

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВНЕСЕННЯ ПЕСТИЦИДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ АГРОДРОНУ З МЕТОЮ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ДЛЯ ПРАЦІВНИКІВ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Кондратюк М.В.

к.мед.н.

Борисенко А.А.

к.мед.н.

Антоненко А.М.

проф.

Борисенко А.В.

Бардов В.Г.

проф.

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, Київ, Україна

e-mail: andrey-b.07@ukr.net

**Актуальність.** Однією із переваг обробки сільськогосподарських культур із використанням агродронів – безпілотних літальних апаратів (БПЛА), як на відміну від класичної авіаобробки, так і наземного обприскування, є те, що агрокоптер дає можливість локальної або точкової обробки поля. Відомо, якщо в глибині поля знайдено ділянку, що відстає у розвитку, або там спостерігається надмірне забур'янення, агродрон дає можливість обробити виключно культури в даному секторі поля [1], на відміну від наземного обприскувача, котрий не може дістатися до такої ділянки. В Україні через недосконалість земельного законодавства існує проблема хаотичних земельних наділів у населення, що також унеможливає безперешкодне застосування наземних систем обробки. Також це вимагає витрати палива на доїзди і обробку, спричиняє значні втрати через велику кількість проходів обприскувача та його розворотів. Тож для невеликих ділянок складної конфігурації агрокоптер є незамінним [1].

Фінальною метою будь-якої системи обприскування є забезпечення оптимального розподілу робочого розчину пестициду на цільові об'єкти з метою ефективної боротьби із шкідниками та хворобами [2, 3]. Однак, численні літературні джерела свідчать про те, що значна частина внесених хімічних речовин під час обробки потрапляє до нецільових об'єктів [4]. Кількість таких втрат оцінюється до 50–60%, що призводить до значних економічних збитків [5].

З метою оцінки ризиків для працівників та навколишнього середовища було змодельовано процес внесення пестицидів за допомогою агродрону.

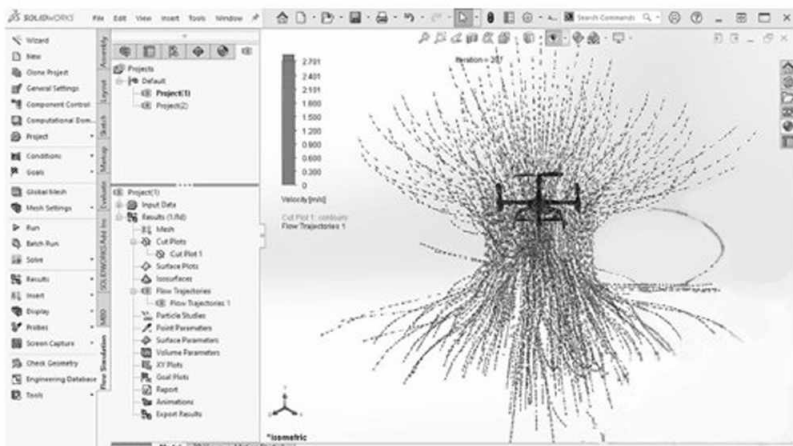
**Матеріали і методи.** Математичні моделі і комп'ютерні симуляції, що ґрунтуються на фізиці рідин, є важливим доповненням до польових випробувань, що дають змогу зрозуміти фізичні процеси, які відбуваються під час розпилення крапель робочого розчину. На початковому етапі моделювання руху крапель спрею в повітрі використовували моделі атмосферного розподілу [6, 7]. Найпоширеніша модель – модель Гауссового пучка, яка визначає транспорт забруднювачів на середні або великі дистанції (0,5–10 км), застосовується для прогнозування концентрацій пестицидів на різних відстанях. Навіть маючи обмежену роздільну здатність біля джерела забруднення, вона ефективно симулює вплив метеорологічних факторів, включаючи атмосферну стабільність, на далекий дрейф [8].

Для підвищення ефективності використання та зниження ризиків для працівників та навколишнього середовища також є важливим прогнозування напрямків та радіусу розповсюдження пестицидних препаратів при проведенні обробок за допомогою БПЛА. Нами було здійснено перший етап розробки моделі прогнозування, опосередковано, через аналіз руху повітряних мас навколо агродрону під час проведення обробки. З цієї метою ми

використовували програмне забезпечення для комп'ютерного проектування і прогнозування (SolidWorks – розробка компанії Dassault Systèmes), яке відіграє важливу роль у моделюванні фізичних процесів і конструюванні різноманітних інженерних систем та виробів.

**Результати.** Для вивчення процесу розпилення пестицидів за допомогою БПЛА, за допомогою програми, нами було створено 3D-модель агродрону, включаючи його геометрію, компоненти, розташування резервуарів для пестицидів, розпилювачів та інше устаткування. Це дає можливість симулювати розпилення пестицидів, аналізувати динаміку руху агродронів та їх спрямування під час роботи; визначати оптимальні параметри, які впливають на ефективність процесу розпилення (висота, швидкість руху, кут нахилу розпилювачів та інші фактори); створювати візуальні моделі розпилення пестицидів і анімації; проводити симуляції різних сценаріїв розпилення, котрі впливають на розподіл хімічних засобів захисту рослин (метеорологічні умови, напрямок вітру тощо).

Вихідними даними були: модель коптера, кількість та тип пропелерів, швидкість їх обертання та швидкість руху самого агродрону, швидкість та напрямок руху вітру. Крім того було враховано висоту польоту над культурою та кількість робочого розчину на одну обробку.



**Рис. 1.** 3D-модель руху повітряних мас, обумовлених роботою агродрону під час внесення пестицидів

Поточне дослідження є етапом на шляху до розробки комп'ютерного моделювання радіусу, напрямку потоку робочого розчину та можливого дрейфу під час обробки і надалі потребує роботи з більш спеціалізованим програмним забезпеченням. На даному етапі ми отримали проміжні результати, які можна використати під час планування обробок сільськогосподарських культур з повітря за допомогою БПЛА.

Як видно із даних, наведених на рисунку 1, потік повітряних мас з-під пропелерів агродрону починає формуватися з шару повітря над ним; найбільша густина потоків пестициду знаходиться безпосередньо під коптером, і значно зменшується при збільшенні відстані від нього. Також треба звернути увагу на два моменти: по-перше, радіус розпилення навколо самого агродрону невеликий, але він значно залежить від висоти польоту над культурою, по-друге, є залежність між формуванням турбулентних висхідних потоків (відбитих від поверхні) та висотою розпилення. Ці два фактори є головними у формуванні ризику дрейфу пестицидів при внесенні їх з повітря за допомогою БПЛА.

**Висновки.** Отримані дані будуть покладені в основу заходів, спрямованих на зниження ризиків несприятливого впливу на робітників і населення, дрейфу та контамування прилеглих територій, водойм, будь-яких інших об'єктів поблизу оброблюваних ділянок.

#### **Список літератури:**

1. Borysenko A.A., Antonenko A.A. Improvement of working conditions assessment and risk calculation methods taking into account the specific features of pesticide application with unmanned aerial vehicles (UAV). *Ukrainian journal of occupational health*. 2024. Vol.20, No 1. С. 54-58. <https://doi.org/10.33573/ujoh2024>
2. 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. *Rawal Medical Journal*. 2022. Vol. 47 (1). P. 213-216.
3. Andrii A. Borysenko, Anna M. Antonenko, Vasył D. Aleksiiichuk, Mykola V. Kondratiuk, Igor M. Pelo. Comparative hygienic assessment of the potential diquat hazard to the population when consuming agricultural crops treated with the Region Air 200 SL formulation using different application technologies (UAV, aerial, high-clearance rod sprayer treatment). *Wiadomości Lekarskie*. 2023. Tom LXXVI. № 6. P. 1478-1484. <https://doi.org/10.36740/WLek202306122>
4. Antonenko, A.M., Borysenko, A.A., Omelchuk, S.T., Pelo, I.M., Babienko, V.V. Hygienic assessment of the pesticides migration in soil and surface water after agricultures processing using innovative technologies and revealing of the risk of their negative impact on human health. *Odesa Medical Journal*. 2023. №2. P. 84–87. <https://doi.org/10.32782/2226-2008-2023-2-15>
5. Melnichuk, F., Alekseeva, S., Hordiienko, O., Nychporuk, O., & Borysenko, A.. Fluid Influence of irrigation on the Sunn pest *Eurygaster integriceps* Put.(Insecta: Heteroptera) in the Central Forest-Steppe of Ukraine. *Ecological Questions*. 2023. T. 34. №. 2. С. 101-107. <http://dx.doi.org/10.12775/EQ.2023.022>
6. Teske, M.E.; Thistle, H.W.; Schou, W.C.; Miller, P.C.H.; Strager, J.M.; Richardson, B.; Ellis, M.C.B.; Barry, J.W.; Twardus, D.B.; Thompson, D.G. A Review of Computer Models for Pesticide Deposition Prediction. *Trans. ASABE* 2011, 54, 789–801.
7. Gil, Y.; Sinfort, C. Emission of pesticides to the air during sprayer application: A bibliographic review. *Atmos. Environ.* 2005, 39, 5183–5193.
8. Teske, M.E.; Bird, S.L.; Esterly, D.M.; Curbishley, T.B.; Ray, S.L.; Perry, S.G. AgDrift®: A model for estimating near-field spray drift from aerial applications. *Environ. Toxicol. Chem. Int. J.* 2002, 21, 659–671.