норми внесення робочого розчину, л/га

– накладають маршрути, по яким буде їздити БПЛА – здійснюється таким чином, щоб логістично зменшити витрати часу на повороти та дольоти до місця обприскування та зміни комплекту баку та батареї.

Бренди БПЛА, що використовувались сервісними компаніями для обприскування рослин представлені на рис. 4.

Чому ж саме цих виробників дронів обрали СК для внесення ЗЗР, гербицидів та регуляторів росту (фітогормонів)? По-перше, треба сказати, що всі представлені

БПЛА вироблені у Китаї. Лідер у світі по «дронах – обприскувачах» являється Китай. Наразі, найбільш популярними на ринку є виробники дронів XAG та DJI, в них підтримується баланс «ціна-якість». Це сучасні БПЛА, в яких поєднується сучасні технології при цьому вони не дорогі, що відіграє важливу роль у формуванні попиту на ринку.

За кількістю БПЛА на 1 екіпаж у більшості випадків використовують 1, 2 або 4 БПЛА на екіпаж (розподіл по кількості БПЛА на екіпаж представлено на рис. 5).

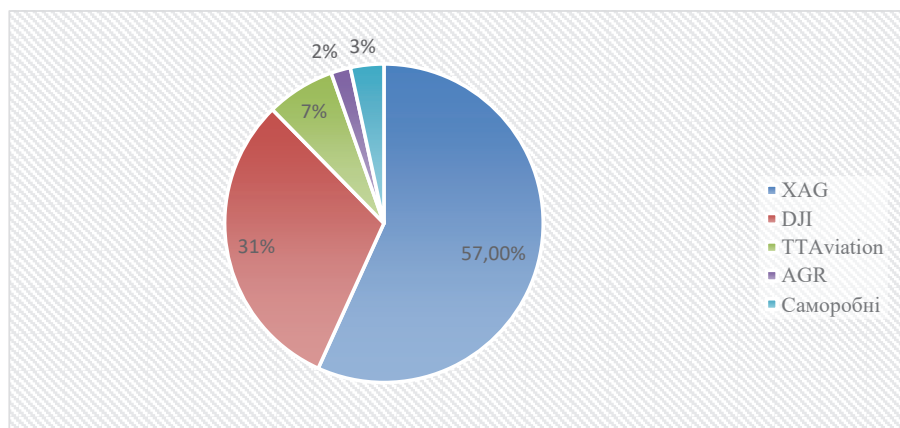


Рис. 4. Виробники БПЛА

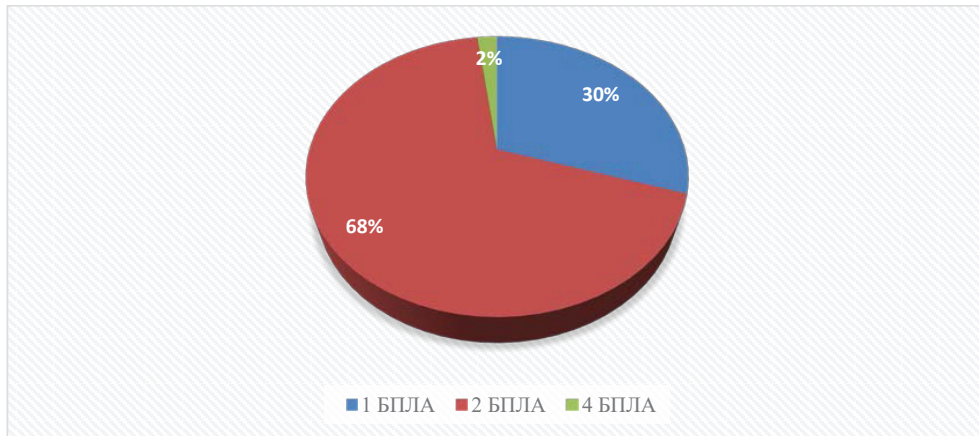


Рис. 5. Розмір екіпажів

Щоб управляти одним БПЛА, необхідна однакова кількість людей та устаткування, що й на управління двома дронами. Затрати на використання двох БПЛА однакові, в порівнянні з одним літальним апаратом, при тому, що продуктивність у двох БПЛА буде більша, ніж в одного.

Іноді виникають форс-мажорні ситуації, коли дрон виходить з ладу, ламається або падає, тоді, щоб виконати зобов'язання перед клієнтом, у випадку коли працює два БПЛА у екіпажі, робота не зупиняється, продовжуючи використовувати один БПЛА.

Опційно, БПЛА можуть працювати роями, тобто відправляється завдання двом або трьом БПЛА, при отриманні завдання дрон розуміє де знаходиться його сусід, починають виконувати роботу паралельно, автоматично. Дрон розуміє, де знаходиться інший БПЛА при цьому виключається можливість зіштовхування та пропусків на оброблювальній ділянці.

Використання 4 дронів на екіпаж можливе, але відсоток користування дуже малий, по причині дороговартісного утримання.

Розрахунковий період окупності інвестицій у дрони та сформовані екіпажі СК оцінюють від одного до трьох років, в залежності від кількості БПЛА. Сукупна вартість володіння БПЛА виглядає наступним чином рис. 6.

Сюди входить вартість БПЛА, в залежності від кількості використання у екіпажі, авто та причеп для транспортування обладнання, ремонт та технічний сервіс БПЛА, придбання захисного одягу для працівників працюючих

з хімікатами, ємності для змішування води з хімікатом, генератор для зарядки дрона в полі, змінні батареї, паливно-мастильні матеріали (ПММ), фонд заробітної плати (ФЗП) команди.

Слід зазначити, що завжди купується не окремо БПЛА, а комплект дрона, тобто те без чого БПЛА не полетить. У кожній компанії з виробництва БПЛА розуміння комплект дронів різне, але стандартний комплект поставки складається з наступного:

- літальний апарат;
- мінімум 2 батареї;
- зарядний пристрій для батареї;
- 1 бак для рідини;
- дистанційний пульт керування.

Досвідчені оператори зазначають, що поки розряджається одна батарея, друга не встигає зарядитись, тому щоб виключити розрив у часі, в ідеалі, необхідно мати три батареї.

Звісно трапляються такі власники, які витрачають багато коштів на утримання БПЛА. Це свідчить про нераціональне використання грошових ресурсів, це вже «не про бізнес», а про витрату коштів. Підприємці, які підходять зважено, думають про бізнес, як про інвестиції у майбутнє, мають на меті вкласти менше, а отримати більшу вигоду й отримують такі показники вартості володіння екіпажем 20–35 тис. доларів, які і вказані на рис.6

Дивлячись на вартісну оцінку володіння екіпажем на рис. 6, можемо підтвердити висновки про ефективність

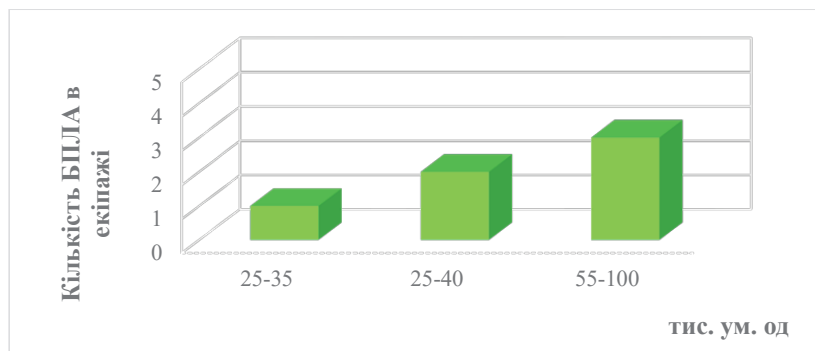


Рис. 6. Вартість володіння екіпажем

використання в екіпажі двох БПЛА, тобто вартість володіння двома БПЛА, при раціональному використанні коштів, така сама, як і при користуванні одним, а продуктивність більша.

Якщо оцінювати економічну ефективність використання БПЛА, треба застосовувати такий показник, як прогнозований коефіцієнт зростання загальної вартості володіння протягом наступних 2–3 років, наведений на рис. 7.



Рис. 7. Вартість екіпажів (коефіцієнт)

- паливо-мастильні матеріали на генератор та транспортні засоби;
- страхові платежі, які в деяких випадках покривають більшу частину ремонту БПЛА чи автомобіля.

Серед несправностей БПЛА китайського виробництва можна віднести такі типові поломки (офіційна інформація надана дилером XAG Titan Machinery):

- проблеми з датчиком бака;
- зношення ролика/слайдера акумулятора (рис. 8);



Рис. 8

- обірвані дроти сервопривода та конектора бачка на дроні (рис. 9);



Рис. 9

- пошкодження шлейфу радара (рис. 10);

До розрахунку коефіцієнта включають такі прогнозовані складові:

- лізингові або орендні щомісячні виплати по БПЛА та автомобілям для транспортування, у випадку, якщо техніка взята у лізинг;
- амортизаційні відрахування на транспортну техніку;
- супутні витрати на технічне обслуговування та закупку запасних частин, в разі поломки техніки;

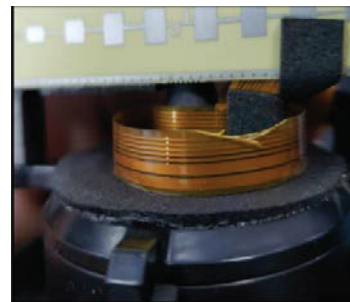


Рис. 10

- пошкодження люфту сервопривода;
- заводження системи подачі рідини та інші несправності.

Ці та інші типові поломки варто віднести до середніх витрат на вартість ремонту та закупівлю запчастин при стандартному застосуванні (рис. 11).

За даними опитувань основними проблемами БПЛА у полях є блокування роботи засобами РЕБ, падіння літального апарату з вини пілота, проблеми з батареями, їх зарядкою у польових умовах, внутрішні технічні питання роботи механізмів та компонентів БПЛА, що блокують можливість надання послуг, проблеми з програмним забезпеченням для керування дронами, несправності форсунок для розпилення рідини.

Операційними проблемами, які частіше виникають при застосуванні БПЛА можуть бути погодні умови, складнощі через конфігурацію полів, багато часу на обмір контурів полів, час на узгодження документів, недостатність або неточність карт полів, проблеми з наймом кваліфікованого персоналу, розрахунки за надані послуги та інколи навіть судові процеси з замовником.

Результати та обговорення. Перш за все, досліджуючи ефективність використання БПЛА під час внесення ЗЗР, гербіцидів та регуляторів росту (фітогормонів) важливо зазначити високу продуктивність БПЛА. Денне

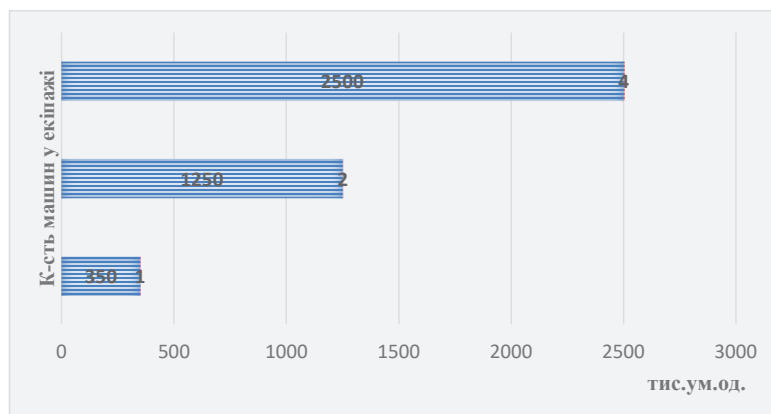


Рис. 11. Середні витрати на вартість ремонту та закупівлю запчастин

робоче напрацювання БПЛА складає від 100 до 200 гектарів, а за одну годину – від 12,5 до 25 гектарів.

Якщо казати про продуктивність БПЛА у порівнянні з самохідними обприскувачами, то тільки зараз сучасні моделі БПЛА починають доганяти класичні обприскувачі. Продуктивність самохідних обприскувачів складає приблизно 30–60 г/год і залежить від багатьох факторів, один з яких ширина захвату штанги для обприскування, яка може бути 24 м або 36 м.

Слід зазначити, що використання самохідних обприскувачів для внесення засобів захисту на озимій пшениці, інсектицидів на кукурудзі від стеблових метелика, фунгіцидів, інсектицидів і десикантів на соняшнику, ріпаку та інших високорослих культурах, на сьогоднішній день є малоефективним. Це через те, що самохідний обприскувач призводить до витоптування колесами значної кількості рослин (5-10%, або, наприклад, 0,5 тонн/гектар зерна кукурудзи), що дорівнює або перевищує рівень шкоди, яку може завдати сам шкідник (Nazvano..., 2023).

Розглядаючи непродуктивні втрати часу у БПЛА на прикладі стандартного класу дронів, можна сказати, про два обмеження часу в роботі. Перше це обсяг батареї, як довго вона буде розряджатись та друге – об'єм баку, як довго буде тривати вилів баку.

Досі обмеження були у батареї, раніше розряджалась ніж бак встигав спорожнитись до розрядження батареї. Виробники зробили акцент на досягненні необхідного ресурсу батареї та виліву баку, тепер ці два фактори відбуваються практично одночасно, спочатку відбувається вилів ЗЗР, потім розряджається батарея.

На практиці втрати часу виглядають наступним чином. Бак з ЗЗР об'ємом 20 літрів, батарея розряджається за 12 хвилин, за цей час БПЛА здійснює вилів 20 літрів баку та повертається до керманіча дрона.

Коли завершився вилів баку, необхідно батарею зарядити, бак заправити ЗЗР, якщо цей процес почати робити, то на це витрачається багато часу, батарея заряджається приблизно 30 хвилин, тому для цього мається додатковий комплект з зарядженою батареєю та заповненим баком.

Втрати часу налічують декілька складових: доліт від точки де закінчилась рідина у баку, час на зміну

комплекту та повернення дрона до точки завершення обприскування. У середньому витрата продуктивного часу, в залежності від відстані на дільоти та зміну додаткового комплексу складає 10–15 хвилин. Що показує низький коефіцієнт робочого часу зміни.

Аграрії на даному етапі розвитку з особливою обережністю ставляться до використання БПЛА у своїх господарствах. Вказаний метод обробки сильно відрізняється від того підходу, який вони звикли використовувати. Аграрії звикли до наземних обприскувальних агрегатів, які є вже в наявності, навченого персоналу, налагоджених контактів з компаніями по ремонту та закупівлі запчастин. З придбанням БПЛА у штат техніки все навпаки, багато нових невідомих перемінних, таких, як відсутність кваліфікованого персоналу на місцях, вартість помилки з розрахунку обприскування дороговартісною хімією, вартість самого БПЛА, який може впасти та врожай, який можна втратити через неправильну концентрацію хімікатів. Придбання БПЛА у володіння, аграрії бачать, як ризики, які тягнуть за собою витрати часу та коштів. Тому агропромисловці не беруть в штат техніку, яка літає, а користуються послугами аутсорсингових компаній, з метою зняти з себе ризики на утримання.

Можна сказати, що бізнес дронів, це напрям суто СК, але в той же час збільшення попиту на оренду БПЛА, може говорити про те, що для агропромисловництва він закриває, ту частину проблем при обробці рослин, які вони не можуть вирішити за допомогою наземних знарядь обробки.

Ринок БПЛА новий, динамічний, незафіксований, наразі багато в ньому змін. Очікування спеціалістів такі, що після війни цей ринок отримає додатковий поштовх по декількох причинах. По-перше зніметься заборона на польоти або можливо з'явиться законодавство, яке буде регулювати вільні польоти або користування БПЛА. По-друге, з'явиться кількість навчених кадрів – з війни прийдуть люди з необхідними навичками та заповнять ту нішу у аграріїв, де немає кадрів. Можливо деякі з цих військових маючи необхідну підтримку від держави на відкриття бізнесу, у вигляді привабливих кредитів, почнуть працювати на себе, купляючи дрони та відкриваючи власний бізнес з оренди літаючої техніки.

Висновки. Таким чином, оцінка економічної ефективності внесення ЗЗР та регуляторів росту (фітогормонів) за допомогою використання БПЛА – досить складне, але необхідне для подальшого розгляду та дослідження, завдання. Воно необхідне для прийняття обґрунтованих рішень щодо застосування

БПЛА в якості засобу внесення засобів захисту та догляду за рослинами. Вибір методів обчислення ефективності залежить від багатьох чинників, зокрема управлінських рішень та передусім від ґрунтованого планування та грамотного розподілу фінансових ресурсів.

Бібліографічні посилання:

1. Andrii Hubin (2020), Ahro IT Abetka: B – BPLA v silskomu hospodarstvi.– [B – UAV in agriculture] Traktorist.ua. <https://traktorist.ua/articles/agro-it-abetka-b-bpla-v-silskomu-gospodarstvi>. (in Ukrainian)
2. Iost Filho, F.H.; Heldens, W.B.; Kong, Z.; de Lange, E.S. Drones (2020): Innovative technology for use in precision pest management. *J. Econ. Entomol.* 113, 1–25
3. Jean-Paul Yaacoub, Hassan Noura, Ola Salman & Ali Chehab (2020). Security analysis of drones systems: Attacks, limitations, and recommendations. Elsevier Public Health Emergency Collection. Removed from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7206421/>
4. John F. Guilmartin (2020). Unmanned Aerial Vehicle. *Military Aircraft. Britannica*. <https://www.britannica.com/technology/unmanned-aerial-vehicle>. (in Ukrainian)
5. Kurlov V; Fesenko H.; Poliakov A. (2020). Pidvyshchennia efektyvnosti tekhnichnykh zasobiv lokalnoho vnesennia mineralnykh dobryv pry vyroshchuvanni silskohospodarskykh kultur.– [Increasing the efficiency of technical means of local application of mineral fertilizers during the cultivation of agricultural crops]. *Naukovyi zhurnal «Inzheneriia pryrodokorystuvannia»*. 10.37700/enm. (15). S. 53-58. (in Ukrainian)
6. Lan, Y. & Chen, S. (2018). Current status and trends of plant protection UAV and its spraying technology in China. *Int. J. Precis. Agric. Aviat.* 1, 1–9
7. Lan, Y.; Wang, G. (2018), Development situation and prospects of China's crop protection UAV industry. *Agric. Eng. Technol.* 38, 17–27
8. Li, X.; Giles, D.K.; Niederholzer, F.J.; Andaloro, J.T.; Lang, E.B.; Watson, L.J. (2021) Evaluation of an unmanned aerial vehicle as a new method of pesticide application for almond crop protection. *Pest Manag. Sci.* 77, 527–537
9. Mahajan U. & Bundel BR. (2017). Drones for Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), to Estimate Crop Health for Precision Agriculture: A Cheaper Alternative for Spatial Satellite Sensors – In International Conference on Innovative Research in Agriculture, Food Science, Forestry, Horticulture, Aquaculture, Animal Sciences, Biodiversity, Ecological Sciences and Climate Change (AFHABEC-2016), At Jawaharlal Nehru University.
10. Nazvano perevahy zastosuvannia droniv dlia obpryskuvannia porivnyano z nazemnoiu tekhnikoju. (2023). [The advantages of using drones for spraying compared to ground equipment are named]. *SuperAgronom.com. Holovnyi sait ahronomiv*. <https://superagronom.com/news/17281-nazvano-perevagi-zastosuvannya-droniv-dlya-obpryskuvannya-porivnyano-z-nazemnoiu-tehnikoyu>. (in Ukrainian)
11. Palis, F.G.; Flor, R.J.; Warburton, H.; Hossain, M. Our farmers at risk: Behaviour and belief system in pesticide safety. *J. Public Health* 2006, 28, 43–48
12. Pinto, B.G.S.; Soares, T.K.M.; Linhares, M.A.; Ghisi, N.C. (2020) Occupational exposure to pesticides: Genetic danger to farmworkers and manufacturing workers—A meta-analytical review. *Sci. Total Environ.* 748, 141382
13. Qin, W.C.; Qiu, B.J.; Xue, X.Y.; Chen, C.; Xu, Z.F.; Zhou, Q.Q. (2016). Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanne.d aerial vehicle against plant hoppers. *Crop Prot.* 85, 79–88
14. Tymochko O.I., Holubnychyi D.Iu., Tretiak V.F. & Ruban I.V. (2007). Klasyfikatsiia bezpilotnykh litalnykh aparativ. Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika.– [Classification of unmanned aerial vehicles. Weapon systems and military equipment]. *Systemy ozbroiennia ta viiskova tekhnika*. – Vyp. (1/9), S. 61- 67. (in Ukrainian)
15. Wang, G.; Lan, Y.; Yuan, H.; Qi, H.; Chen, P.; Ouyang, F.; Han, Y. (2019) Comparison of spray deposition, control efficacy on wheat aphids and working efficiency in the wheat field of the unmanned aerial vehicle with boom sprayer and two conventional knapsack sprayers. *Appl. Sci.* 9, 218
16. Yan, Xiaojing & Zhou, Yangyang & Liu, Xiaohui & Yang, Daibin & Yuan, Huizhu. (2021). Minimizing Occupational Exposure to Pesticide and Increasing Control Efficacy of Pests by Unmanned Aerial Vehicle Application on Cowpea. *Applied Sciences*. 11. 9579. 10.3390/app11209579
17. Zastosuvannia bezpilotnykiv v silskomu hospodarstvi.– [Use of drones in agriculture] (2017), OOO «S-HREIN UKRAYNA», <http://s-grain.com.ua/uk/novosti/primenenie-bespilotnikov-v-selskom-xozyajstve/>. (in Ukrainian)

Zubko V. M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Khvorost T. V., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Teslenko O.V., PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Romanovsky M. O., PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Guz O.I., PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Efficiency of the use of UAVs during the application of PPPs, herbicides and growth regulators (phytohormones)

The use of an unmanned aerial vehicle (UAVs) herbicide in the application of plant protection products (PPP), pesticides and growth regulators (phytohormones) has numerous advantages. The use of UAVs makes it possible to ensure a more accurate and uniform application of the working solution, to comply with traditional methods, to reduce the costs of the

technological operation as much as possible, to minimize the impact on the environment, to provide access to hard-to-reach areas where traditional equipment cannot work, reducing the risk to favorable workers working with harmful chemicals, helping to increase the productivity and profitability of agricultural production and many other means of their use.

The presented study presents the effectiveness of using UAVs during the application of pesticides, herbicides and growth regulators (phytohormones) on the example of data collected on 5,000 hectares of land in the Sumy region, using various types of UAVs.

The advantages of using UAVs compared to traditional spraying methods are analyzed. The name of the main brands of UAVs that work as service companies (SC). UAVs land treatment by types of crops was considered, focused attention on average rates of application and reduction of costs of working solution when using drones. Minimization of damage to the environment and reduction of risks for UAVs operators working with working solutions is shown. Technical aspects of using UAVs, such as flight route planning and the main malfunctions of Chinese-made UAVs, are taken into account. Major field drone malfunctions and operational issues are identified and described.

The effectiveness of the use of drones was analyzed, namely the cost of owning a crew, the payback period of investments in drones and the growth rate of the total cost of owning a crew within 2-3 years were estimated.

Also, the productivity of the time of use of aircraft was investigated, and non-productive losses were analyzed and methods of their reduction were given.

The relevance of the use of UAVs in the agricultural sector increases their potential, which aims to significantly increase the efficiency, sustainability and competitiveness of modern agricultural production. Further research into the use of UAVs in the application of pesticides, herbicides and growth regulators (phytohormones) is a prerequisite for the development of modern, efficient and environmentally sustainable agriculture. They promote innovative approaches that can increase yields, lower costs and reduce negative environmental impacts.

Key words: unmanned aerial vehicles (UAVs), unmanned aerial systems (UAS), «GIS technologies», «Precision Farming», drones, productivity, utilization ratio of shift time (τ), plant protection products (PPEs), service companies (SC), pesticides, herbicides.