

УДК 631.3

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.131-138>

**К.В. Васильковська**, канд. техн. наук, **О.О. Андрієнко**, доц., канд. с.-г. наук,  
**В.О. Малаховська**, викл.

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна  
e-mail: vasilkovskakv@ukr.net*

## Аналіз енергоефективності сільськогосподарських дронів у системі точного землеробства

В статті зроблено порівняльний аналіз енергоефективності наземних обприскувачів та дронів для сільського господарства. Для цього обрано найбільш використовувані в Україні моделі самохідних обприскувачів та сільськогосподарських дронів. Проаналізовано функціональні та технологічні можливості сільськогосподарських дронів в порівнянні з наземними обприскувачами. Порівняння технологічного процесу обприскування самохідними обприскувачами та сільськогосподарськими дронами виявлено ряд переваг безпілотних літальних апаратів.

**точне землеробство, географічна інформаційна система, сільськогосподарські дрони, обприскування посівів, питомі енерговитрати, ефективність**

**Постановка проблеми.** В системі точного землеробства поєднано в єдину технологічну лінію операції із обробки ґрунту, проведення висіву, внесення добрив, застосування хімікатів і стимуляторів росту та збирання врожаю [1, 2].

Використання дронів для обприскування та моніторингу посівів – стало невід’ємною частиною сучасної системи точного землеробства. На сьогоднішній день, сільськогосподарські дрони є важливим сегментом світового ринку, який стрімко розвивається, в тому числі і в Україні [3]. Неможливість під час війни використання сільськогосподарської авіації, дало поштовх до збільшення попиту на сільськогосподарські дрони для внесення добрив та засобів захисту рослин [4].

Отже, пошук нових технологічних рішень для збільшення врожайності сільськогосподарських культур є першочерговою умовою при переході на новий рівень господарювання, збільшення конкурентоспроможності галузі аграрного виробництва та продовольчої безпеки країни.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як відомо, однорідних земельних ділянок не існує, навіть в межах одного поля. Ділянки відрізняються між собою за складом ґрунту, вологістю та наявністю елементів живлення рослин, що так чи інакше впливає на їх врожайність [5].

Як новітній метод ведення сільськогосподарського виробництва, система точного землеробства започатковано саме із ідеї різного запиту на виконання різних технологічних операцій, враховуючи при цьому врожайність на різних ділянках поля. Таким чином, точне землеробство – це система, яка передбачає спостереження, вимірювання та врахування мінливості врожайності сільськогосподарських культур і ґрунтів під ними та застосуванні геоінформаційних технологій [6].

Як новітня система ведення господарства, точне землеробство бере початок із 80-х рр. ХХ сторіччя в США. Виявилось, що при визначенні доз внесення вапна на різних ділянках поля, «відмінності між окремими ділянками досить суттєві, тому для правильного цільового використання ґрунту виникла потреба у побудові спеціальної карти внесення» [6].

Розвиток системи точного землеробства в різних країнах світу був обумовлений різними умовами. Так, в США, Канаді та Австралії, які мають значні сільськогосподарські угіддя, почали використовувати географічні інформаційні системи для системи точного землеробства раніше за інших. А в Європі розвиток ГІС починається тільки у 1997-1998 рр.

Інноваційні технології для сільськогосподарського виробництва, незважаючи на певні перепони, розвиваються досить потужно. Використання дронів у системі точного землеробства дає змогу робити знімки з висоти, створювати 3D-карти, слідкувати за ростом та розвитком рослин. Однак, якщо раніше дрони використовувались лише для інспекцій проблемних ділянок поля, то зараз сільськогосподарські дрони використовуються для внесення засобів захисту рослин, картографії та геодезії ділянок, обприскування та моніторингу росту вирощуваних культур [7].

В умовах сьогодення, під час повномасштабної війни з росією, саме інновації можуть допомогти аграрній галузі якщо не збільшити, то принаймні зберегти свій потенціал за рахунок більш ефективного використання доступних для сільськогосподарського використання територій. Таким чином, новітні підходи до можливості збільшення врожайності сільськогосподарських культур та покращення ефективності їх вирощування є необхідною умовою для збереження аграрного потенціалу, продовольчої безпеки та виживання країни.

**Постановка завдання.** Метою написання статті є аналіз ефективності сільськогосподарських дронів для механізованого обприскування посівів та їх порівняння із самохідними обприскувачами.

**Виклад основного матеріалу.** Використання дронів в сільськогосподарському виробництві останнім часом значно розширилось. Так, якщо раніше мова йшла тільки про моніторинг посівів, то зараз їх використання не обмежується оцінкою якості обробітку ґрунту чи якості отриманих сходів. Так, внесення технологічних матеріалів за допомогою дронів – є звичайною справою.

Отже, функції використання сільськогосподарських дронів такі:

По-перше, це збір інформації та аналітика. Сільськогосподарські дрони допомагають складати карти полів та робити їх замір. Під час вегетації за допомогою дронів відбувається моніторинг стану посівів. Можливе визначення густоти рослин, аналіз стану рослин, аналіз розповсюдження бур'янів та аналіз вологозабезпечення рослин. За допомогою отриманих даних розробляються карти індексів вегетації (NDVI).

По-друге, це внесення технологічних матеріалів. Сільськогосподарські дрони можуть використовуватись для внесення добрив та засобів захисту рослин (пестицидів, інсектицидів та гербіцидів, в тому числі десикантів), Однак, слід зазначити, що дронитакж можуть бути використані для біологічного захисту посівів – внесення трихограми для боротьби із шкідливими організмами[3].

Порівняння технологічного процесу обприскування наземними обприскувачами та сільськогосподарськими дронами дає змогу відмітити ряд недоліків щодо використання наземних обприскувачів:

1. Витоптування посівів. При роботі самохідного обприскувача наявні втрати врожаю, що спричинені витоптуванням[8].

2. Пошкодження рослин. Оскільки, максимальний кліренс у самохідного обприскувача складає 1,5–2,0 м, то його штанги можуть пошкоджувати верхівки рослин. Середній показник рослин, які гинуть в результаті взаємодії з елементами конструкції обприскувачів при їх роботі складає 3-5%.

3. Додаткове ущільнення ґрунту. При сучасному використанні, обприскувач проходить полем 2–10 разів протягом вегетаційного періоду, утворюючи колії в одному і тому ж місті, що призводить до переущільнення ґрунту. Як відомо, технологічну операцію із чизелювання рекомендується проводити раз на 4 роки. Отже, ущільнення ґрунту, утворене за один вегетаційний період, матиме негативний вплив на розвиток рослин щонайменше наступного року.

4. Відсутність можливості працювати одразу після дощу. Працювати одразу після дощу для наземної техніки неможливо. Однак, для сільськогосподарських дронів підвищена вологість ґрунту не є перешкодою.

5. Обробіток невеликої ділянки поля. Іноді виникає необхідність в локальному внесенні технологічних матеріалів. Як то: необхідність стимуляції ділянки рослин, які відстають в рості та розвитку та потребують локального внесення добрив або стимуляторів росту. Також, іноді має місце поширення бур'янів на певній ділянці поля, шкідників або хвороб, що потребує внесення гербіцидів або пестицидів віх осередках. Обробіток невеликої частини поля є досить складною задачею для самохідного обприскувача [8, 9].

Однак, на противагу недолікам, притаманним самохідним обприскувачам, слід зауважити, що вони існують і у сільськогосподарських дронів:

1. Навчання пілотів. Крім покупки самого дрона, необхідно провести навчання їх операторів (пілотів). Для повноцінної роботи, до складу екіпажу входить два оператори.

2. Додаткове обладнання. Для забезпечення безперервної роботи екіпажу, крім сільськогосподарського дрона, необхідно придбати змінні акумуляторні батареї, зарядну станцію, генератор та автотранспорт для перевезення обладнання та ємностей з водою.

Слід зазначити, що заміна батарей для поновлення роботи дрона, краще поєднувати із поповненням ємності для рідини. Це допоможе скоротити паузи під час роботи.

На полях з нелінійними контурами: складним рельєфом (нерівності, перешкоди), лінії електропередач, дерева та кущі, сільськогосподарські дрони будуть ефективніші.

Для оцінки ефективності використання сільськогосподарських дронів проведемо порівняльний аналіз. Для аналізу нами обрано два наземні самохідні обприскувачі та два дрони із ємністю для обприскування (табл. 1). При цьому, нами обрано найбільш використовувані в Україні моделі, як самохідних обприскувачів, так і сільськогосподарських дронів.

Порівнюючи обрані наземні обприскувачі, слід зазначити, що обидва самохідних агрегати мають схожу продуктивність – 18–20 га/год. Тому при аналізі роботи обприскувачів із однаковою продуктивністю, треба звернути увагу, перш за все, на об'єм ємності з робочою рідиною. Таким чином, ефективнішим виявився самохідний обприскувач New Holland, що має більший об'єм ємності – 5300 л. Однак слід зауважити, що за тієї ж продуктивності, самохідний обприскувач Теснома виконує менше проходів по полю, маючи більшу ширину захвату – 24 м.

При використанні самохідних агрегатів, слід звернути увагу на величину кліренсу, який може обмежувати виконання робіт самохідних обприскувачів. Величина технологічного зазору між рослинами та робочими органами надає можливість проводити обприскування під час всієї вегетації. Так, у обприскувача New Holland GUARDIAN 275F робочій кліренс дорівнює 183 см, а у обприскувача Теснома LASER4240 – 135 см. Отже, обприскувач із більшим кліренсом має більше

можливостей для виконання робіт, навіть із високорослими рослинами, такими як соняшник, ріпак та кукурудза.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики досліджуваних обприскувачів

Назва	Робоча швидкість, м/с	Ширина захоплення обприскування, м	Продуктивність, га/год.	Об'єм бака для робочого розчину, л	Питомі енерговитрати	Питомі енерговитрати, грн./га
Самохідний обприскувач New Holland GUARDIAN 275F	13,3	4,05	20	5300	0,50 л/га	25,0
Самохідний обприскувач Теснома LASER4240	6,1	24	18	4200	0,44 л/га	22,0
Безпілотний обприскувач LOVOL LJ16L-606	4-8	6	10	16	0,41 кВт/га	7,6
Сільськогосподарський дрон DJI AGRAS T30	7	9	16,2	30	0,31 кВт/га	5,7

Джерело: [10-13]

При порівнянні питомих витрат пального у обох обприскувачів, бачимо що вони відрізняються незначно: у обприскувача New Holland – 0,44 л/га, а у обприскувача Теснома – 0,5 л/га.

Порівнюючи технічні характеристики сільськогосподарських дронів, ширина обробітку у DJI AGRAS T30 складає 9 м, тоді як у LOVOL LJ16L-606 лише 6 м. Отже, перевагу за цим показником в 1,5 рази має обприскувач DJI AGRAS T30.

Продуктивність дрона DJI AGRAS T30 складає 16,2 га/год, тоді як у дрона LOVOL LJ16L-606 продуктивність дорівнює 10 га/год.

Наступним етапом аналізу є порівняння об'єму для робочого розчину в обох дронах. Як бачимо, перевагу має DJI AGRAS T30 – 30 л, тоді як у LOVOL LJ16L-606 – 16 л.

Ємності елементів живлення сільськогосподарських дронів обмежують їх енерговитрати. Дрон DJI AGRAS T30 має батарею ємністю у 29000 мА, а у дрона LOVOL LJ16L-606 ємність батареї – 22000 мА.

Реальна робоча ємність акумуляторних батарей складає 85% ( $k=0,85$ ):

$$C_p = I \cdot k, \quad (1)$$

– для DJI AGRAS T30 –  $I_{p1}=18,7$  А/год;

– для LOVOL LJ16L-606 –  $I_{p2}=24,6$  А/год.

Для забезпечення безперебійної роботи сільськогосподарських дронів у полі, купуються змінні батареї та зарядна станція. Час поновлення заряду для батареї дрона DJI AGRAS T30 складає близько 12 хвилин, а для дрона LOVOL LJ16L-606 – близько 40 хв. Більший час поновлення заряду вимагає більшої кількості елементів живлення.

Так, для безперебійної роботи однієї години в полі сільськогосподарський дрон LOVOL LJ16L-606 потребує 5 елементів живлення, тоді як DJI AGRAS T30 – 4 батареї. Для зарядки елементів живлення обидва дрони комплектуються зарядною станцією та, за потреби, генератором.

Витрати струму дорівнюють:

$$I=C_p/t \quad (2)$$

- для DJI AGRAS T30 –  $I_I=93,5A$ ;
- для LOVOL LJ16L-606 –  $I_I=98,4A$ .

Потужність дорівнює:

$$P=I \cdot U, \quad (3)$$

- для DJI AGRAS T30 – 4,1 кВт;
- для LOVOL LJ16L-606 – 5,1 кВт.

Тоді питома потужність дорівнює:

$$P'=P/W, \quad (4)$$

- для DJI AGRAS T30 – 0,41кВт/га;
- для LOVOL LJ16L-606 – 0,31кВт/га.

Єдиним можливим спільним знаменником для аналізу питомих енерговитрат самохідних та безпілотних агрегатів для обприскування є грошовий еквівалент цих витрат. Гривневі питомі енерговитрати самохідного обприскувача New Holland GUARDIAN 275F складають 25,0 грн/га, у самохідного обприскувача Теснома LASER4240 – 22,0 грн/га, у сільськогосподарського дрона LOVOL LJ16L-606 – 7,6 грн/га, у дрона DJI AGRAS T30 – 5,7 грн/га (рис. 1) [13].

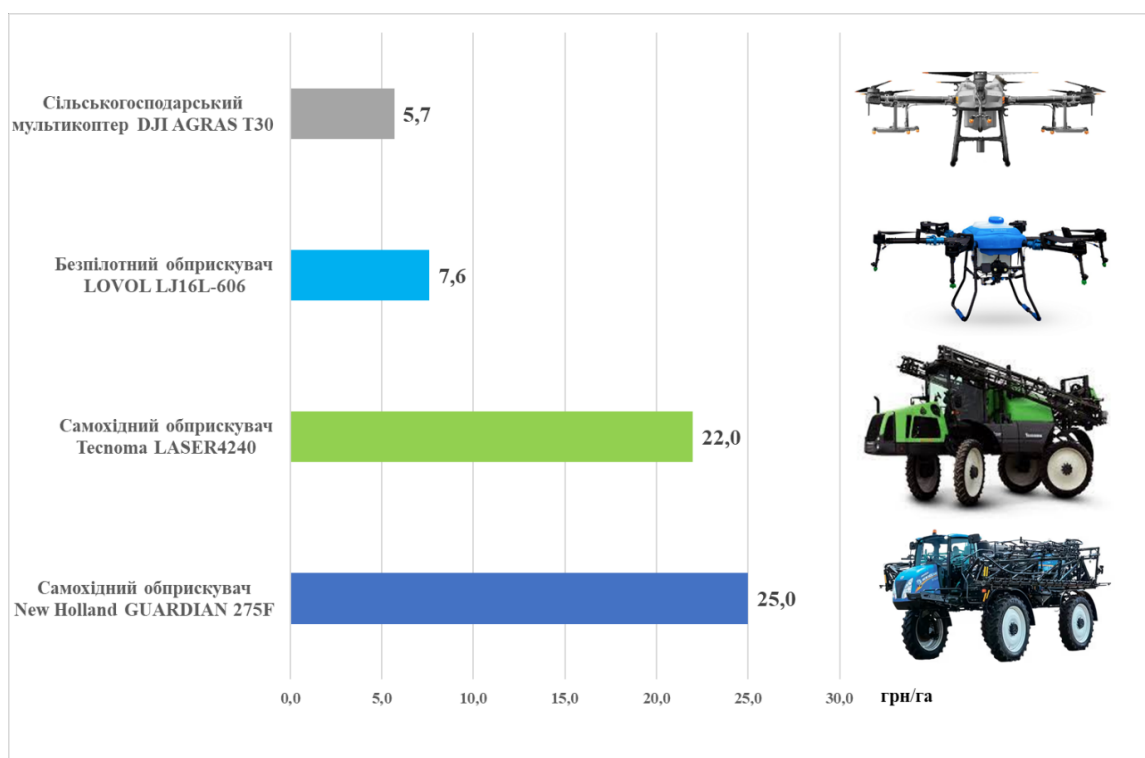


Рисунок 1 – Приведені питомі енерговитрати досліджуваних обприскувачів  
Джерело: розроблено авторами із використанням [10-13]

Ринок дронів для сільського господарства в Україні ще достатньо молодий, однак, він стрімко розвивається. Компанії, які раніше виготовляли безпілотні літальні апарати виключно для потреб армії або фотовідеозйомки, звернули увагу і на потреби аграрного виробництва. Тому розвиток сегменту ринку сільськогосподарських дронів має багато чинників для подальшого росту. Дрони зайняли свою нішу в агровиробництві, як один із засобів технологічного забезпечення точного землеробства: для моніторингу посівів та їх обприскування.

Аналіз переваг і недоліків, в порівнянні із наземними обприскувачами, дає змогу стверджувати, що незабаром агродрони зможуть потіснити наземні обприскувачі. Адже, в умовах сьогодення, розвиток агродронів отримав новий потужний поштовх, як не прикро про це говорити, і технології, які наразі розробляються військовими для наближення нашої перемоги у війні з росією, після неї будуть втілені і в дронах для сільського господарства.

**Висновки.** Отже, використання сільськогосподарських дронів для системи точного землеробства в аграрному виробництві є не тільки сучасною технологією, яка надає можливість вносити технологічні матеріали під час всієї вегетації рослин, а й є більш екологічною та економічною, ніж при використанні самохідних обприскувачів.

Проведений аналіз ефективності самохідних та безпілотних агрегатів дав можливість порівняти питомі енерговитрати в гривневому еквіваленті. Так, для самохідного обприскувача New Holland GUARDIAN 275F цей показник дорівнює 25,0 грн/га, для Теснома LASER4240 – 22,0 грн/га, а для агродронів – 7,6 грн/га та 5,7 грн/га для LOVOL LJ16L-606 та DJI AGRAS T30 відповідно.

## Список літератури

1. Аніскевич Л.В., Адамчук В.І. Технології точного землеробства. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 2006. Вип. 101. С. 8-27.
2. Huisman O., Rolf A. Principles of Geographic Information Systems (GIS): an Introductory Textbook. Publisher: ITC Educational Textbook Series, The Netherlands, 2009. 540.
3. Васильковська К.В., Андрієнко О.О., Шепілова Т.П. Ефективність агродронів в системі точного землеробства. *Аграрні інновації*. 2023. Вип. 16. С. 13-18. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov>. (дата звернення: 2023.17.2).
4. 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, Т. 1. С. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.32848/10.31388/2220-8674-2019-1-45>
5. Silver B., Mazur M., Wiśniewski A. and Babicz A. (2017). Welcome to the era of drone-powered solutions: a valuable source of new revenue streams for telecoms operators: *Communications Review*. PwC. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/communications/pdf/communications-review-july-2017.pdf> (date of application: 01.2023)
6. Lysenko V., Bolbot I., Romasevych Y., Loveykin V., Voytiuk V. Algorithms of Robotic Electrotechnical Complex Control in Agricultural Production. In *Control Systems: Theory and Applications*. River Publishers: Gistrup, Denmark, 2018. Pp. 271–289.
7. Смірнов Я. Про дрони сільськогосподарського призначення. 50 North GIS Blog from Ukraine. 28/08/2017. URL: <http://www.50northspatial.org/ua/agricultural-drones/> (дата звернення: 30.01.2023)
8. Смірнов Я. Дрони в агробізнесі. 50 North GIS Blog from Ukraine. 28/08/2017. URL: <http://www.50northspatial.org/ua/agriculture-business-drones/> (дата звернення: 02.02.2023)
9. Дрони у сільському господарстві, або як починалося точне землеробство. *Agravery*. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/droni-u-silskomu-gospodarstvi-abo-ak-pocinalosa-tocne-zemlerobstvo> (дата звернення: 12.07.2023)
10. Обприскувачі New Holland Defensor ефективно працюватимуть на всіх фазах вегетації. *AgroTimes*. URL: <https://agrotimes.ua/tehnika/obpryskuvachi-new-holland-defensor-efektyvno-praczuvatymut-na-vsikh-fazah-vegetacziyi/> (дата звернення: 11.05.2023)
11. Обприскувач Теснома Laser. *Agroresurs*. URL: <http://www.agro.kr.ua/uk/laser> (дата звернення: 11.05.2023).
12. Техноторг. Безпілотний обприскувач LOVOLLJ16L-606. URL: <https://technotorg.com/catalogue/view/bespilotnyj-opryskivatel-lovol-lj16l606.html> (дата звернення: 12.05.2023)
13. Кротеер. Комплект DJI AGRAS T30. URL: [https://cropter.ua/dron\\_dji?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=prodazh-agrodroniv&gclid=CjwKCAiA0cyfBhBREiwAAtStHK4mHymCSGyOCep1XQ0oG8f2X1Zh4VamseFR3IfnjZYZI6D0tQrY7RoCeXUQAvD\\_BwE](https://cropter.ua/dron_dji?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=prodazh-agrodroniv&gclid=CjwKCAiA0cyfBhBREiwAAtStHK4mHymCSGyOCep1XQ0oG8f2X1Zh4VamseFR3IfnjZYZI6D0tQrY7RoCeXUQAvD_BwE) (дата звернення: 12.05.2023)
14. Васильковський О., Лещенко С., Васильковська К., Петренко Д. Підручник дослідника : навч. посіб. для студ. агротехн. спец.. Харків : Мачулін, 2016. 204 с.

## Referencis

1. Aniskevych, L.V. & Adamchuk, V.I. (2006). Tekhnolohii tochnoho zemlerobstva [Technologies of precision agriculture]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho ahrarynoho universytetu - Scientific Bulletin of the National Agrarian University, Issue 101*, 8-27 [in Ukrainian]
2. Huisman, O. & Rolf, A. (2009). Principles of Geographic Information Systems (GIS): an Introductory Textbook. Publisher : ITC Educational Textbook Series, The Netherlands [in English].
3. Vasytkovska, K.V., Andriienko, O.O. & Shepilova, T.P. (2023) Efektyvnist ahrodroniv v systemi tochnoho zemlerobstva [The effectiveness of agricultural drones in the system of precision agriculture]. *Ahrarni innovatsii-Agrarian innovations. – Kherson, Vol. 16*, Pp. 13-18. (DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.2>) [in Ukrainian]
4. Diordiiev, V.T., Kashkarov, A.O. & Semendiaiev, O.Ie. (2019). Problems of using drones in the tasks of spraying agricultural crops and ways to solve them [Problemy vykorystannia droniv u zadachakh obpryskuvannia silskohospodarskykh kultur ta shliakhy yikh vyrishennia]. *Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu – Scientific bulletin of Tavriyya State Agro-Technological University, 9(1)*, Pp. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.32848/10.31388/2220-8674-2019-1-45>. [in Ukrainian]
5. Silver, B., Mazur, M., Wiśniewski, A. & Babicz, A. (2017). Welcome to the era of drone-powered solutions: a valuable source of new revenue streams for telecoms operators : Communications Review. PwC. Retrieved from <https://www.pwc.com/gx/en/communications/pdf/communications-review-july-2017.pdf> [in English].
6. Lysenko, V., Bolbot, I., Romasevych, Y., Loveykin, V. & Voytiuk, V. (2018). Algorithms of Robotic Electrotechnical Complex Control in Agricultural Production. In *Control Systems: Theory and Applications*. pp. 271-289 [in English].
7. Smirnov, Ya. (2017). Pro drony silskohospodarskoho pryznachennia [About agricultural drones]. 50 North GIS Blog from Ukraine. Retrieved from <http://www.50northspatial.org/ua/agricultural-drones/> [in Ukrainian]
8. Smirnov, Ya. (2017). Drony v ahrobiznesi [Drones in agribusiness]. 50 North GIS Blog from Ukraine. Retrieved from <http://www.50northspatial.org/ua/agriculture-business-drones/> [in Ukrainian]
9. Drony u silskomu hospodarstvi, abo yak pochynalosia točne zemlerobstvo [Drones in agriculture, or how precision farming began]. *Agravery. agravery.com*. Retrieved from <https://agravery.com/uk/posts/show/droni-u-silskomu-gospodarstvi-abo-ak-pochynalosia-tocne-zemlerobstvo> [in Ukrainian]
10. Obpryskuvachi New Holland Defensor efektyvno pratsiuvatymut na vsikh fazakh vechetatsii [New Holland Defensor sprayers will work effectively in all phases of vegetation]. *AgroTimes. agrotimes.ua*. Retrieved from <https://agrotimes.ua/tehnika/obpryskuvachi-new-holland-defensor-efektyvno-pracyuvatyvmut-na-vsikh-fazah-vegetacziyi/> [in Ukrainian]
11. Obpryskuvach Tecnomo Laser [Tecnomo Lasersprayer]. *Agroresurs. agro.kr.ua*. Retrieved from <http://www.agro.kr.ua/uk/laser> 11.05.2023 [in Ukrainian]
12. Tekhnotorh. Bezpilotnyi obpryskuvach LOVOL LJ16L-606 [Unmanned sprayer LOVOL LJ16L-606] *technotorg.com*. Retrieved from <https://technotorg.com/catalogue/view/bespilotnyj-opryskivatel-lovol-lj16l606.html> 12.05.2023 [in Ukrainian]
13. Kopter. Komplekt DJI AGRAS T30 [Complete set DJI AGRAS T30]. *cropter.ua*. Retrieved from [https://cropter.ua/dron\\_dji?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=prodazh-agrodroniv&gclid=CjwKCAiA0cyfBhBREiwAAAtStHK4mHymCSGyOCep1XQ0oG8f2X1Zh4VamseFR3IfnjZYZI6D0tQrY7RoCeXUQAvD\\_BwE](https://cropter.ua/dron_dji?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=prodazh-agrodroniv&gclid=CjwKCAiA0cyfBhBREiwAAAtStHK4mHymCSGyOCep1XQ0oG8f2X1Zh4VamseFR3IfnjZYZI6D0tQrY7RoCeXUQAvD_BwE) 12.05.2023 [in Ukrainian]
14. Vasytkovskiy, O., Leshchenko, S., Vasytkovska, K. & Petrenko, D. (2016). *Pidruchnyk doslidnyka: Navchalnyi posibnyk dlia studentiv ahrotekhnichnykh spetsialnostei [Researcher's textbook: Study guide for students of agrotechnical specialties]*. Kharkiv : Machulin [in Ukrainian]

**Kateryna Vasytkovska**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Olha Andriienko**, Assoc. Prof., PhD agrarn. sci., **Valentyna Malakhovska**

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Analysis of the Energy Efficiency of Agricultural Drones in the System of Precision Agriculture**

The article provides a comparative analysis of the energy efficiency of ground sprayers and drones for agriculture. Today, agricultural drones are an integral part of the precision farming system, which combines soil tillage operations, sowing, fertilizing, application of chemicals and growth stimulants, and harvesting into a single technological line. The search for new technological solutions to increase the yield of agricultural crops is

a primary condition for the transition to a new level of management and the survival of the agricultural production industry in a difficult time for the country.

For a comparative analysis of energy efficiency, the most used models of self-propelled sprayers and agricultural drones in Ukraine were selected. The functional and technological capabilities of agricultural drones in comparison with ground sprayers are analyzed. A comparison of the technological process of spraying with self-propelled sprayers and agricultural drones revealed a number of advantages of unmanned aerial vehicles. The specific fuel consumption of both sprayers was determined, so the specific consumption of New Holland is equal to 0.44 l/ha, and that of Tecnomax is 0.5 l/ha. The specific energy consumption of agricultural drones was determined, so the specific energy consumption of the LOVOL LJ16L-606 is 0.41 kW/ha, and the DJI AGRAS T30 is 0.31 kW/ha. To compare the specific energy consumption of self-propelled and unmanned units in monetary terms, it was established that for the New Holland GUARDIAN 275F self-propelled sprayer this indicator is 25.0 UAH/ha, for the Tecnomax LASER4240 self-propelled sprayer it is 22.0 UAH/ha, and for agricultural drones it is 7.6 UAH/ha and 5.7 UAH/ha for LOVOL LJ16L-606 and DJI AGRAS T30, respectively.

Therefore, the use of agricultural drones for the system of precision farming in agricultural production is not only a modern technology that provides the opportunity to apply technological materials during the entire growing season of plants, but is also more ecological and economical than when using self-propelled sprayers.

**precision agriculture, geographic information system, agricultural drones, crop spraying, specific energy consumption, effectiveness**

*Одержано (Received) 18.09.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 04.10.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023*

УДК631.362

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.138-148>

**С. П. Степаненко**, д-р техн. наук, ст. наук. співр., **Д. А. Волик**, мол. наук. співр.

*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва, Національної академії аграрних наук України, Глеваха, Україна*

*e-mail: stepanenko\_s@ukr.net*

## Математичне моделювання та результати експериментальних досліджень процесу вібропневмоімпульсного поділу насіння за густиною

Наведено результати математичного моделювання руху зернового матеріалу на поверхні безпровального решета вібропневмоімпульсного сепаратора. Використана силова та кінематична модель, геометричні характеристики поверхні безпровального решета вібропневмоімпульсного сепаратора в динаміці з кінематичними показниками обробки. Розрахунки за запропонованою моделлю дозволяють визначати траєкторії переміщення, швидкості та прискорення насінин зернового середовища при сукупній дії на них вібрацій та пневмоімпульсного потоку.

В результаті проведених наукових досліджень та аналізу створюваних сил за розробленою математичною моделлю встановлено: найбільший вплив на процес переміщення зернового матеріалу, як в горизонтальному так і у вертикальному напрямку надає сила імпульсу (пульсацій) повітряного потоку, сила тиску вище лежачих шарів зернового матеріалу (для насінин у середній частині та на поверхні безпровального решета), сили тертя, ваги насінини та архімедова сила. Тому з метою інтенсифікації процесу фракціонування зернового середовища, збільшення питомої продуктивності вібропневмоімпульсного сепаратора необхідно підвищити силу пульсуючого повітряного потоку, сили інерції коливального руху, тертя та бічний тиск на насінини в зерновому середовищі.

**насіння, густина, питома навантаження, диференціальні рівняння, швидкість переміщення насіння, експериментальні дослідження, макетний зразок**