

the establishment of an analytical relationship between the critical loosening depth (a force parameter) and the intensity of soil fragmentation (a quality indicator) via a dimensionless relative depth coefficient and a useful energy fraction function. The theoretical significance of the model lies in the scientific explanation of why the rational tillage depth should lie within the critical range: exceeding it exponentially decreases the fraction of useful energy and degrades soil fragmentation. The practical value is derived from the possibility of engineering justification for the parameters of combined chisel plows which, due to additional rollers, ensure a high degree of fragmentation (70...75%) at a rational depth of 32...42 cm.

Based on the research results, it is concluded that the critical depth is the primary parameter of the model, as operating below this threshold is energetically inefficient and leads to soil mass compaction instead of loosening. It is demonstrated that high tillage quality is achieved specifically through the structural and functional integration of the main shares (for macro-fracturing) and additional working tools (for subsequent pulverization). The proposed generalized model is validated by comparison with existing experimental data and establishes a foundation for further digital verification of the working tools' parameters using the discrete element method (DEM).

chisel shank, deep soil loosening, technological model, critical depth, draft resistance, degree of soil fragmentation

Одержано (Received) 15.06.2026

Прорецензовано (Reviewed) 19.06.2026

Прийнято до друку (Approved) 22.06.2026

УДК 631.348:633

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2026.56.198-208>

А.О. Михайлов

*Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне,
Україна*

e-mail: a.o.mykhailov@nwm.edu.ua

Дослідження розпилювачів роботизованої платформи для обприскування бур'янів

Метою роботи є експериментальне дослідження процесу краплеутворення з ціллю вибору типу розпилювача для розробленої роботизованої платформи для передпосівного обприскування бур'янів. У роботі викладено результати експериментальних досліджень показників роботи розпилювачів (форсунок) щільних. Досліджено промислові форсунки та запропоновану автором і виготовлену з використанням 3D друку форсунку з додатковою круглою вставкою, яка містить виконані під кутом до осі форсунки розподільними каналами. Дослідження проведено згідно ДСТУ ISO 5682-1:2019.

розпилювання, форсунки, дослідження, гербіциди, знищення бур'янів

Постановка проблеми. Підготовлення ґрунтів, особливо у степовій зоні, під висів культур включає передпосівне обробляння гербіцидами. Обробляння гербіцидами до посіву забезпечує їхнє знищення, навіть без використання дорогих страхових гербіцидів селективної дії.

Такий обробіток дозволяє знищити небажану рослинність, яка з перших днів висіву культурних рослин буде негативно впливати на її зростання. Такий вплив пояснюється наявністю у бур'янів, що сходять раніше, більш потужного коріння, яке притягує вологу й забирає її у культурних слабких сходів. Бур'яни забирають не лише вологу, а й поживні речовини, тим самим послаблюючи молоді сходи культурних рослин.

© А.О. Михайлов, 2026

Строки внесення гербіцидів перед посівними роботами обумовлюються властивостями бур'янів і культурних рослин, які планується висаджувати. Також слід враховувати характеристики самих гербіцидів, спектр їхньої дії.

Разом із тим значну роль відіграють засоби механізації, які застосовуються для виконання технологічної операції обприскування та їхнє налагодження. Як відомо з літератури [1] значний вплив на якісні показники процесу обробітку має висота встановлення розпилювачів, характеристики форсунок тощо.

Тому забезпечення високих агротехнічних показників процесу знищення бур'янів потребує додаткових науково – практичних досліджень із метою удосконалення методик внесення гербіцидів і технічних засобів для їхнього запровадження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес обприскування залежить від багатьох факторів. Дослідники значну увагу приділяють вивченню роботи форсунок розпилювачів і впливу їхньої роботи на показники роботи обприскувачів.

Зокрема в роботі [2] авторами висунуто гіпотезу щодо впливу налаштувань обприскувачів на якість покриття гербіцидами та ефективність знищення бур'янів. Авторами експериментальним шляхом досліджено різні типи форсунок і висоти штанги на якість процесу обприскування.

Встановлено, що тип форсунки, кількість активованих форсунок, їхня орієнтація, висота штанги та вітрові умови суттєво впливають на охоплення обприскуванням потрібних ділянок та ефективність боротьби з бур'янами.

У роботі [3] авторами також приділена увага дослідженню впливу форсунок на показники якості процесу розпилення гербіцидів. Досліджено вплив тиску у форсунках на осадження гербіциду на рослинах та явище дрейфу крапель рідини. Експериментальним шляхом встановлено вплив положення форсунок на неоднорідність розподілу розмірів крапель у сільськогосподарських обприскувачах. Також доведено, що збільшення тиску розпилювальної рідини в порожнині форсунок не тільки призводить до більш дрібного розпилення, але й збільшує швидкість крапель, що залишають область формування розпилення.

Однак у роботі розглядався вплив тиску на розмір крапель лише для певної конструкції форсунок. Прояв явища дрейфу крапель залежить й від швидкості з якою краплі вилітають із сопла, а вона може змінюватись із зміною конструктивного виконання форсунки. Тому робити однозначний висновок, що за збільшення тиску зростає дрейф й погіршується осідання крапель гербіциду на рослини не можна.

Це доводять автори роботи [4], де викладено результати досліджень впливу розміру крапель розпилення, як значущого фактору, на процес покриття рослин, ефективність дії гербіциду та дрейф. Авторами відмічено, що значна кількість дослідників [5, 6, 7] доводять, що обприскування з використанням дрібних крапель зазвичай пов'язане з вищим рівнем осадження розпилення та кращим утриманням на бур'янах порівняно з більшими краплями. Але в процесі експериментальних досліджень встановлено, що за інших різних умов (висота встановлення форсунок, тиск в системі) на осадження крапель все ж найбільшим чином впливає вид форсунки. Як приклад наведено форсунку ТТ1 яка при тому ж значенні тиску дає надвеликі краплі й відповідно значно менше осадження їх на рослинах.

Проте деякі дослідники виявили, що подальше збільшення тиску не призводить до закономірного збільшення дрейфу і, навіть, може призвести до зменшення дрейфу при високому тиску через домінування ефекту швидкості крапель.

Ефективне утримання крапель на рослинах не можна розглядати лише як результат вірного підбору форсунок, їхньої кількості та тиску в системі. Характеристики утримання крапель на рослинах залежать також від виду бур'янів та

біотипів, і на них можуть впливати такі фактори, як розмір крапель, швидкість руху та допоміжні речовини. Це доводять роботи [8, 9, 10].

Зокрема результати досліджень процесу осідання крапель різної величини на різних рослинах, викладені в роботі [10], доводять, що утримання дрібних і крупних крапель на листях рослин лихохвосту різнилось на 40%, а при розпилі гербіциду на щиріцю розмір крапель практично не вплинув на їхнє утримання. Автори припустили, що на утримання крапель впливають характеристики рослини, зокрема здатність до змочування листя, наявність на листях кристалів воску та трихом.

Авторами [10] також встановлено, що розмір крапель не впливає на ефективність осадження й утримання за умови застосування контактного гербіциду.

У світі постійно спостерігається зростання об'ємів внесення гербіцидів (пестицидів), що призводить до зростання їхнього розповсюдження поза цільовою зоною [11]. Виробники пестицидів надають споживачам рекомендації щодо обмежень застосування їхньої продукції поблизу води та житлових районів. Також надаються рекомендації щодо оптимального розміру крапель задля зменшення дрейфу [12].

Однак дрейф крапель не можна розглядати лише як негативне явище. Зменшення дрейфу призводить до втрати ефективності впливу гербіцидів на бур'яни. Зменшенню дрейфу, як доводять результати досліджень [12], крім конструкції форсунок сприяють ще багато факторів: концентрація допоміжних речовин, вид гербіциду.

Ще один напрямок, який розглядається у чинних дослідженнях, спрямованих на вивчення процесу внесення гербіцидів і технічних засобів для його реалізації – екологічний.

Так авторами роботи [13] викладено результати польових випробувань, спрямованих на оцінювання ефективності двох видів обприскування – роботизованого точкове обприскування та обприскування з використанням обприскувача.

Встановлено, що точкове обприскування зменшило використання гербіцидів до 65%. Також авторами було досліджено якість води стоку через три-шість днів після обприскування. Встановлено зниження середньої концентрації та середнього навантаження гербіцидів на 39% та 54% відповідно порівняно з розкидним обприскуванням. Дослідження довели, що застосування роботизованого точкового обприскування зменшує використання гербіцидів та забезпечує стійке покращення якості води.

Перспективність запровадження робототехнічних засобів для здійснення технолічних операцій внесення гербіцидів доведена авторами робіт [14, 15].

Авторами [14] розглянуто нові технологічні рішення у боротьбі з бур'янами з використанням роботів Том, Дік та Гаррі, які були розроблені компанією Small Robot Company (рис. 1). Роботи знищують бур'яни перед посадкою насіння та забезпечують мінімальне використання хімікатів та важкої техніки.



Рисунок 1 – Роботи для знищення бур'янів шляхом внесення гербіцидів Том і Дік
Джерело: [14]

За рахунок використання датчиків, систем зору роботи мають здатність автономно ідентифікувати та розрізняти сільськогосподарські культури та бур'яни. Вони використовують алгоритми машинного навчання для прийняття рішень у режимі реального часу, що дозволяє скоротити потребу в ручній праці та значно підвищити точність ідентифікації бур'янів. Роботи з вносять гербіциди лише там, де це необхідно.

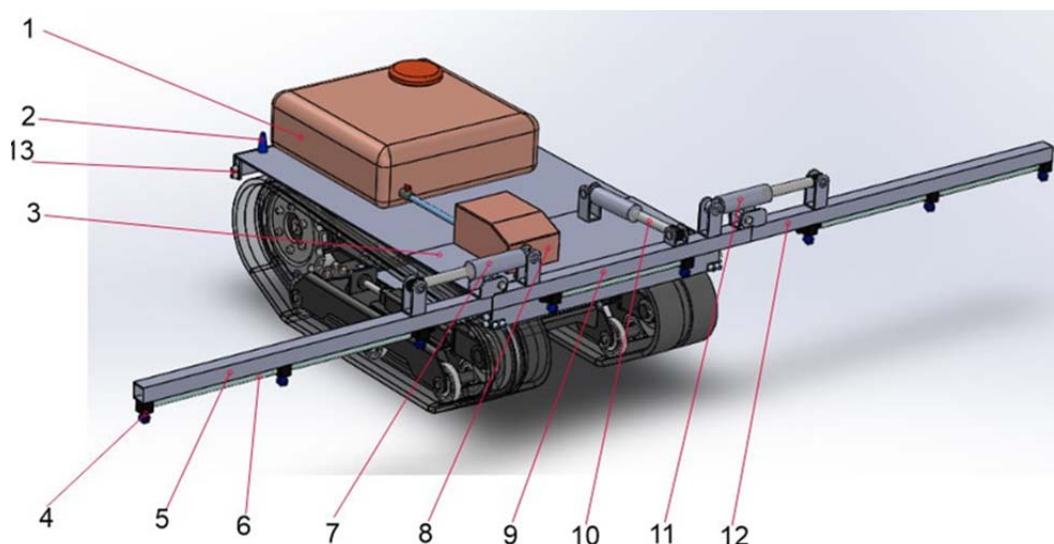
Внесення гербіциду лише на конкретні бур'яни є корисним для навколишнього середовища. Точне внесення також дозволяє сільськогосподарським виробникам ефективно керувати своїми ресурсами.

Аналіз чинних досліджень доводить, що розроблення та запровадження нових технологічних і технічних рішень для боротьби з бур'янами, які спрямовано на бережне використання природних ресурсів, є актуальним напрямком.

Постановка завдання. Метою роботи є експериментальне дослідження процесу крапле утворення з ціллю вибору типу розпилювача для розробленої роботизованої платформи для передпосівного обприскування бур'янів.

Виклад основного матеріалу. На даний час нами розроблено роботизовану платформу із обладнанням, яке призначено для передпосівного оброблення полів на малих і середніх фермерських господарствах і обприскування рослин у теплицях. На рис. 2 подано 3D модель роботизованої платформи. Аналіз літературних джерел довів важливість і актуальність досліджень процесу розпилювання гербіциду з метою встановлення основних його характеристик. Нам необхідно обрати раціональний тип розпилювача для оснащення штанги робота. Відомо, що основними характеристиками за якими можна оцінити розпилювач є розмір крапель, площа внесення, кут розпилювання.

З метою вибору розпилювачів (форсунок) для запропонованої моделі роботизованої платформи проведено ряд експериментальних досліджень. Дослідження проводили в лабораторії кафедри агроінженерії Національного університету водного господарства та природокористування. З цією метою використано стенд (рис. 3), компоненти якого відповідають вимогам ДСТУ ISO 5682-1:2019 [16].



1-бак, 2-CRRA антена, 3-платформа, 4 – щілинні форсунки, 5-штанга права, 6-трубопровід, 7-актуатор, 8-насосна станція з модулем керування, 9- траверса, 10-актуатор керування штангами, 11-актуатор керування лівою штангою, 12-штанга ліва, 13-датчик відстані, smart камера розпізнавання об'єкту обробітку

Рисунок 2 – Модель роботизованої платформи з обладнанням для обприскування
Джерело: розробка кафедри агроінженерії НУВГП



Рисунок 3 – Стенд для досліджень

Джерело: обладнання кафедри агроінженерії НУБГП та [16]

Досліди проводили з використанням промислових щілинних розпилювачів (рис. 4).



Рисунок 4 – Щілинні промислові форсунки

Для досліджень додатково виготовили методом 3D друку форсунку збірної конструкції з метою вставляння в її порожнину кільця з отворами для розосередження потоку рідини. Такі форсунки у порожнині яких відбувається розділення потоків подавання рідини або газу зустрічаються у хімічній промисловості для оснащення скрубєрів [17]. На рис. 5 подано модель виготовленої форсунки.

Кругла вставка містить отвори, які забезпечують розділення потоку рідини на окремі дрібні цівки, які поступають у напрямку виходу з щілиного розпилювача (форсунки). Вставка містить по діаметру чотири отвори (роздільні канали) особливою властивістю яких є нахил їхніх поздовжніх осей до горизонтальної поверхні. За наявності таких розподільних каналів ми отримаємо ефект монодисперсного розпилювання [17]. Кут нахилу каналу для виготовленої форсунки обрано 30° .

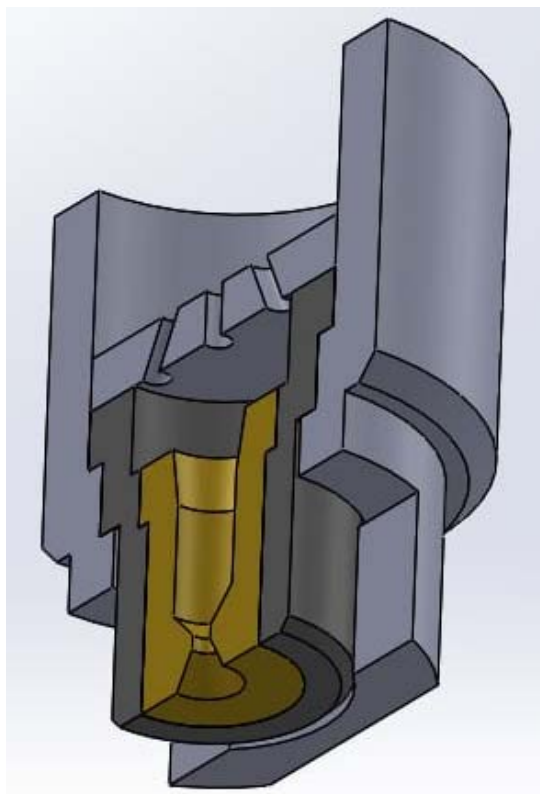
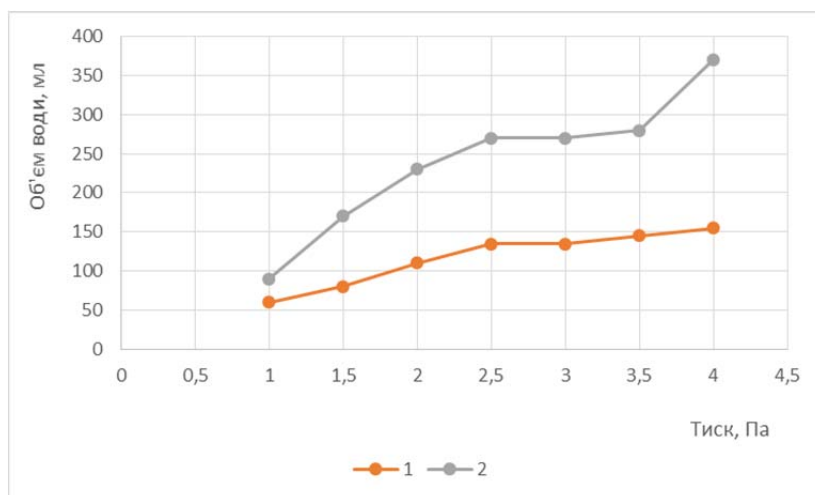


Рисунок 5 - Форсунка з додатковою вкладкою

Джерело: розроблено автором

Для проведення досліджень використано методики, викладені у ДСТУ ISO 5682-1:2019 [16].

Оцінювання об'єму витраченої рідини. Експеримент проводили наступним чином. Форсунки кріпили до труби подачі води і вмикали воду. Через 5 секунд подачу води припиняли й фіксували об'єм рідини, яка стікала в ємність під лотком пристрою. Отримані результати подано на рис. 6.



1 – промислова модель форсунки, 2- виготовлена модель

Рисунок 6 - Об'єм витраченої рідини

Джерело: розроблено автором

З рис. 6 бачимо, що застосування форсунки зі вставкою, що містить розподілені канали, приводить до зростання об'єму витраченої рідини. Причому витрати залежать від тиску в системі.

Зростання тиску приводить до збільшення об'єму рідини. Зі зростанням тиску також збільшується різниця об'ємів витраченої рідини для двох типів форсунок, що підлягали дослідженню. Так за умови що тиск становить 1 Мпа об'єм витраченої рідини для виготовленої форсунки зростає на 50%; за тиску 2 МПа зростання становить 53,4%; за тиску 4 МПа – 58,1%.

Оцінювання кута розпилювання. Для дослідження використано устаткування (рис.2), відеокамеру Sony Action. Досліди проводили відповідно до методики, викладеної в [16] насадки встановлювали вертикально над ребрами лотків стенду. З використанням отриманих розкадровок відео ми заміряли кут розпилення згідно рис. 7.

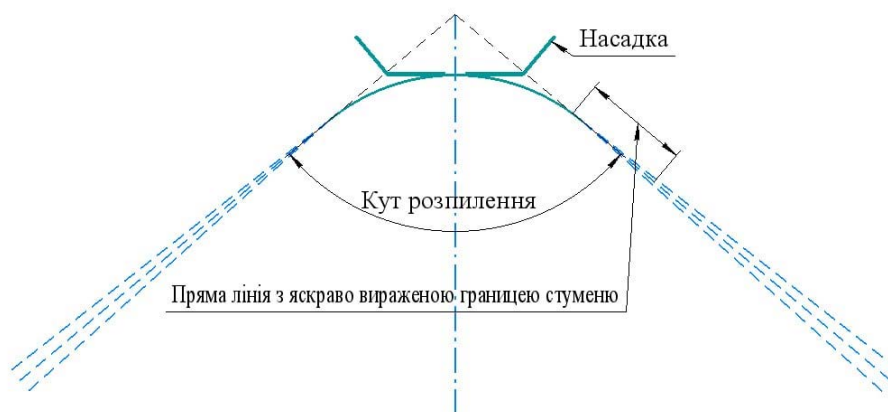


Рисунок 7 – Схема вимірювання кута розпилювання

Джерело: ДСТУ ISO 5682-1:2019 [16]

Отримані результати наведено в таблиці 1.

Висота розташування форсунки, м	Кут розпилювання, гад (середнє значення)	
	Форсунка промислова (червона)	Виготовлена форсунка
0,3	95	100
0,5	110	120
1,0	115	120

Отримані дані корелюються з результатами, наведеними в чинних літературних джерелах й доводять прямий кореляційних зв'язок між висотою встановлення розпилювача (форсунки) над поверхнею поля.

Аналіз кількості крапель. Для порівняння роботи форсунок за кількістю крапель виконано наступне дослідження. Під форсунку підкладали папір щільний, оброблений воском (поверхня стенду під папером застелялась плівкою).

На фільтрувальному папері чітко відображались краплі рідини (рис. 8), які можна було порахувати та оцінити їхній розмір.

Поверхню, на яку падали краплі, розбивали на окремі площадки площею один квадратний сантиметр.

Краплі розглядалися на окремих ділянках шляхом поступового переміщення мікроскопу марки Digital, який дозволяє робити фотографії. Використовуючі фотографії проводили підрахунок крапель і визначали їхні розміри.



Рисунок 8 – Відбитки крапель вокулярі мікроскопу Digital Microscope

Джерело: розроблено автором

Краплі відповідно до [16] розділяли на класи за розміром: R_{max} максимальним, R_{min} мінімальним та середнім

$$R_s = \frac{R_{max} - R_{min}}{2} \quad (1)$$

Після додавання всіх крапель за розмірами визначали щільність покриття поверхні рідиною

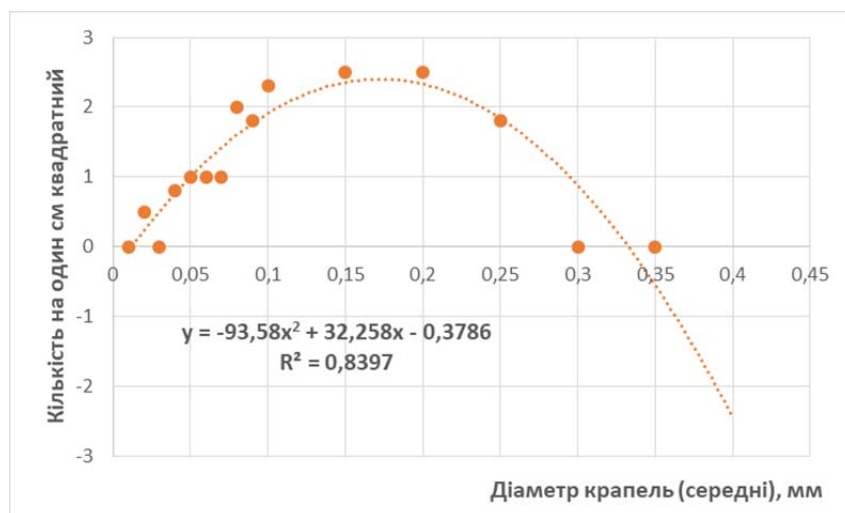
$$\rho_l = \frac{\Sigma \cdot 10^8}{K}, \quad (2)$$

де K – повна поверхня, що підлягала аналізу; Σ – сумарна кількість крапель певного класу.

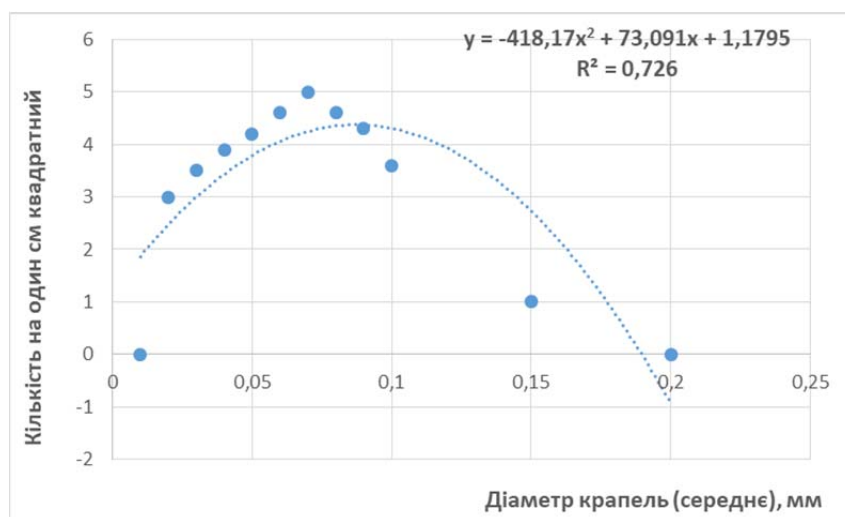
На рис. 9 подано графік розподілу кількості крапель за їхнім класом за результатами дослідів, виконаних із промисловою форсункою та виготовленою нами.

Бачимо, що використання форсунки зі вставкою забезпечило створення більш дрібних крапель. Можна припустити, що такий розпил забезпечить високі якісні показники процесу знищення бур'янів, що пояснюється тим, що дрібні краплі не зісковзують із листків і формують більшу площу покриття.

Слід зауважити, що для більш глибокого аналізу слід провести всі вище означені досліді змінюючи наступні характеристики: тиск у системі, висоту розміщення форсунок над горизонтальною площиною, діаметр пропускних отворів у розпилювача зі вставкою, кут нахилу осі отворів до горизонтальної площини.



а



б

а-форсунка промислова, б- виготовлена модель форсунки

Рисунок 9 – Розсіювання крапель по поверхні паперу

Джерело: розроблено автором із урахуванням [16]

Висновок. Таким чином викладені результати експериментальних досліджень довели перспективність запропонованої конструкції розпилювача (форсунки) для її використання у складі роботизованої платформи для знищення бур'янів. Використання форсунок із додатковими вставками дозволяє отримати дрібнодисперсне розпилювання рідини й тим самим збільшити площу покриття листя бур'янів. Подальші дослідження будуть виконуватись у польових умовах з метою оцінювання ефективності процесу розпилу гербіцидів.

Список літератури

1. Gleason, F. H., Marano, A. V., Johnson, P., & Martin, W. W. (2010). Blastocladian parasites of invertebrates. *Fungal Biology Reviews*, 24(1–2), 56–67. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2010.03.004>
2. Ugljic, Z., Mobli, A., DeWerff, R., & Werle, R. (2022). Targeted herbicide spraying systems: Role of nozzle type, number of nozzle activation, nozzle orientation, and boom height on spray coverage and weed control. *Pest Management Science*, 82(6), 5216–5224. <https://doi.org/10.1002/ps.70629>

3. Chethan, C. R., Singh, P. K., Dubey, R. P., Singhariya, S., & Choudhary, V. K. (2019). Herbicide application in agriculture: Nozzle selection and effective application. *Indian Farming*, 68(12).
4. Prado, E. P., Guerreiro, J. C., Ferreira-Filho, P. J., do Nascimento, V., Ferrari, S., Galindo, F. S., Funichello, M., Raetano, C. G., Pagliari, P. H., Chechetto, R. G., & Rodrigues Neto, A. D. (2024). Performance of spray nozzles and droplet size on glufosinate deposition and weed biological efficacy. *Crop Protection*, 177, 106560. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106560>
5. Byer, K. N., Peng, G., Wolf, T. M., & Caldwell, B. C. (2006). Spray retention and its effect on weed control by mycoherbicides. *Biological Control*, 37(3), 307–313.
6. Byer, K. N., Peng, G., Wolf, T. M., & Caldwell, B. C. (2006). Spray retention for liquid and mycoherbicide inoculum in three weed-biocontrol systems. *Biocontrol Science and Technology*, 16, 815–823.
7. Knoche, M. (1994). Effect of droplet size and carrier volume on performance of foliage-applied herbicides. *Crop Protection*, 13(3), 163–178. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(94\)90075-2](https://doi.org/10.1016/0261-2194(94)90075-2)
8. Feng, P. C. C., Chiu, T., Sammons, R. D., & Ryerse, J. S. (2003). Droplet size affects glyphosate retention, absorption, and translocation in corn. *Weed Science*, 51(3), 443–448. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2003\)051\[0443:DSAGRA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2003)051[0443:DSAGRA]2.0.CO;2)
9. Oliveira, O. G. T. M., Lopes, P. R. M., Raetano, C. G., & Prado, E. P. (2021). Influence of droplet size on spray deposition and weed control using glyphosate. *Engenharia Agrícola*, 41(4), 449–457. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v41n4p449-457/2021>
10. Byer, K. N., Peng, G., Wolf, T. M., & Caldwell, B. C. (2006). Spray retention and its effect on weed control by mycoherbicides. *Biological Control*, 37(3), 307–313. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.12.002>
11. Hewitt, A. J., Johnson, D. R., Fish, J. D., Hermansky, C. G., & Valcore, D. L. (2002). Development of the Spray Drift Task Force database for aerial applications. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21(3), 648–658. <https://doi.org/10.1002/etc.5620210326>
12. Lafferty, C. L., & Tian, L. F. (2001). The impacts of pre-orifice and air-inlet design features on nozzle performance. *Proceedings of the ASAE Annual International Meeting*.
13. Azghadi, M. R., Olsen, A., Wood, J., Saleh, A., Calvert, B., Granshaw, T., Fillols, E., & Philippa, B. (2025). Precision robotic spot-spraying: Reducing herbicide use and enhancing environmental outcomes in sugarcane. *Computers and Electronics in Agriculture*, 235, 110365. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110365>
14. Zhang, W., Miao, Z., Li, N., He, C., & Sun, T. (2022). Review of current robotic approaches for precision weed management. *Current Robotics Reports*, 3(3), 139–151. <https://doi.org/10.1007/s43154-022-00086-5>
15. McCool, C., Beattie, J., Firn, J., Lehnert, C., Kulk, J., Bawden, O., et al. (2018). Efficacy of mechanical weeding tools: A study into alternative weed management strategies enabled by robotics. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(2), 1184–1190. <https://doi.org/10.1109/LRA.2018.2794619>
16. Державний стандарт України (2019). ДСТУ ISO 5682-1:2019 (ISO 5682-1:2017, IDT). Устаткування для захисту рослин. Обприскувальне обладнання. Ч. 1: Методи випробування форсунок обприскувача. Київ, Україна: ДП «УкрНДНЦ».
17. Столяренко, Г. С. (2023). Редокс-системи та використання кисневмісних радикалів. Вертикаль.

References

1. Gleason, F. H., Marano, A. V., Johnson, P., & Martin, W. W. (2010). Blastocladian parasites of invertebrates. *Fungal Biology Reviews*, 24(1–2), 56–67. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2010.03.004>
2. Ugljic, Z., Mobli, A., DeWerff, R., & Werle, R. (2022). Targeted herbicide spraying systems: Role of nozzle type, number of nozzle activation, nozzle orientation, and boom height on spray coverage and weed control. *Pest Management Science*, 82(6), 5216–5224. <https://doi.org/10.1002/ps.70629>
3. Chethan, C. R., Singh, P. K., Dubey, R. P., Singhariya, S., & Choudhary, V. K. (2019). Herbicide application in agriculture: Nozzle selection and effective application. *Indian Farming*, 68(12).
4. Prado, E. P., Guerreiro, J. C., Ferreira-Filho, P. J., do Nascimento, V., Ferrari, S., Galindo, F. S., Funichello, M., Raetano, C. G., Pagliari, P. H., Chechetto, R. G., & Rodrigues Neto, A. D. (2024). Performance of spray nozzles and droplet size on glufosinate deposition and weed biological efficacy. *Crop Protection*, 177, 106560. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106560>
5. Byer, K. N., Peng, G., Wolf, T. M., & Caldwell, B. C. (2006). Spray retention and its effect on weed control by mycoherbicides. *Biological Control*, 37(3), 307–313.
6. Byer, K. N., Peng, G., Wolf, T. M., & Caldwell, B. C. (2006). Spray retention for liquid and mycoherbicide inoculum in three weed-biocontrol systems. *Biocontrol Science and Technology*, 16, 815–823.

7. Knoche, M. (1994). Effect of droplet size and carrier volume on performance of foliage-applied herbicides. *Crop Protection*, 13(3), 163–178. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(94\)90075-2](https://doi.org/10.1016/0261-2194(94)90075-2)
8. Feng, P. C. C., Chiu, T., Sammons, R. D., & Ryerse, J. S. (2003). Droplet size affects glyphosate retention, absorption, and translocation in corn. *Weed Science*, 51(3), 443–448. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2003\)051\[0443:DSAGRA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2003)051[0443:DSAGRA]2.0.CO;2)
9. Oliveira, O. G. T. M., Lopes, P. R. M., Raetano, C. G., & Prado, E. P. (2021). Influence of droplet size on spray deposition and weed control using glyphosate. *Engenharia Agrícola*, 41(4), 449–457. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v41n4p449-457/2021>
10. Byer, K. N., Peng, G., Wolf, T. M., & Caldwell, B. C. (2006). Spray retention and its effect on weed control by mycoherbicides. *Biological Control*, 37(3), 307–313. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.12.002>
11. Hewitt, A. J., Johnson, D. R., Fish, J. D., Hermansky, C. G., & Valcore, D. L. (2002). Development of the Spray Drift Task Force database for aerial applications. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21(3), 648–658. <https://doi.org/10.1002/etc.5620210326>
12. Lafferty, C. L., & Tian, L. F. (2001). The impacts of pre-orifice and air-inlet design features on nozzle performance. Proceedings of the ASAE Annual International Meeting.
13. Azghadi, M. R., Olsen, A., Wood, J., Saleh, A., Calvert, B., Granshaw, T., Fillols, E., & Philippa, B. (2025). Precision robotic spot-spraying: Reducing herbicide use and enhancing environmental outcomes in sugarcane. *Computers and Electronics in Agriculture*, 235, 110365. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110365>
14. Zhang, W., Miao, Z., Li, N., He, C., & Sun, T. (2022). Review of current robotic approaches for precision weed management. *Current Robotics Reports*, 3(3), 139–151. <https://doi.org/10.1007/s43154-022-00086-5>
15. McCool, C., Beattie, J., Firn, J., Lehnert, C., Kulk, J., Bawden, O., et al. (2018). Efficacy of mechanical weeding tools: A study into alternative weed management strategies enabled by robotics. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(2), 1184–1190. <https://doi.org/10.1109/LRA.2018.2794619>
16. State Standard of Ukraine. (2019). DSTU ISO 5682-1:2019 (ISO 5682-1:2017, IDT). Equipment for crop protection — Spraying equipment — Part 1: Test methods for sprayer nozzles. Kyiv, Ukraine: DP UkrNDNC. [in Ukrainian].
17. Stoliarenko, H. S. (2023). Redox systems and the use of oxygen-containing radicals. *Vertykal*. [in Ukrainian].

Artem Mykhailov

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

Research of Nozzles of a Robotic Platform for Weed Spraying

Crop losses in agriculture are often caused by insufficiently effective organization of technological processes for weed control. Therefore, the elimination of unwanted vegetation through the application of herbicides is widely used. To achieve this goal, innovative technological processes and machinery, particularly robotic systems, are being introduced in agriculture. At the present stage, the implementation of robotics in agricultural production is hindered by the limited research on the feasibility of its adoption and the effectiveness of robotic systems compared with conventional agricultural technologies and production means. The effectiveness of the herbicide spraying process, as shown by an in-depth analysis of existing studies, depends on many factors. The operational parameters of sprayers and their structural components influence herbicide consumption, the uniformity of leaf coverage of weeds, and also determine the level of environmental impact. Sprayer nozzles largely determine the quality indicators of the spraying process. At the National University of Water and Environmental Engineering, Department of Agroengineering, a robotic platform has been developed on which equipment for pre-sowing herbicide application is installed. To ensure the efficiency of the spraying process, different nozzle options were considered for equipping the boom of the robotic platform. This work presents the results of laboratory studies of industrial slot nozzles and a nozzle design that was modified and manufactured using 3D printing. The nozzle contains an additional element that allows the liquid flow to be divided into separate fine streams, ensuring a fine-dispersed spray. Laboratory studies confirmed the validity of the nozzle design concept. The droplets deposited on the test surface had a diameter of 0.050–0.15 mm compared to 0.1–0.25 mm typical for industrial nozzles. Based on the analysis of the obtained results, it was established that the use of the author's nozzle increases the spray angle by an average of 5.8% depending on the installation height of the nozzle, and increases the volume of liquid output. At the same time, the nozzle with the insert enabled a finer atomization of the spray, which allows more effective coverage of plant leaves with herbicide.

spraying, nozzles, research, herbicides, weed control

Одержано (Received) 21.06.2026

Прорецензовано (Reviewed) 24.06.2026

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2026