

# ГІГІЄНИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ БЕЗПЕЧНОГО ВНЕСЕННЯ ПЕСТИЦИДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Борисенко А. А.<sup>1</sup>, Кондратюк М. В.<sup>1</sup>, Антоненко А. М.<sup>1</sup>, Шпак Б. І.<sup>2</sup>, Омельчук С. Т.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Інститут гігієни та екології Національного медичного університету імені О. О. Богомольця, м. Київ

<sup>2</sup> Товариство з обмеженою відповідальністю «Сингента», м. Київ

*Вступ.* Необхідність обґрунтування регламентів безпечного внесення пестицидів за допомогою безпілотних літальних апаратів знаходиться на перетині декількох важливих сфер і має суттєвий вплив на сільське господарство, охорону навколишнього середовища та громадське здоров'я.

*Мета дослідження* – гігієнічне обґрунтування моделі розрахунку показників безпечного внесення пестицидів за допомогою безпілотних літальних апаратів.

*Матеріали та методи дослідження.* Експериментальну частину проведено в закритому приміщенні (ангарі). Температура повітря в ангарі становила 19 °С, вологість – 50 %, швидкість руху повітряних мас – 0,1 м/с. Використано найпоширеніші моделі агродронів DJI Agras T16 та XAG XPlanet 2020. Статистичний аналіз отриманих результатів проведено за допомогою пакета ліцензійної програми IBM SPSS Statistics Base v.23, Python 3.11 з використанням бібліотек Numpy, Pandas, Matplotlib та Scipy, а також веб-інтерактивного обчислювального середовища Jupyter Notebook 6.4.8.

*Результати.* Щільність покриття оброблюваної поверхні (95 % від загальної кількості внесеної речовини) коливалася в межах від 0,42 мкг/см<sup>2</sup> до 0,87 мкг/см<sup>2</sup>. Щільність покриття оброблюваної поверхні (100 % від загальної кількості внесеної речовини) коливалася в межах від 0,26 мкг/см<sup>2</sup> до 0,57 мкг/см<sup>2</sup>. Водночас ширина ефективної смуги обробки (ширина покриття на яку потрапило 95 % внесеної речовини) при висоті обробки 2 м становила (564,0 ± 0,58) см, 3 м – (850,0 ± 1,0) см, 4 м – (903,0 ± 1,53) см. Результати дослідження дають змогу стверджувати про достовірну відмінність між щільністю нанесення залежно від висоти обробки агродроном і на висоті 2 м становить (0,745 ± 0,030) мкг/см<sup>2</sup>, на висоті 3 м – (0,669 ± 0,008) мкг/см<sup>2</sup> та на висоті 4 м – (0,439 ± 0,005) мкг/см<sup>2</sup>.

*Висновки.* Отримане рівняння лінійної регресії може бути використане для моделювання кореляційних зв'язків між залежною змінною та однією або декількома незалежними змінними. Така модель допоможе зрозуміти залежність між щільністю покриття поверхні та висотою обробки, які значення висоти обробки призводять до оптимальної щільності покриття та встановити оптимальні параметри обробки поверхні, а також мінімізувати нецільові втрати хімічних засобів захисту рослин.

**Ключові слова:** пестициди, безпілотні літальні апарати, модель розрахунку, щільність покриття, регламенти застосування

## Вступ

Необхідність обґрунтування регламентів безпечного внесення пестицидів за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) знаходиться на перетині декількох важливих сфер і має суттєвий вплив на сільське господарство, охорону навколишнього середовища та громадське здоров'я [1, 2]. Використання агродронів для обробки сільськогосподарських культур засобами захисту рос-

лин може забезпечити високу точність та ефективність використання цих хімічних речовин, знизити витрати на працю та ресурси, пов'язані з традиційними методами внесення пестицидів. БПЛА можуть виконувати цю роботу швидше й ефективніше [3, 4]. Крім того, це також може знизити ризик для здоров'я працівників, оскільки вони не будуть піддаватися безпосередньому контакту з пестицидами під час їхнього внесення, і зменшити негативний вплив на навколишнє

середовище за рахунок використання ультрамало-об'ємного та малооб'ємного внесення хімічних засобів захисту рослин [5, 6].

Зниження втрат врожаю, покращення якості сільськогосподарської продукції, вчасне реагування на появу хвороб та шкідників, цілеспрямоване внесення хімічних засобів захисту рослин (ХЗЗР) є беззаперечними перевагами використання агродронів. Однак всі вищенаведені переваги дронів можуть нівелюватися або й взагалі стати ризик-фактором при неправильному їх використанні [7]. Необхідність законодавчого врегулювання їхнього використання є дуже високою, оскільки відсутність відповідних правил і норм, які б регулювали цю діяльність, може становити загрозу для здоров'я людини, тварин і рослин, а також може викликати негативний вплив на об'єкти довкілля [8, 9].

Розвиток технологій БПЛА та їх застосування в сільському господарстві має значний інноваційний потенціал. Він сприяє появі нових методів і підходів до ведення сільського господарства, що може відкрити нові горизонти для економічного зростання держави та населення в цілому.

*Мета дослідження* – гігієнічне обґрунтування моделі розрахунку показників безпечного внесення пестицидів за допомогою БПЛА.

### Матеріали та методи дослідження

Дослідження проводили співробітники Інституту гігієни та екології Національного медичного університету імені О. О. Богомольця у співпраці зі Поліським

національним університетом, ТОВ «Зелений дім 2025» і ТОВ «Сингента». Експериментальну частину проводили в закритому приміщенні (ангарі). Температура повітря в ангарі становила 19 °С, вологість – 50 %, швидкість руху повітряних мас – 0,1 м/с. Використовували найпоширеніші моделі агродронів DJI Agras T16 та XAG XPlanet 2020. Моделювання внесення пестицидів з повітря за допомогою БПЛА проводили в різних умовах при нормі витрат 8,0 л/га. Висота руху агродрону була змінною – 2 м (дослід № 1), 3 м (дослід № 2), 4 м (дослід № 3), швидкість – 20 км/год.

При проведенні експериментальної частини для візуалізації та детектування ширини розпилення та дрейфу крапель розчину було використано Brilliant Blue FCF (E133, ступінь чистоти 95 %). Для встановлення вмісту в фільтрувальному папері було розроблено методику визначення його методом високоефективної рідинної хроматографії [10]. У кожному досліді на полі було розташовано три ряди фільтрувального паперу довжиною 17,6 м і шириною 0,5 м. Кожен ряд був розбитий на 35 секторів (С35). У свою чергу кожен сектор поділено на 30 частин (S 30). Далі вже в лабораторних умовах визначали концентрації E133 у частинах і секторах (рис. 1).

Статистичний аналіз отриманих результатів проводили за допомогою пакета ліцензійної програми IBM SPSS Statistics Base v.23, Python 3.11 з використанням бібліотек Numpy, Pandas, Matplotlib та Scipy, а також веб-інтерактивного обчислювального середовища Jupyter Notebook 6.4.8. Для роз-

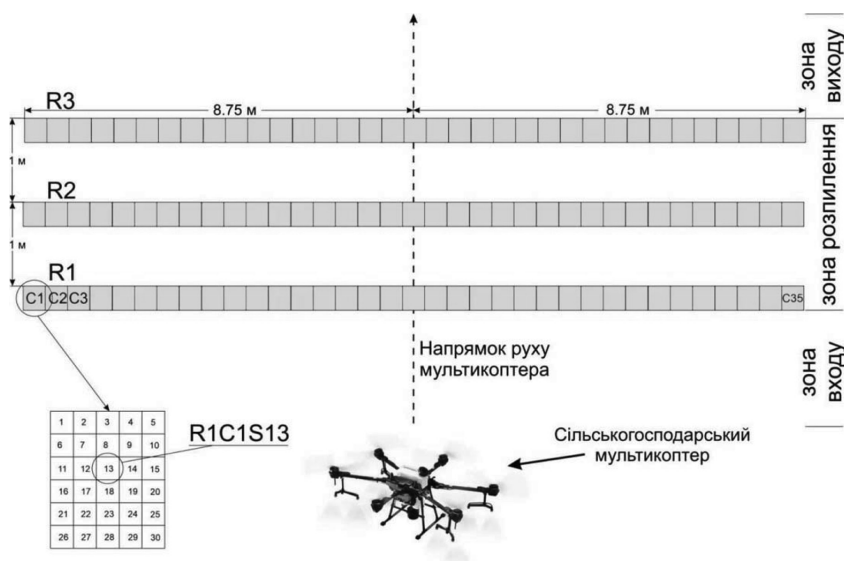


Рис. 1. Схема проведення дослідження розпилення пестицидів агродроном і зони зносу

рахунку були взяті зразки, одержані з трьох дослідних смуг фільтрувального паперу шириною 60 см і довжиною 17,6 м у 3 повторностях.

## Результати дослідження та їх обговорення

Отримані результати визначення концентрацій E133 методом високоефективної рідинної хроматографії в лабораторних умовах показали, що щільність покриття оброблюваної поверхні (95 % від загальної кількості внесеної речовини) коливалася в межах від 0,42 мкг/см<sup>2</sup> до 0,87 мкг/см<sup>2</sup>. Щільність покриття оброблюваної поверхні (100 % від загальної кількості внесеної речовини) коливалася в межах від 0,26 мкг/см<sup>2</sup> до 0,57 мкг/см<sup>2</sup>. Водночас ширина ефективної смуги обробки (ширина покриття, на яку потрапило 95 % внесеної речовини) при висоті обробки 2 м становила (564,0 ± 0,58) см, 3 м – (850,0 ± 1,0) см, 4 м – (903,0 ± 1,53) см (рис. 2–4).

Достовірної відмінності у кількості речовини, що потрапила на фільтрувальний папір під час розприскування робочого розчину агродроном з висоти 2 м і 4 м, не було виявлено ( $p = 0,221$  за критерієм Стьюдента); натомість була виявлена достовірна відмінність у цьому показнику під час роботи агродрону на висоті 2 м і 3 м та 3 м і 4 м ( $p < 0,001$  і  $< 0,001$  відповідно). Подібні результати були виявлені під час порівняння оцінки достовірності розходжень у показнику «95 % від загальної кількості

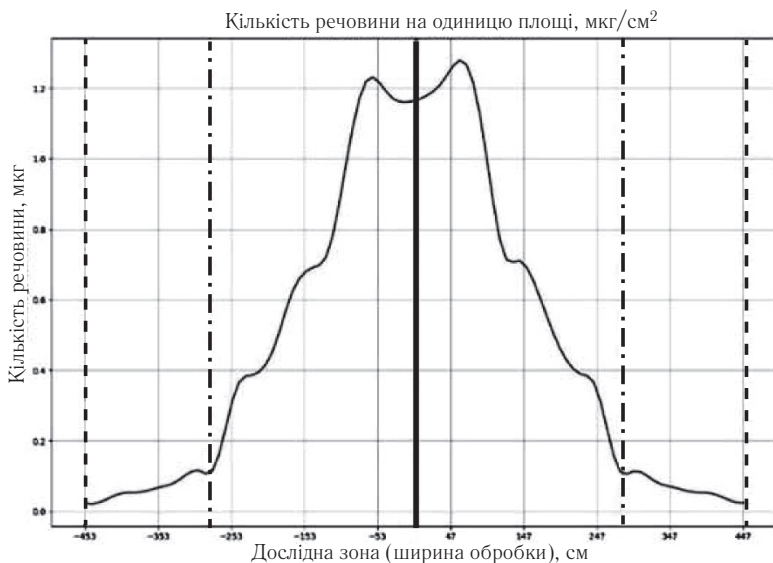
внесеної речовини» на висотах 2 м і 4 м, 2 м і 3 м та 3 м і 4 м ( $p = 0,218$ ,  $< 0,001$  і  $< 0,001$  відповідно).

Були розраховані концентрації речовини (щільність нанесення), виходячи з кількості внесеної речовини (95 % та 100 % визначеної кількості) та площі фільтрувального паперу, на якій визначалась речовина. Встановлено достовірну відмінність щільності нанесення отриманої на висотах обробки 2 м і 4 м та 3 м і 4 м для 95 % та 100 % внесеної речовини ( $p = 0,008$  і  $0,007$  та  $p = < 0,001$  і  $< 0,001$  відповідно); достовірної відмінності у вищезазначеному показнику, отриманого на висотах обробки 2 м і 3 м, не було виявлено ( $p = 0,136$ ).

Ширина покриття 95 % внесеної речовини достовірно відрізнялася між середніми значеннями, які були отримані в досліді № 1–3 ( $p = < 0,001$ ). Числові значення отриманих результатів відображено в таблиці.

Результати дослідження дають змогу стверджувати про достовірну відмінність між щільністю нанесення залежно від висоти обробки агродроном, що становить: на висоті 2 м – (0,745 ± 0,030) мкг/см<sup>2</sup>, 3 м – (0,669 ± 0,008) мкг/см<sup>2</sup> та 4 м – (0,439 ± 0,005) мкг/см<sup>2</sup>.

Одержані результати піддали статистичному аналізу на пошук кореляційного зв'язку й було встановлено, що існує прямиий зв'язок  $-R < 0$  на рівні значимості  $p < 0,001$  (коефіцієнт лінійної кореляції  $R = -0,943$ ; коефіцієнт детермінації = 0,889). Це дало змогу побудувати рівняння лінійної



Дані дослідження. Дослід № 1

Загальна площа під графіком: 442,3

Площа під графіком у межах 2,5–97,5 %: 420,1

Ліва межа, см: -482,0

Права межа, см: 482,0

Діапазон, см: -482,0–482,0

Зона 95 % покриття речовиною: 564,0

Щільність покриття поверхні (95 % внесеної речовини), мкг/см<sup>2</sup>: 0,745

Ширина покриття, на якій визначалась речовина, см: 906,0

Концентрація речовини в зоні покриття (100 % внесеної речовини), мкг/см<sup>2</sup>: 0,488

Штрих-пунктирні лінії – Зона 95 % покриття речовиною

Пунктирні лінії – Зона 100 % покриття речовиною

Суцільна лінія – Центральна лінія польоту агродрону

Рис. 2. Щільність покриття поверхні (результати Досліді № 1,  $n = 3$ )

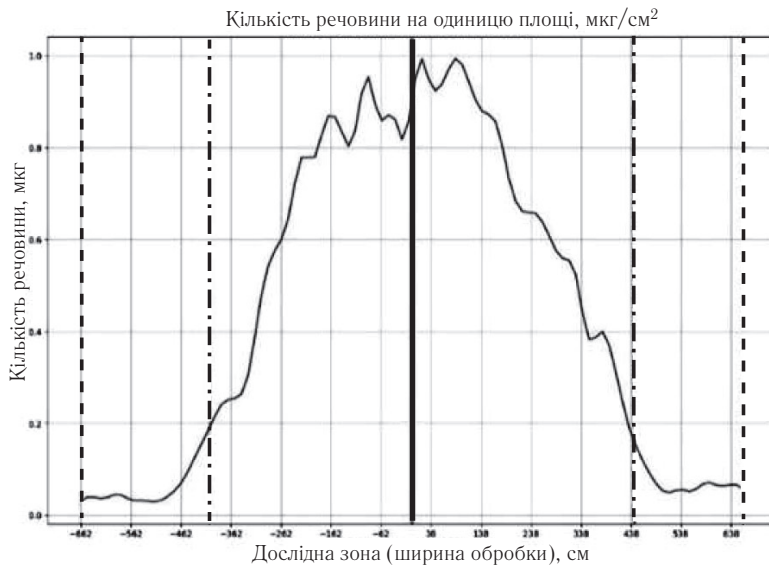


Рис. 3. Щільність покриття поверхні (результати Дослід № 2,  $n = 3$ )

Дані дослідження. Дослід № 2  
 Загальна площа під графіком: 598,7  
 Площа під графіком у межах 2,5–97,5 %: 568,6  
 Ліва межа, см: -405,0  
 Права межа, см: 445,0  
 Діапазон, см: -405,0–445,0  
 Зона 95 % покриття речовиною: 850,0  
 Щільність покриття поверхні (95 % внесеної речовини), мкг/см<sup>2</sup>: 0,669  
 Ширина покриття, на якій визначалась речовина, см: 1324,0  
 Концентрація речовини в зоні покриття (100 % внесеної речовини), мкг/см<sup>2</sup>: 0,452  
 Штрих-пунктирні лінії – Зона 95 % покриття речовиною  
 Пунктирні лінії – Зона 100 % покриття речовиною  
 Суцільна лінія – Центральна лінія польоту агродрону

регресії залежності щільності покриття поверхні від висоти обробки.

$$DC = -0,1528 \cdot H + 1,076,$$

де DC – Density of Coverage (щільність покриття), мкг/см<sup>2</sup>;

H – Height (висота обробки), м;

-0,1528 – коефіцієнт варіації показника H;

1,076 – константне значення.

Дане рівняння лінійної регресії, що розроблене на основі отриманих результатів лабораторних досліджень про поверхневу концентрацію (щільність) внесеної речовини і натурних дослідів про висоту польоту агродрону, є інструментом аналізу даних, який може допомогти зрозуміти й прогнозувати залежності між змінними та здійснити оптимальний вибір параметрів у дослідженні чи виробничому процесі. Воно дає можливість прогнозувати кількість речовини, яка

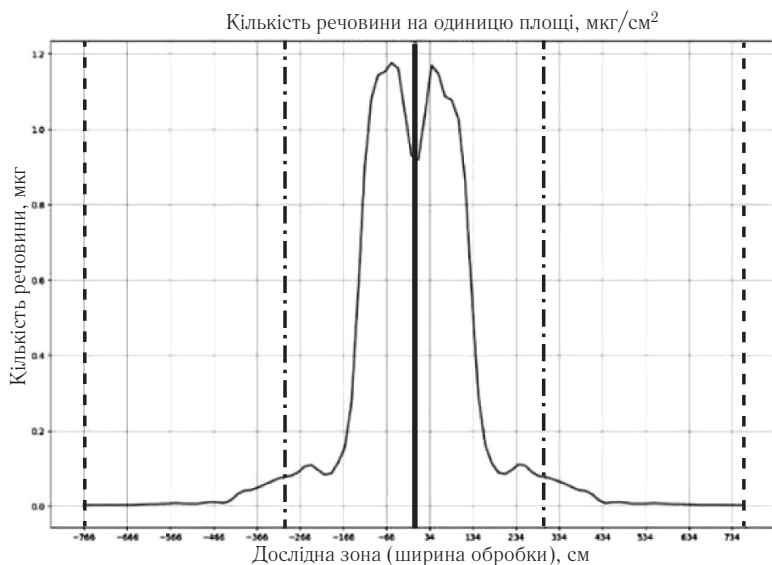


Рис. 4. Щільність покриття поверхні (результати Дослід № 3,  $n = 3$ )

Дані дослідження. Дослід № 3  
 Загальна площа під графіком: 334,7  
 Площа під графіком у межах 2,5–97,5 %: 317,9  
 Ліва межа, см: -302,0  
 Права межа, см: 301,0  
 Діапазон, см: -302,0–301,0  
 Зона 95 % покриття речовиною: 603,0  
 Щільність покриття поверхні (95 % внесеної речовини), мкг/см<sup>2</sup>: 0,527  
 Ширина покриття, на якій визначалась речовина, см: 1532,0  
 Концентрація речовини в зоні покриття (100 % внесеної речовини), мкг/см<sup>2</sup>: 0,218  
 Штрих-пунктирні лінії – Зона 95 % покриття речовиною  
 Пунктирні лінії – Зона 100 % покриття речовиною  
 Суцільна лінія – Центральна лінія польоту агродрону

Таблиця

## Щільність покриття поверхні речовиною E133 під час роботи агродрону на різних висотах

Параметр	Значення показника в кожному досліді (95 % довірчий інтервал)		
	Дослід № 1	Дослід № 2	Дослід № 3
Загальна кількість визначеної речовини, мкг	442,30 ± 16,83 (369,8–514,7)	598,70 ± 6,16 (572,2–625,2)	417,10 ± 4,17 (399,1–435,1)
95 % кількості речовини, мкг	420,10 ± 15,95 (351,5–488,7)	568,60 ± 5,82 (543,5–593,6)	396,20 ± 3,98 (379,0–413,3)
Ширина покриття, на яку потрапило 95 % внесеної речовини, см	564,0 ± 0,58 (561,5–566,5)	850,0 ± 1,0 (845,7–854,3)	903,0 ± 1,53 (896,4–909,6)
Ширина покриття, на якій визначалась речовина, см	906,0	1324,0	1532,0
Концентрація речовини в зоні покриття (95 % від загальної кількості внесеної речовини), мкг/см <sup>2</sup>	0,745 ± 0,030 (0,62–0,87)	0,669 ± 0,008 (0,64–0,70)	0,439 ± 0,005 (0,42–0,46)
Концентрація речовини в зоні покриття (100 % від загальної кількості внесеної речовини), мкг/см <sup>2</sup>	0,488 ± 0,020 (0,41–0,57)	0,452 ± 0,005 (0,43–0,47)	0,272 ± 0,003 (0,26–0,28)

може потрапити на певну відстань від центральної траєкторії прольоту агродрону (дозволяє розрахувати зону покриття обробки та санітарно захисну зону).

## Висновок

Отже, отримане рівняння лінійної регресії може бути використане для моделювання кореляційних

зв'язків між залежною змінною й однією або декількома незалежними змінними. Така модель допоможе зрозуміти залежність між щільністю покриття поверхні та висотою обробки — які значення висоти обробки призводять до оптимальної щільності покриття та встановити оптимальні параметри обробки поверхні, а також мінімізувати нецільові втрати хімічних засобів захисту рослин.

## Література

1. Ayamga M., Akaba S., Nyaaba A. A. Multifaceted applicability of drones: a review. *Technological Forecasting and Social Change*. 2021. Vol. 167. P. 120677. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120677>.

2. Use of drones in agriculture: Potentials, Problems and Policy Needs. H. Pathak, G. Kumar, S. D. Mohapatra et al. ICAR-National Institute of Abiotic Stress Management. 2020. 17 p.

3. Drones in insect pest management. K. S. Subramanian, S. Pazhanivelan, G. Srinivasan et al. *Frontiers in Agronomy*. 2021. Vol. 3. P. 640885. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.640885>.

4. Unmanned aerial vehicles in agriculture: a survey. J. Del Cerro, C. Cruz Ulloa, A. Barrientos et al. *Agronomy*. 2021. Vol. 11, No. 2. P. 203. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020203>.

5. A review on the use of drones for precision agriculture. P. Daponte, L. De Vito, L. Glielmo et al. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*. 2019. Vol. 275, No. 1. P. 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/275/1/012022>.

6. Ecological and hygienic assessment and regulation of innovative technology of pesticide application using unmanned aerial vehicles. A. Borysenko, A. Antonenko,

S. Omelchuk et al. *Rawal Medical Journal*. 2022. Vol. 47, No. 1. P. 213–216. <https://doi.org/10.5455/rmj.85867.20220221122317>.

7. Professional risks when applying pesticides using unmanned aircraft: features and comparative hygienic assessment. A. A. Borysenko, A. N. Antonenko, S. T. Omelchuk et al. *Medical Science of Ukraine (MSU)*. 2021. Vol. 17, No. 4. P. 102–107. <https://doi.org/10.32345/2664-4738.4.2021.15>.

8. Unmanned aerial vehicles in smart agriculture: Applications, requirements, and challenges. P. K. R. Maddikunta, S. Hakak, M. Alazab et al. *IEEE Sensors Journal*. 2021. Vol. 21, No. 16. P. 17608–17619. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3049471>.

9. Reger M., Bauerdick J., Bernhardt H. Drones in Agriculture: Current and future legal status in Germany, the EU, the USA and Japan. *Landtechnik Agricultural Engineering (LTAEng)*. 2018. Vol. 73, No. 3. P. 62–79. <https://doi.org/10.1515/lt.2018.3183>.

10. Development of the method for determining the content of the synthetic dye diamond blue FCF in the sorption material by the high-performance liquid chromatography method. A. A. Borysenko, A. M. Antonenko, S. M. Holoborodko et al. *Medical and Clinical Chemistry*. 2023. Vol. 25, No. 1. P. 5–9. <https://doi.org/10.11603/mcch.2410-681X.2023.i1.13537>.

Borysenko A. A.<sup>1</sup>, Kondratiuk M. V.<sup>1</sup>, Antonenko A. M.<sup>1</sup>, Shpak B. I.<sup>2</sup>, Omelchuk S. T.<sup>1</sup>

## HYGIENIC JUSTIFICATION OF THE CALCULATING MODEL OF PESTICIDES INDICATORS FOR SAFE APPLICATION BY USING UNMANNED AIRCRAFT VEHICLES

<sup>1</sup>Hygiene and ecology institute of Bogomolets National Medical University, Kyiv

<sup>2</sup>«Syngenta» LCC, Kyiv

*Introduction.* The need for substantiating regulations for the safe application of pesticides using unmanned aerial vehicles intersects several important areas and has a significant impact on agriculture, environmental protection, and public health.

*The aim of the research* was to provide a hygienic rationale for a model calculating indicators for the safe application of pesticides using unmanned aerial vehicles.

*Materials and methods of the research.* The experimental part was conducted in an enclosed facility (hangar) with an air temperature of 19 °C, humidity of 50 %, and airflow speed of 0.1 m/s. The most common models of agricultural drones, DJI Agras T16 and XAG XPlanet 2020, were used. Statistical analysis of the obtained results was performed using IBM SPSS Statistics Base v.23, Python 3.11 with libraries such as Numpy, Pandas, Matplotlib, and Scipy, as well as the web-based computational environment Jupyter Notebook 6.4.8.

*Results.* The coverage density of the treated surface (95 % of the total amount of applied substance) ranged from 0.42 µg/cm<sup>2</sup> to 0.87 µg/cm<sup>2</sup>. The coverage density of the treated surface (100 % of the total amount of applied substance) ranged from 0.26 µg/cm<sup>2</sup> to 0.57 µg/cm<sup>2</sup>. The effective coverage width (the width of the area where 95 % of the applied substance reached) at a spraying height of 2 m was (564.0 ± 0.58) cm, at 3 m was (850.0 ± 1.0) cm, and at 4 m was (903.0 ± 1.53) cm.

The research results indicate a significant difference in the application density depending on the spraying height by the agricultural drone, which amounts to (0.745 ± 0.030) µg/cm<sup>2</sup> at a height of 2 m, (0.669 ± 0.008) µg/cm<sup>2</sup> at 3 m, and (0.439 ± 0.005) µg/cm<sup>2</sup> at 4 m.

*Conclusions.* The obtained equation of linear regression can be used to model correlation relationships between the dependent variable and one or several independent variables. Such a model will help understand the relationship between surface coverage density and spraying height, determine the optimal spraying height for achieving the desired coverage density, establish the optimal parameters for surface treatment, and minimize unintended losses of plant protection chemicals.

**Key words:** pesticides, UAV, calculation model, coverage density, application regulations

## References

1. Ayamga M, Akaba S, Nyaaba AA. Multifaceted applicability of drones: A review. *Technological Forecasting and Social Change*. 2021;167:120677. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120677>.
2. Pathak H, Kumar G, Mohapatra SD, Gaikwad BB, Rane J. Use of drones in agriculture: Potentials, Problems and Policy Needs. *ICAR-National Institute of Abiotic Stress Management*; 2020. 17 p.
3. Subramanian KS, Pazhanivelan S, Srinivasan G, Santhi R, Sathiah N. Drones in insect pest management. *Frontiers in Agronomy*. 2021;3:640885. DOI: <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.640885>.
4. Del Cerro J, Cruz Ulloa C, Barrientos A, de León Rivas J. Unmanned aerial vehicles in agriculture: A survey. *Agronomy*. 2021;11(2):203. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11020203>.
5. Daponte P, De Vito L, Glielmo L, Iannelli L, Liuzza D, Picariello F, Silano G. A review on the use of drones for precision agriculture. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*. 2019;275(1):012022. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/275/1/012022>.
6. Borysenko A, Antonenko A, Omelchuk S, Bilous S, Melnychuk F. Ecological and hygienic assessment and regulation of innovative technology of pesticide application using unmanned aerial vehicles. *RMJ*. 2022;47(1):213–6. DOI: <https://doi.org/10.5455/rmj.85867.20220221122317>.
7. Borysenko AA, Antonenko AN, Omelchuk ST, Bardov VG, Borysenko AV. Professional risks when applying pesticides using unmanned aircraft: features and comparative hygienic assessment. *Medical Science of Ukraine (MSU)*. 2021;17(4). DOI: <https://doi.org/10.32345/2664-4738.4.2021.15>. Ukrainian.
8. Maddikunta PKR, Hakak S, Alazab M, Bhattacharya S, Gadekallu TR, Khan WZ, Pham Q-V. Unmanned aerial vehicles in smart agriculture: Applications, requirements, and challenges. *IEEE Sensors Journal*. 2021;21(16):17608–19. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3049471>.
9. Reger M, Bauerdick J, Bernhardt, H. Drones in Agriculture: Current and future legal status in Germany, the EU, the USA and Japan. *Landtechnik (LTAEng)*. 2018;73(3):62–79. DOI: <https://doi.org/10.1515/lt.2018.3183>.
10. Borysenko AA, Antonenko AM, Holoborodko SM, Antonyuk KP, Milokhov DS, Korshun OM, Omelchuk ST. Development of the method for determining the content of the synthetic dye diamond blue FCF in the sorption material by the high-performance liquid chromatography method. *Medical and Clinical Chemistry*. 2023;25(1):5–9. DOI: <https://doi.org/10.11603/mcch.2410-681X.2023.11.13537>.

*Потенційні та явні конфлікти інтересів, що пов'язані з рукописом, відсутні.*

**ORCID ID співавторів та їхній внесок у підготовку та написання статті:**

*Борисенко А. А.* (ORCID ID 0000-0002-0211-607X) – збір та наукова обробка даних, аналіз та інтерпретація даних, статистична експертиза, складання, оформлення та підготовка статті до друку;

*Кондратюк М. В.* (ORCID ID 0000-0001-5500-6352) – збір та наукова обробка даних, аналіз та інтерпретація даних, статистична експертиза, складання, оформлення та підготовка статті до друку;

*Антоненко А. М.* (ORCID ID 0000-0001-9665-0646) – визначення актуальності, розробка плану та мети дослідження, аналіз та узагальнення отриманих результатів, остаточне затвердження та гарант статті;

*Шпак Б. І.* (ORCID ID 0000-0001-9273-8544) – визначення актуальності, розробка плану та мети дослідження, оцінка отриманих результатів (оцінка ризику), формування висновків;

*Омельчук С. Т.* (ORCID ID 0000-0003-3678-4241) – узагальнення та систематизація інформації по темі дослідження, гігієнічна оцінка отриманих результатів (оцінка ризику), формування висновків, остаточне затвердження та гарант статті.

*Надійшла: 17 травня 2023 р.*

*Прийнята до друку: 8 червня 2023 р.*

**Контактна особа:** Борисенко Андрій Анатолійович, кандидат медичних наук, доцент, Інститут гігієни та екології Національного медичного університету імені О. О. Богомольця, буд. 34, просп. Берестейський, м. Київ, 01601.  
Електронна пошта: [Andrey-b.07@ukr.net](mailto:Andrey-b.07@ukr.net)