



УДК 631.3

DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-45

ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ДРОНІВ У ЗАДАЧАХ ОБПРИСКУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Діордієв В.Т., д.т.н.<https://orcid.org/0000-0001-8552-8215>*e-mail: diovlatr@ukr.net***Кашкар'юв А.О., к.т.н.,**<https://orcid.org/0000-0002-6212-2615>*e-mail: anton.kashkarov@tsatu.edu.ua***Семендяєв О.Є.* , аспірант**<https://orcid.org/0000-0002-2520-9121>*e-mail: aleksandr.semendyaev@gmail.com**Таврійський державний агротехнологічний університет*

Анотація - у статті піде мова про проблеми використання дронів для обприскування сільськогосподарських культур, а саме садів і виноградників. Детальна обґрунтована актуальність напряму та галузь використання. Для цього використані статистичні дані галузі в Україні. На основі огляду наукових та науково-популярних видань за питанням використання сучасних цивільних безпілотних літальних апаратів, були визначені сильні та слабкі сторони, а також можливості і загрози їх використання за проблематикою статті. З метою подолання вказаних проблем використання дронів у задачах обприскування, запропонована концепція напівавтономного дрону з обмеженим функціоналом. Розглянуті основні функціональні елементи сучасних дронів. Акцентована увага на використанні асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором для приводу повітряних гвинтів. Поставлені завдання для подальшої роботи

Ключові слова: обприскування, безпілотний літальний апарат, дрон, сільське господарство, садівництво.

Постановка проблеми. У собівартості продукції плодоовочівництва більшу частку витрат складають витрати на добрива (14-20%), засоби захисту рослин (15-30%), паливо-мастильні матеріали (15%), амортизація устаткування (6%), сільськогосподарські послуги (6%) (внесення добрив, збирання врожаю, в залежності від культури, сорту та регіону) [1]. Сукупні витрати на добрива та засоби захисту рослин (ЗЗР) сягають близько половини загальних витрат, що робить цей напрям привабливим для зниження загальної собівартості продукції. Вважаємо, що змінити структуру витрат, зменшити їх грошовий вираз та підвищити ефективність цих видів робіт можна за умови впровадження концепції точного землеробства (ТЗ). Сьогодні базою для ТЗ є використання технологій глобального позиціонування та безпілотних літальних апаратів (БПЛА, дрони) [2, 3, 4].

© Діордієв В.Т., Кашкар'юв А.О., Семендяєв О.Є.

*Науковий керівник: к.т.н., доцент Кашкар'юв А.О.



Аналіз останніх досліджень. Проблемам використання БПЛА (дронів) в сільському господарстві та шляхи їх вирішення, вибір електрообладнання присвячено багато наукових робіт вітчизняних та закордонних вчених [5, 6, 7].

Науковці світу мають технічні та організаційні рішення галузевого використання дронів [8]: задачі спостереження в екології [9] ті моніторингу параметрів мікроклімату [10], оцінці посівів [11], ультрамалооб'ємного обприскування [12]. Достатньо повно описані методики визначення параметрів керування для забезпечення стабільного руху за заданою траєкторією [13, 14]. Здебільшого, представлені та інші роботи, які не вказані у переліку літератури, орієнтовані на удосконалення алгоритмічного забезпечення, розширення функціоналу та оптимізації галузевого використання, що виконується в автономному режимі.

За напрямом роботи із добривами та засобами захисту рослин, БПЛА використовують для внесення хімічних препаратів і мінеральних добрив на посіви [15, 16]. БПЛА можуть сканувати землю і розпорошувати оптимальну кількість рідини, з урахуванням відстані до землі, культури та погодних умов. При тому що розпорошення проводиться рівномірно. Варто зазначити, що такі дрони стоять більше звичайних, однак результат вартий того: розпорошення виконується в 5 разів швидше традиційного методу, при цьому витрата добрив і мінеральних речовин оптимізується.

Для вирощування органічної продукції, окремо виділяється внесення біологічних засобів захисту, як, наприклад, трихограм - комахи-паразити, які харчуються яйцями шкідників. За допомогою дронів їх можна швидко розповсюдити в кілька етапів, трихограмма живе в умовах поля до тижня, і за цей час здатна знищити велику кількість шкідників. Стає можливим зведення до мінімуму використання пестицидів, а також заощадити на добривах.

Якість хімічної обробки безпосередньо залежить від густоти покриття оброблюваної поверхні робочим розчином. Чим більше крапель досягне своєї поверхні рослин і утримується на них, тим більш ефективною буде хімічна обробка. Проблему підвищення щільності крапель довго вирішували простим способом. Завдяки внесенню великої кількості води і використання «препаратів-прилипачів» агрономи почали отримувати якісне і рівномірне покриття. Такий підхід не придатне для БПЛА оскільки призводить до збільшення ваги корисного вантажу, що вимагає збільшення потужності силового устаткування.

«Що якщо не збільшувати обсяг рідини, а зменшити саму краплю?». Такий підхід став ключовим для технології ультрамалооб'ємного обприскування (УМО) - технологія, яка



передбачає внесення ЗЗР з мінімальними витратами робочого розчину - від 0,5 до 5 л / га. Розмір краплі близько 100 мікрометрів дозволяє забезпечити гарне проникнення препарату в породири навіть дуже густих посівів. Зараз за кордоном і у нас в країні все більше використовуються УМО з використанням БПЛА. Це відкрило такі можливості:

- рідина рівномірно покриває всю оброблювану поверхню;
- за рахунок своєї легкості краплі не скачуються вниз;
- краплі потрапляють чітко в породири листа;

Оскільки робочого розчину стало менше, зменшуються обсяги води, що сприяє використанню БПЛА.

В Україні технологія внесення ЗЗР дронами тільки розвивається, і компаній, які надавали б такі послуги в промислових масштабах, поки немає. Азіатські рішення для українських аграріїв важкодоступні через свою надвисоку вартість: дрон «Yamaha» коштує майже 2,5 мільйона гривень; «Agras» коштує 385 000 гривень, але його продуктивність набагато нижча [15, 16].

Тому за проектування дронів взялися вітчизняні стартапи. Серед тих, хто працює в цьому напрямку, слід назвати українську компанію Kray Technologies. Її фахівці розробляють інноваційні рішення для фермерів - безпілотники з власним програмним забезпеченням. Вартість одного дрона зараз становить приблизно \$ 50 000. Український дрон оснащений системою комп'ютерного бачення, яка дозволяє розпізнавати перешкоди і автоматично обходити їх. Камери здатні розпізнавати рельєф на відстані 10-70 метрів, лідар - 5-25 метрів. В майбутньому на моделях встановлять апарат «комп'ютерного зору», який буде працювати в нічному режимі. Робочий цикл дрона: 15 хвилин - 1 політ і 1 хвилина обслуговування. За один цикл він обробляє до 14 га. Час заряду пари акумуляторів - до 60 хвилин. Продуктивність - від 27 до 48 га на годину, приблизно 250 га в день. Поки дрон доступний тільки для участі в пілотних проектах.

За даним напрямком все частіше стали розвиватися агро-ІТ стартапи, які оптимізують використання дронів в сільському господарстві. Спеціально створені системи моніторингу цих процесів дозволяють знизити витрати на такі роботи до 80% [2]. Комплекси моніторингу, які слідкують за мобільними СГМ можуть корегувати курс та оцінювати якість роботи. Але їх використання супроводжується певними обмеженнями, які зумовлені часом льоту, корисною вагою, віддаленістю від джерел енергії, вартістю акумуляторів та загальними капітальними вкладеннями на ефективне впровадження.

Метою статті зниження витрат на виробництво продукції садівництва шляхом оцінки проблем використання дронів у задачах

обприскування сільськогосподарських культур шляхом формалізації розробки електротехнічного комплексу на основі дрону з обмеженим функціоналом.

Основний зміст статті. Аналіз джерел інформації показав, що використання сучасних БПЛА має ряд особливостей, зумовлених специфікою умов сільського господарства та показниками економічної ефективності. На наш погляд, результати аналізу можна подати за прикладом SWOT-аналізу (табл. 1) [4, 5, 6, 7, 17].

Таблиця 1. Аналіз використання БПЛА (дрони) в умовах відкритого ґрунту

Сильні сторони	Слабкі сторони
Екологічно чиста енергія (переважно використовується електрична енергія) Адаптація під системи точного землеробства (збір даних про стан територія та культур) Механічно не впливає на ґрунти Можлива організація цілодобової роботи	Законодавча база (отримання дозволів) Мала вантажопіднімальна здатність Висока вартість матеріалів та обладнання для ремонту та обслуговування Висока вартість програмного забезпечення для управління та позиціонування, а також зберігання та аналізу даних Обмежена ємність і велика вага елементів живлення Екологічна небезпека при використанні УМО (легкий аерозоль)
Можливості	Загрози
Підвищення коефіцієнта використання техніки Модернізація програмного забезпечення (адаптація для потреб систем точного землеробства) Багатоцільове використання (обприскування, моніторинг, охорона, логістика)	Законодавча база (обмеження) Пошкодження БПЛА птахами, гілками дерев, вандалськими діями Розчини та пил сприяють виходу з ладу електричного обладнання Відхилення від траєкторії польоту під дією поривів вітру

Вважаємо, що досягти поставленої мети можливо за рахунок симбіозу МТА та літальних систем. Для реалізації поставленої мети необхідно формалізувати обов'язкові та додаткові компоненти польотної частини оприскувача. Прийнято вважати, що структура БПЛА складається з наступних компонентів [17]:



- обов'язкові компоненти
 - рама
 - польотний контролер (гіроскоп, акселерометр, компас, барометр, сонар)
 - апаратура радіокерування (форматування та перетворення сигналів, вбудована телеметрія)
 - антени
 - двигуни
 - повітряні гвинти
 - регулятори обертів
 - батарея та зарядний пристрій
 - джерело бортового живлення (індикатор заряду)
- додаткові компоненти
 - обладнання для відео каналу (відеокамера, відео комутатор, підвіс для стабілізації, приймачі відеосигналу)
 - приймачі GPS (принцип визначення координат, режими старту, технології позиціонування та ін.)
 - адаптер Bluetooth
 - засоби пошуку
 - дисплеї та індикатори

Повна комплектація БПЛА відповідної потужності буде мати максимальну вартість, що збільшує його комерційну вартість та підвищує експлуатаційні витрати. У попередній роботі [6] авторським колективом запропоновано перенести елементи живлення та систему керування на зовнішній мобільний засіб – машино-тракторний агрегат (МТА), що дозволить поліпшити знизити показники та поліпшити експлуатаційні характеристики, але зменшить діапазон задач. Останній показник при певному підході може виявитись і перевагою у виробництві спеціалізованих БПЛА. Отже, якщо обмежити автономність БПЛА, шляхом перенесення частини функціоналу на МТА, то БПЛА буде складатись з таких основних компонентів:

- рама (конструкція обумовлена економічними, технологічними та агрономічними показниками);
- двигуни (як правило колекторні або безколекторні двигуни постійного струму, вибір яких обумовлений їх вагою, механічною характеристикою, значенням обертів на вольт напруги, габаритами та характером живлення, а також підшипників);
- пропелери (крок гвинта, діаметр гвинта);
- польотний контролер з обмеженим функціоналом (система моніторингу параметрів технологічного процесу обприскування, положення та руху рухомої рами обприскувача).

Вважаємо що найбільш складною задачею у синтезі МТА та обприскувача на основі БПЛА є обґрунтування вибору двигуна. Двигуни для дронів, переважно, двигуни постійного струму (ДПС), і поділяються на два типи: колекторні, безколекторні.

Колекторні двигуни використовуються в основному на слабких дронах початкового рівня і для знімальних квадрокоптера початкового рівня. Справа в тому, що вони не можуть розвивати значні обороти і потужність, а це значить, у них буде маленька підйомна сила. Вони більш громіздкі і більш схильні до поломок, так як у таких моторів більше деталей, що труться.

Безколекторні двигуни використовуються на гоночних і професійних дронів. Відрізняються величезними потужностями, значними оборотами і тягою. Такі двигуни більш компактні, по вазі приблизно такі ж, мають довговічність за рахунок мінімуму рухомих частин, та й ті на підшипниках.

У загальному вигляді швидкість обертання ДПС визначається з виразу [18];

$$n = \frac{U - I_a \cdot \sum R}{C_e \cdot \Phi} = n_0 - \Delta n, \quad (1)$$

де U – напруга живлення двигуна, В;

Φ – головний магнітний потік, Вб;

I_a – струм якоря, А;

C_e - електромагнітна стала двигуна;

$\sum R$ - сумарний опір обмотки якоря, Ом.

За даним виразом можна визначити основні напрями керування швидкістю обертання двигуна у широких межах. Якщо розглядати ДПС як привід повнофункційного дрону, то його керованість переважає над експлуатаційними недоліками. У свою чергу, у випадку обмеженого функціоналу, з урахуванням зниження вартості елементів силової електроніки та нових алгоритмів керування електричними машинами, ми вважаємо, що доцільно розглянути в якості приводів пропелерів дронів асинхронні двигуни АД з короткозамкненим ротором. Це дозволить використати експлуатаційну надійність АД для забезпечення надійної роботи дронів з обмеженим функціоналом в умовах сільського господарства. У загальному вигляді синхронна швидкість обертання асинхронного двигуна змінного струму визначається з виразу [18]

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}, \quad (2)$$

де f – частота напруги живлення, Гц;

p – кількість пар полюсів.

З урахуванням механічних втрат та навантаження на вал асинхронного двигуна фактична швидкість обертання буде відрізнятися від синхронної (2) за більш складним законом. У зв'язку з цим, виникає завдання дослідження роботи АД при живленні від електричної мережі високої частоти у тривалому режимі, а також порівняти енергетичні характеристики ДПС та АД за різними потужностями з урахуванням ймовірної ваги обладнання для обприскування. При оцінці загальної вартості слід врахувати, що збільшення струму або кількості двигунів призводять до збільшення вартості та ваги лінії зв'язку (збільшується перетин проводів або загальна довжина проводів на рамі).

Висновок. У результаті проведеного аналізу джерел інформації, в умовах садівництва доцільно виконати синтез штангового обприскувача, елементів малої авіації та БПЛА. Даний напрям дозволить підвищити ефективність обробки садів за рахунок зменшення витрат на обробку (підвищується швидкість робіт, знижуються вимоги до дисперсності робочого розчину, підвищується надійність обладнання) та підвищення якості обробки (збільшення глибини проникнення аерозолі, зменшення виносу робочого розчину вітром).

Результати роботи дозволять підвищити корисну вагу дрону, збільшити час роботи та ефективність використання у садівництві та виноградарстві. Перелічене стає можливим за рахунок збільшення ширини захвату, підвищення швидкості обробки та глибини проникнення робочих розчинів у крону дерева або кущ. Це знижує витрати на паливо-мастильні матеріали, підвищить якість та швидкість обробки, знизить вимоги до швидкості вітру під час обприскування. Для синтезу такого технічного комплексу потрібно вирішити такі питання:

- обґрунтування конструкції та вибір електросилового устаткування (рама, гідравлічна арматура, двигуни, розподільні пристрої, датчики, формалізація системи керування);
- визначення основних параметрів, від яких залежатиме процес використання робочого розчину при обробці культури та вплив факторів оточуючого середовища;
- дослідження роботи асинхронного двигуна при живленні від електричної мережі високої частоти у тривалому режимі;
- визначення та співвідношення економічної та якісної



складових практичного використання комплексу.

Кінцеві результати можуть бути використані при обприскуванні садів, виноградників, кукурудзи, соняшнику та інших культур, а також лягти в основу інших галузевих рішень.

Список використаних джерел

1. Витрати підприємств на виробництво продукції сільського господарства. Державна служба статистики. 2018. URL: <http://ukrstat.gov.ua> (дата звернення 2019 рік)
2. «Нам сверху видно все» Отчет РwC о коммерческом применении беспилотных летательных аппаратов в мире. URL www.dronepoweredolutions.com
3. Лисенко В. П., Лендел Т. І. Алгоритм формування стратегій керування процесом вирощування рослин у теплиці з урахуванням їх стану. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК.* 2018. С. 118-124
4. Зубарев Ю. Н., Фомин Д. С., Чащин А. Н., Заболотнова М. В. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве. *Вестник Пермского федерального исследовательского центра*, 2019. №2. С. 47-51. doi:10.7242/2658-705X/2019.2.5
5. Alla Achasova. Ефективне використання дронів у сільському господарстві: що необхідно? 2015. URL: <http://www.50northspatial.org/ua/drones-agriculture-issues/> (дата звернення 2019 рік)
6. Kashkarov A., Diordiiev V., Sabo A., Novikov G. Semiautonomous dron for agriculture on the tractor base. *Acta Technologica Agriculturae.* 2018. №4. PP. 152-155. DOI: 10.2478/ata-2018-0027
7. Алексей Бойко. Проблемы и опасности, связанные с беспилотниками. Инциденты. 2017. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/problemy-i-opasnosti-svyazannye-s-bespilotnikami.-incidenty>
8. Jeremy Jensen. Agricultural Drones: How Drones Are Revolutionizing Agriculture and How to Break into this Booming Market. UAV COACH18 April 2019. URL: <https://uavcoach.com/agricultural-drones> (Last accessed: 2019)
9. James M. Brady, M. Dale Stokes, Jim Bonnardel, Timothy H. Bertram. Characterization of a Quadrotor Unmanned Aircraft System for Aerosol-Particle-Concentration Measurements. *Environmental Science & Technology.* 2016. 50 (3). PP 1376–1383. DOI: 10.1021/acs.est.5b05320
10. Juan Jesús Roldán, Pablo Garcia-Aunon, Mario Garzón, Jorge de León, Jaime del Cerro, Antonio Barrientos. Heterogeneous Multi-Robot System for Mapping Environmental Variables of Greenhouses. *Sensors.*



2016, 16. 1018 DOI: 10.3390/s16071018

11. *Francisca López-Granados, Jorge Torres-Sánchez, Ana-Isabel De Castro, Angélica Serrano-Pérez, Francisco-Javier Mesas-Carrascosa, José-Manuel Peña.* Object-based early monitoring of a grass weed in a grass crop using high resolution UAV imagery. *Agronomy for Sustainable Development* . 2016. №36: 67. DOI: 10.1007/s13593-016-0405-7

12. *He Xiongkui, Bonds Jane, Herbst Andreas, Langenakens Jan.* Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. *International journal of agricultural and biological engineering*. 2017. №10. 3. pp 18-30. DOI: 10.3965/j.ijabe.20171003.3248

13. *Канатников А. Н., Акопян К. Р.* Управление плоским движением квадрокоптера. Математика и математическое моделирование. *МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон.журн.* 2015. №2. С. 23-36 DOI: 10.7463/mathm.0215.0789477

14. *Гэн К., Чулин Н. А.* Алгоритмы стабилизации для автоматического управления траекторным движением квадрокоптера. *Наука и образование МГТУ им. Н.Э.Баумана. Электрон.журн.* 2015. №5. С. 218-235 DOI: 10.7463/0515.0771076

15. Yamaha представила сельскохозяйственный дрон. 2015. URL: <https://robo-hunter.com/news/yamaha-predstavila-selskohozyaistvennii-dron> (дата звернення 2019 рік)

16. Инновационные перспективы внесения СЗР. 2019. URL: <https://smartfarming.ua/ru-blog/innovatsijni-perspektivi-vnesennya-zzr> (дата звернення 2019 рік)

17. *Яценко В.С.* Твой первый квадрокоптер: теория и практика. СПб.: БХВ-Петербург, 2016. 256 с.

18. *Кущенко Ю. М., Яковлев В. Ф., Смуригин В. М., Ковальов О. В., Вужицкий А. В.* Електричні машини і апарати: навчальний посібник. К.: Аграрна освіта, 2013. 449 с.

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРОНОВ В ЗАДАЧАХ ОПРЫСКИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Диордиев В.Т., Кашкарёв А.А., Семендяев А.Е.

Аннотация - в статье идет речь о проблемах использования дронов для опрыскивания сельскохозяйственных культур, а именно садов и виноградников. Обоснована актуальность направления и область применения в указанной сфере. Используются статистические данные отрасли в Украине. На основе обзора научных и научно-популярных изданий по вопросам использования современных гражданских беспилотных летательных аппаратов, были определены сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы их применения. С целью преодоления указанных проблем использования дронов, предложена концепция



полуавтономного дрона с ограниченным функционалом. Рассмотрены основные функциональные элементы современных дронов. Акцентировано внимание на использовании асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором для привода воздушных винтов. Проставлены задачи дальнейшей работы.

Ключевые слова: опрыскивание, беспилотный летательный аппарат, дрон, сельское хозяйство, садоводство.

PROBLEMS OF DRONE USE IN SPRAYING AGRICULTURAL CROPS AND WAYS OF THEIR SOLUTION

V. Diordiiev, A. Kashkarov, A. Semendiaiev

Summary

The article deals with the problems of using drones for spraying crops, namely orchards and vineyards. The relevance of the direction and scope in this area are justified. Industry statistic data of Ukraine are used. Based on a review of scientific and popular science publications on the use of modern civil unmanned aerial vehicles, strengths and weaknesses were identified, as well as the opportunities and threats of their use. In order to overcome these problems with the use of drones, the concept of a semi-autonomous drone with limited functionality is proposed.

As a result of the analysis of information sources, in the conditions of gardening, it is advisable to carry out the synthesis of a boom sprayer, elements of small aviation and UAVs. This direction will increase the efficiency of processing gardens by reducing processing costs (increasing the speed of work, lowering the requirements for dispersion of the working solution, increasing the reliability of the equipment) and improving the quality of processing (increasing the depth of aerosol penetration, reducing the removal of working solution by the wind). Attention is focused on the use of squirrel-cage induction motors for driving propellers from a high-frequency power source.

The results of the work will increase the useful weight of the drone, increase the operating time and efficiency of use in horticulture and viticulture. The above becomes possible by increasing the width of the grip, increasing the processing speed and the depth of penetration of working solutions into the crown of a tree or bush. This will reduce the cost of fuels and lubricants, increase the quality and speed of processing, reduce the requirements for weather conditions for work. Tasks for further work:

- justification of the design and selection of electric power equipment (frame, hydraulic fittings, motors, switchgears, sensors, formalization of the control system);
- determination of the main parameters on which the process of using the working solution in processing the culture and the influence of environmental factors will depend;
- study of the operation of an induction motor when powered by a high frequency network in continuous mode;
- definition and correlation of economic and qualitative components of the practical use of the complex.

The final results can be used when spraying orchards, vineyards, corn, sunflowers and other crops, as well as form the basis of other industry solutions.

Key words: spraying, unmanned aerial vehicle, drone, agriculture, gardening.