

О. М. Кобець, доц., канд. техн. наук, **Є. І. Лепеть**

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

e-mail: sadjem1990@gmail.com

Лабораторні дослідження зміни коефіцієнта варіації поперечного розподілу рідини дефлекторним розбризкувачем при внесенні агрохімікатів

Розглянуто результати лабораторних досліджень впливу робочого тиску, висоти штанги та діаметра дросельного отвору на коефіцієнт варіації поперечного розподілу рідини дефлекторними розбризкувачами при внесенні рідких мінеральних добрив. Встановлено оптимальні параметри, що забезпечують мінімальне значення коефіцієнта варіації та підвищують рівномірність внесення добрив. Отримані моделі можуть бути використані для вдосконалення конструкцій розбризкувачів. **дефлекторний розбризкувач, карбамід-аміачна суміш, рідкі мінеральні добрива, агрохімікати, оптимізація, коефіцієнт варіації, рівномірність розподілу, тиск подачі, висота штанги**

Постановка проблеми. Підвищення ефективності використання мінеральних добрив є одним із ключових напрямів розвитку сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур. За останні роки значну частку займає карбамід-аміачна суміш (КАС), яка завдяки рідкій формі забезпечує можливість точного дозування та рівномірного розподілу по поверхні ґрунту або рослин. Водночас ефективність дії КАС значною мірою залежить від рівномірності його внесення, яка визначається технічними характеристиками розпилювальної системи обприскувача.

Одним із найважливіших показників якості розподілу робочої рідини у поперечному напрямку є коефіцієнт варіації (CV), який характеризує ступінь рівномірності подачі рідини по ширині захвату обприскувача. Збільшення значення коефіцієнта варіації свідчить про нерівномірне внесення, що призводить до надлишкового живлення окремих ділянок поля і недостатнього – інших.

Визначення закономірностей зміни коефіцієнта варіації при різних режимах подачі рідини є важливим науковим і практичним завданням, оскільки дозволяє обґрунтувати режими роботи обприскувального обладнання для забезпечення високої точності внесення агрохімікатів.

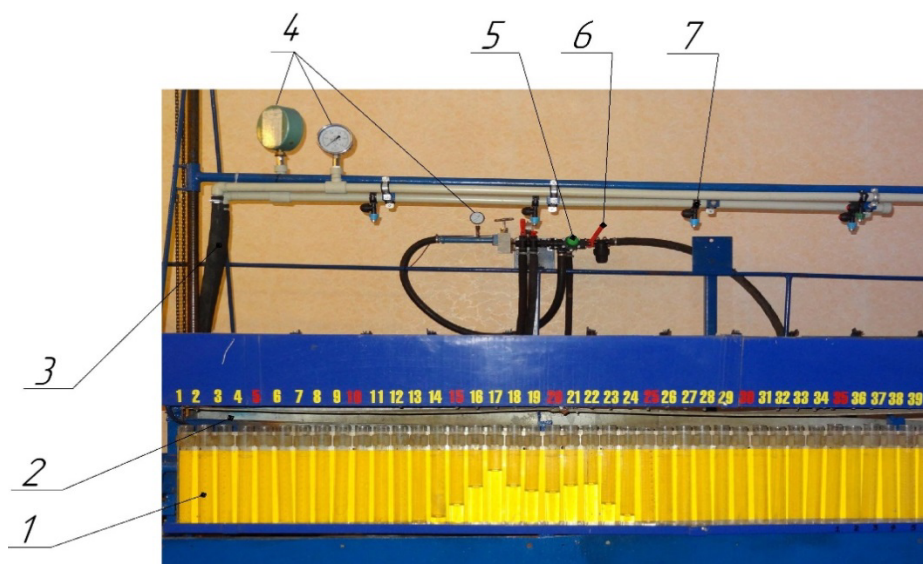
Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблематика рівномірності поперечного розподілу робочої рідини обприскувачами при внесенні агрохімікатів, отримала значну увагу в сучасних дослідженнях. Як зазначають [1,2], їх економічна ефективність застосування безпосередньо залежить від точності дозування та рівномірності внесення, що визначається, зокрема, конструкцією розпилювача, його робочими параметрами і стабільністю факела розпилу. Автори підкреслюють, що нерівномірність поперечного розподілу призводить до зниження коефіцієнта використання азоту, підвищення втрат поживних речовин і появи зон дефіциту чи надлишку добрив.

У працях [3-5] проведено комплексні дослідження зміни коефіцієнта варіації поперечного розподілу рідини для одно- та двопотокових розпилювачів. Результати показали, що конструктивні параметри розпилювача, тиск подачі та висота штанги мають істотний вплив на рівномірність розподілу.

Серія досліджень показує [6-8], що робочий тиск суттєво впливає на рівномірність розподілу: у низьких діапазонах тиску спостерігається збільшення середнього розміру крапель і нерівномірність факела, тоді як надмірне підвищення тиску може призвести до турбулентності і локальних коливань факела, що знову підвищує CV.

Постановка завдання. Попри значну кількість наукових праць, питання роботи дефлекторних розбризкувачів під час внесення КАС залишається недостатньо дослідженим. У наявних джерелах бракує систематизованих лабораторних експериментів, що враховують вплив тиску, висоти штанги та конструктивних параметрів на рівномірність розподілу. Це визначає актуальність проведення детальних стендових випробувань для встановлення закономірностей зміни коефіцієнта варіації поперечного розподілу рідини.

Виклад основного матеріалу. Дослідження рівномірності розподілу рідини в лабораторних умовах за допомогою гідравлічного стенда побудованого у відповідності до стандарту [9] (рис.1).



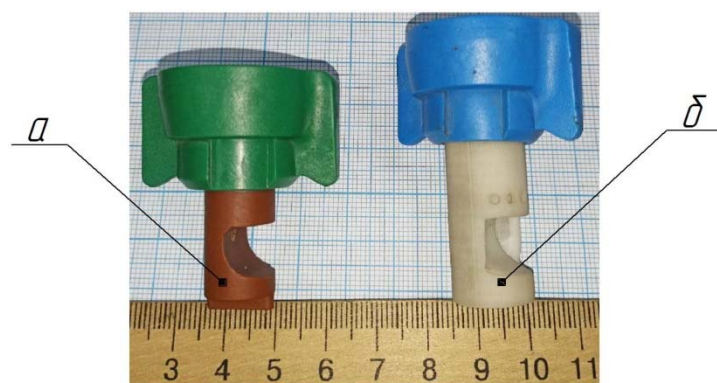
1 – мірні стакани; 2 – жолоб; 3 – трубопроводи; 4 – манометри; 5 – регулятор тиску;
6 – важіль перемикання напрямку потоку рідини; 7 – розбризкувач

Рисунок 1 – Гідравлічний стенд

Джерело: розроблено авторами на підставі [9]

Стенд складається зі стола, розділеного ребрами на канали шириною 0,1 м, блоку мірних циліндрів 1 для збору рідини з кожного каналу, насосної установки (на рис. не показано), яка забезпечує подачу рідини до розбризкувачів під тиском, рекомендованим виробником для кожного досліджуваного розбризкувача, що контролюється манометром 4, а також штанги, змонтованої над ребристою поверхнею стола, з можливістю зміни висоти. Штанга обладнана затискачами, що дають можливість фіксувати кут встановлення залежно від умов експерименту.

Для порівняння були обрані дефлекторні розбризкувачі: РД-4,0 (рис 2а) [10, с. 21] та розроблений комбінований (рис. 2б) [11]. Розбризкувачі були встановлені в штанзі стенду з відстанню 0,5 м. Середня температура води, використаної для випробувань, складала 17 °С.



а – РД-4,0; б – комбінований

Рисунок 2 – Дефлекторні розбризкувачі

Джерело: розроблено авторами

В результаті аналізу наукових публікацій [1-8] для проведення експерименту були обрані фактори, які мають найбільший вплив: робочий тиск, висота штанги обприскувача над вимірювальним столом та змінні дросельні заслінки. Межі їх варіювання були прийняті у відповідності до рекомендацій [1,2] та наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Фактори та межі варіювання

Позначення	Фактор	Рівень факторів			Інтервал варіювання
		-1	0	+1	
X ₁	Тиск p , МПа	0,2	0,25	0,3	0,05
X ₂	Висота штанги h , м	0,5	0,7	0,9	0,9
X ₃	Діаметр дроселя d , мм	1,0	1,5	2,0	0,5

Джерело: розроблено авторами

Для обробки отриманих експериментальних даних скористались методом Бокса-Бенкіна [12]. Адекватність отриманої математичної моделі перевіряли за допомогою F-критерію Фішера [13], що дозволяє оцінити відповідність моделі експериментальним даним. Перевірку здійснювали при п'ятивідсотковому рівні значущості, що відповідає довірчій ймовірності 0,95. У результаті розрахунків встановлено, що значення F-критерію для РД-4,0 $F_{\square}=5,9$, а для комбінованого $F_{\square}=3,7$. Отримані значення не перевищують табличних, що свідчить про адекватність математичної моделі.

Після статистичного опрацювання результатів експериментальних досліджень було отримано рівняння регресії другого порядку, які адекватно відображають вплив основних факторів на досліджувані показники процесу. Зазначені рівняння дозволяють кількісно оцінити зміну вихідних параметрів залежно від варіації вхідних факторів, а також визначити їх оптимальні значення. Розрахунки проводились з застосуванням програмного середовища Wolfram Cloud [14].

Рівняння регресії мають наступну форму:

- для РД-4,0

$$\psi = 26,51 + 0,67 \cdot d^2 + 0,60 \cdot d - 2,9 \cdot h \cdot d - 19,34 \cdot h + 11,49 \cdot h^2 - 20,94 \cdot p$$

- для комбінованого

$$\psi = 19,97 + 0,45 \cdot d + 10,93 \cdot h^2 - 22,87 \cdot h - 7,5 \cdot p \cdot h + 46,5 \cdot p - 125 \cdot p^2$$

Для наочного представлення та інтерпретації отриманих експериментальних даних були побудовані поверхні відгуку, наведені на рисунках 3-5. Вони відображають взаємозв'язок між основними досліджуваними факторами – робочим тиском p , висотою розташування штанги h та діаметром дросельного отвору d і показником рівномірності розподілу рідини, вираженим через коефіцієнт варіації ψ .

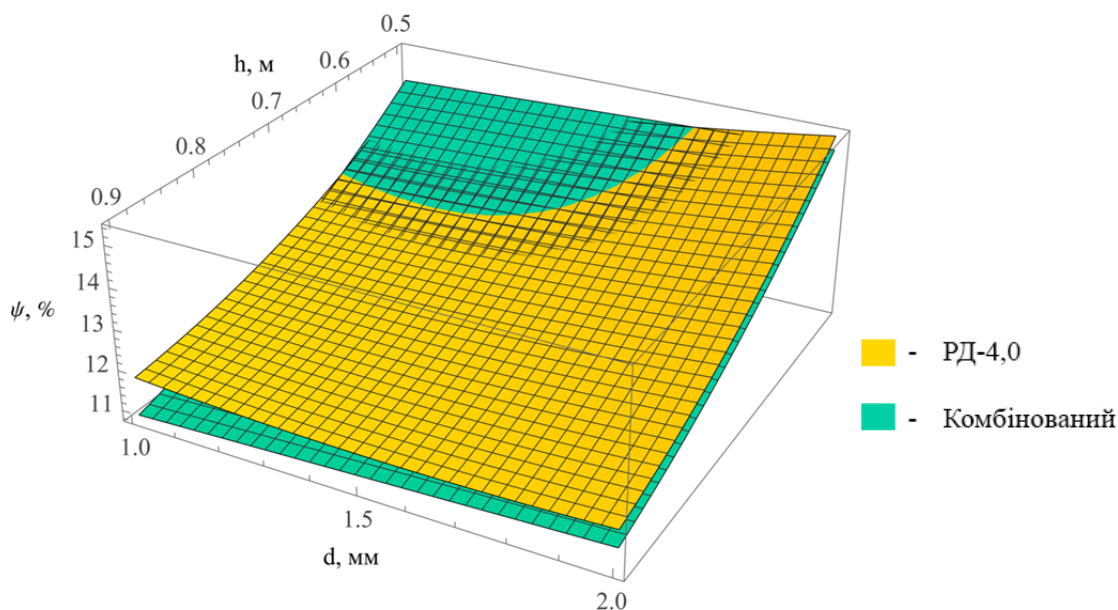


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта варіації поперечного розподілу рідини від h та d
Джерело: розроблено авторами

На графіку показано залежність коефіцієнта варіації поперечного розподілу рідини від висоти штанги (h , м) та діаметра змінного дроселя (d , мм). Поверхня має ядро виражену динаміку зниження коефіцієнта варіації при збільшенні висоти як для базового так і для проектного розбризкувача. Щодо діаметра дроселя то найменші показники коефіцієнта варіації для базового спостерігаються при $d = 1,5$ мм, а для проектного $d = 1,0$ мм.

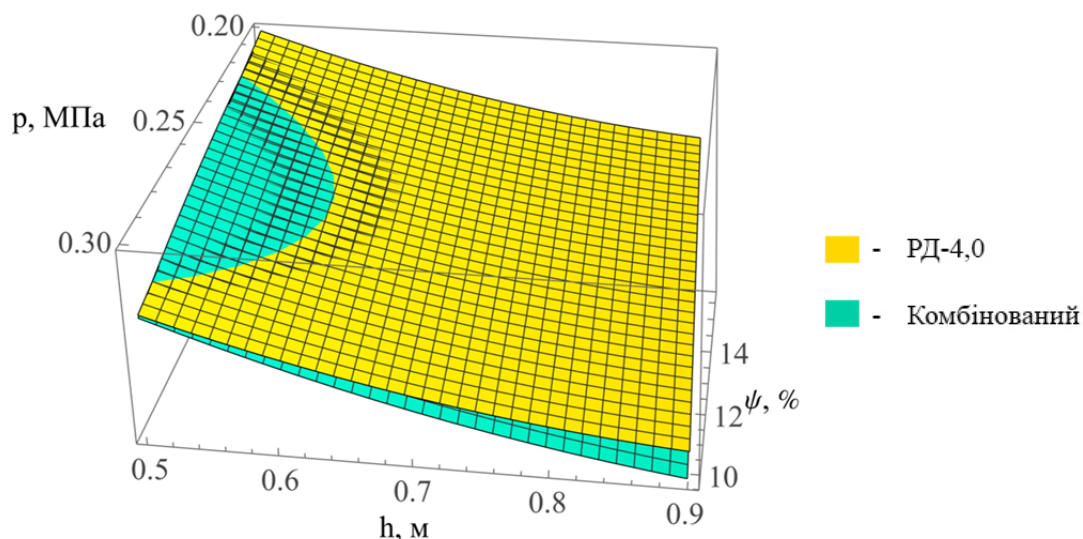


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта варіації поперечного розподілу рідини від p та h
Джерело: розроблено авторами

Поверхня графіку має характерну зону мінімуму при максимальних значеннях тиску p та висоті штанги близько h . За нижчого тиску спостерігається збільшення коефіцієнта варіації через укрупнення крапель і зменшення щільності факела розпилю. Зі зменшенням висоти штанги спостерігається збільшення коефіцієнта варіації, оскільки відбувається значне перекриття суміжних факелів.

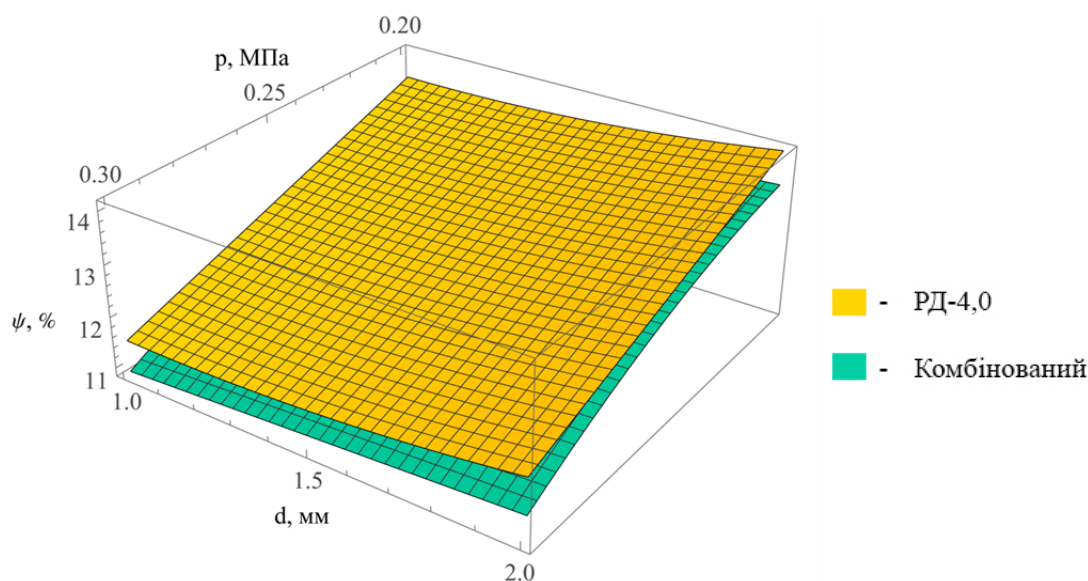


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнта варіації поперечного розподілу рідини від p та d
 Джерело: розроблено авторами

Поверхня графіку має плавний характер із вираженою зоною мінімуму при максимальних значеннях тиску p . Зі збільшенням діаметра дроселя d для комбінованого розбризкувача збільшується коефіцієнт варіації. Однак для базового розпилювача мінімальне значення коефіцієнта варіації досягається при $d = 1,5$ мм.

Мінімальні значення коефіцієнта варіації ψ досягається за наступних досліджуваних факторів

- для РД-4,0

$\psi = 10,5$, при $p = 0,3$ МПа, $h = 0,9$ м, $d = 1,5$ мм.

- для комбінованого

$\psi = 9,37$, при $p = 0,3$ МПа, $h = 0,9$ м, $d = 1,0$ мм.

Висновки. Проведені лабораторні дослідження підтвердили істотний вплив основних досліджуваних факторів – тиску подачі, висоти штанги та діаметра дросельного отвору на рівномірність поперечного розподілу рідини дефлекторними розбризкувачами при внесенні агрохімікатів. Зі збільшенням робочого тиску до 0,3 МПа спостерігається зниження коефіцієнта варіації, що свідчить про підвищення рівномірності розподілу. При низьких значеннях тиску збільшується розмір крапель і погіршується стабільність факела розпилу. Висота розміщення штанги істотно впливає на форму і перекриття факелів. Оптимальна висота для забезпечення мінімального коефіцієнта варіації становить близько 0,9 м, за якої формується рівномірне перекриття сусідніх струменів без утворення зон надлишкового або недостатнього зволоження. Збільшення діаметра змінного дроселя призводить до зростання коефіцієнта варіації, що пояснюється зменшенням стабільності потоку рідини. Найкращі показники рівномірності для базового розбризкувача РД-4,0 досягнуто при $d = 1,5$ мм, а для комбінованого – при $d = 1,0$ мм.

Отримані рівняння регресії другого порядку адекватно описують залежність коефіцієнта варіації від досліджуваних факторів, що підтверджено перевіркою за F -критерієм Фішера.

Результати досліджень можуть бути використані для удосконалення технологічних налаштувань та конструкції дефлекторних розбризкувачів, спрямованих на підвищення рівномірності внесення і зниження втрат агрохімікатів.

Список літератури

1. Крамарьов С.М., Крамарьов О.С., Демиденко В.Г., Хорошун К.О., Пісоцький С.С., Бондарь В.Ю., Рубан С.М., Цуркан К.П. Економічна ефективність використання карбамід-аміачних сумішей (КАС) в сучасних системах удобрення сільськогосподарських культур. Дніпро: Нова ідеологія, 2020. 195 с.
2. TeeJet Technologies. A User's Guide to Spray Technology (LI-TJ416). Wheaton, IL: TeeJet Technologies. 2023. [PDF]. Доступно за адресою: http://teejet.com/en/-/media/dam/agricultural/usa/sales-material/product-market-bulletin/li-tj416_user-guide-to-spray-technology.pdf
3. Nowakowski T., Chlebowski J., Kamiński J. Changes of coefficient of variation of transverse liquid distribution for single and dual stream atomizers. *Engineering for Rural Development*. 2017. Vol. 16. P. 1434-1439. DOI: 10.22616/ERDev2017.16.N324.
4. Nuyttens D., Baetens K., De Schampheleire M., Sonck B. Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. *Biosystems Engineering*. 2007. Vol. 97, No. 3. С. 333-345. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2007.03.001.
5. Parafiniuk S., Nowakowski T., Koszel M., Chlebowski J., Findura P. Influence of chosen working parameters of sprayer on coefficient of variation of transverse liquid distribution for twin fan nozzle. *Acta Technologica Agriculturae*. 2024. Vol. 27, No. 3. P. 173–178. DOI: 10.2478/ata-2024-0023.
6. Dorr G.J., Hewitt A.J., Adkins S.W., Hanan J., Zhang H., Noller B. A comparison of initial spray characteristics produced by agricultural nozzles. *Crop Protection*. 2013. Vol. 53. P. 109-117. DOI: 10.1016/j.cropro.2013.06.017.
7. Marangoni Junior A., Costa Ferreira M. Influence of working pressure and spray nozzle on the distribution of spray liquid in manual backpack sprayers. *Arquivos do Instituto Biológico*. 2019. Vol. 86, No. 2. P. e0442018. DOI: 10.1590/1808-1657000442018.
8. Szewczyk A., Łuczycka D., Lejman K. 2011: Wpływ parametrów opryskiwania wybranym rozpylaczem dwustrumieniowym na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów. (The impact of spraying parameters of chosen dual stream atomizer on the cover degree of spraying objects). *Inżynieria Rolnicza* 4(129): pp. 265-271 (in Polish).
9. ДСТУ ISO 5682-2:2019. Устаткування для захисту рослин. Обприскувальне устаткування. Частина 2. Методи випробовування гідравлічних обприскувачів. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 11 с.
10. Мележик О. І. Покращення дисперсності розпилення пестицидів: дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Мележик Олександр Іванович ; Дніпропетр. держ. аграр. ун-т. Дніпро, 2009. 180
11. Заявка u 2025 04632 Україна. Дефлекторний розпилювач / О. М. Кобець, Є. І. Лепеть (Україна); заявник та патентовласник ДВНЗ «Дніпровський державний аграрно-економічний. ун-т». № u 2025 04632; заявл. 22.09.25.
12. Кисельов О. В., Комарова І. Б., Мілько Д. О., Бакарджиев Р. О.. Статистична обробка і оформлення результатів експериментальних досліджень (із досвіду написання дисертаційних робіт): навч. посіб.; за заг. ред. Д. О. Мілька. Інститут механізації тваринництва НААН. Запоріжжя: СТАТУС, 2017. 1181 с.
13. Алієв Е. Б. Чисельне моделювання процесів агропромислового виробництва: підручник. Київ : Аграрна наука, 2023. 340 с. ISBN 978-966-540-584-9. DOI: 10.31073/978-966-540-584-9
14. Wolfram S. *An Elementary Introduction to the Wolfram Language* (3rd ed.). [електронний ресурс]. Wolfram Research. Доступно за адресою: <https://www.wolfram.com/language/elementary-introduction/3rd-ed/>

References

1. Kramarov, S. M., Kramarov, O. S., Demydenko, V. H., Khoroshun, K. O., Pisotskyi, S. S., Bondar, V. Yu., Ruban, S. M., & Tsurkan, K. P. (2020). *Economic efficiency of using urea-ammonium mixtures (UAN) in modern fertilization systems for agricultural crops*. Dnipro: Nova Ideolohiia [in Ukrainian].
2. TeeJet Technologies. (2023). *A User's Guide to Spray Technology (LI-TJ416)* [PDF]. Wheaton, IL: TeeJet Technologies. Retrieved from http://teejet.com/en/-/media/dam/agricultural/usa/sales-material/product-market-bulletin/li-tj416_user-guide-to-spray-technology.pdf
3. Nowakowski, T., Chlebowski, J., & Kamiński, J. (2017). Changes of coefficient of variation of transverse liquid distribution for single and dual stream atomizers. *Engineering for Rural Development*, 16, 1434–1439. <https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N324>
4. Nuyttens, D., Baetens, K., De Schampheleire, M., & Sonck, B. (2007). Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics. *Biosystems Engineering*, 97(3), 333–345. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.03.001>
5. Parafiniuk, S., Nowakowski, T., Koszel, M., Chlebowski, J., & Findura, P. (2024). Influence of chosen working parameters of sprayer on coefficient of variation of transverse liquid distribution for twin fan nozzle. *Acta Technologica Agriculturae*, 27(3), 173–178. <https://doi.org/10.2478/ata-2024-0023>

6. Dorr, G. J., Hewitt, A. J., Adkins, S. W., Hanan, J., Zhang, H., & Noller, B. (2013). A comparison of initial spray characteristics produced by agricultural nozzles. *Crop Protection*, 53, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.06.017>
7. Marangoni Junior, A., & da Costa Ferreira, M. (2019). Influence of working pressure and spray nozzle on the distribution of spray liquid in manual backpack sprayers. *Arquivos do Instituto Biológico*, 86(2), e0442018. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000442018>
8. Szewczyk, A., Łuczycza, D., & Lejman, K. (2011). Wpływ parametrów opryskiwania wybranym rozpylaczem dwustrumieniowym na stopień pokrycia opryskiwanych obiektów [The impact of spraying parameters of chosen dual stream atomizer on the cover degree of spraying objects]. *Inżynieria Rolnicza*, 4(129), 265–271 [in Polish].
9. Ukrainian Research and Training Center of Standardization, Certification and Quality. (2019). *DSTU ISO 5682-2:2019 Equipment for plant protection. Spraying equipment. Part 2: Test methods for hydraulic sprayers*. Kyiv: UkrNDNC [in Ukrainian].
10. Melezhyk, O. I. (2009). *Improving the dispersion of pesticide spraying* (Candidate's thesis, Dnipro State Agrarian University). Dnipro [in Ukrainian].
11. Kobets, O. M., & Lepet, Ye. I. (2025). *Deflector sprayer* (Utility model application No. u 2025 04632). Dnipro State Agrarian and Economic University. Filed September 22, 2025 [in Ukrainian].
12. Kyselov, O. V., Komarova, I. B., Milko, D. O., & Bakardzhiiev, R. O. (2017). *Statistical processing and presentation of experimental research results (based on the experience of writing dissertations): textbook*. Zaporozhzhia: STATUS, Institute of Mechanization of Animal Husbandry of NAAS [in Ukrainian].
13. Aliiev, E. B. (2023). *Numerical modeling of agro-industrial production processes: textbook*. Kyiv: Ahrarna nauka. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-584-9> ISBN 978-966-540-584-9 [in Ukrainian].
14. Wolfram, S. (2023). *An Elementary Introduction to the Wolfram Language* (3rd ed.) [Electronic resource]. Wolfram Research. Retrieved from <https://www.wolfram.com/language/elementary-introduction/3rd-ed/>

Oleksandr Kobets, Assoc. Prof., PhD tech. sci, **Yevhen Lepet**
Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Laboratory Studies of Changes in the Coefficient of Variation of the Transverse distribuTion of Liquid by a Deflector Sprayer When Applying Agrochemicals

The article presents the results of laboratory studies aimed at determining the effect of main technological and structural parameters of deflector-type sprayers on the uniformity of liquid distribution when applying urea-ammonium nitrate (UAN) solutions. The purpose of the study is to identify the influence of working pressure, boom height, and throttle orifice diameter on the coefficient of variation (CV) of the transverse distribution of liquid fertilizer and to establish optimal operating parameters that ensure high distribution uniformity and minimize fertilizer losses.

Experimental studies were carried out on a hydraulic test bench designed in accordance with ISO 5682-2. Two types of deflector sprayers were tested: the standard RD-4.0 and an improved combined design. The Box–Behnken experimental method was used to process the results, and regression equations of the second order were obtained using Wolfram Cloud software. The adequacy of the models was verified by the Fisher criterion at a 5 % significance level. Based on the obtained equations, three-dimensional response surfaces were constructed to visualize the relationship between the studied factors and the CV value. The results showed that the coefficient of variation decreases with increasing pressure up to 0,3 MPa and optimal boom height around 0,7–0,9 m, providing stable spray overlap. The influence of the throttle diameter was also significant: an excessive increase in its size led to turbulence and a higher CV.

The performed studies confirmed that the developed combined deflector sprayer ensures a more uniform transverse distribution compared to the standard model. The minimal CV value ($\approx 9.4\%$) was achieved at $p = 0,3$ MPa, $h = 0,9$ m, and $d = 1,0$ mm. The obtained regression models adequately describe the interaction of factors and can be used for optimizing sprayer design and operational parameters in the application of liquid fertilizers. The research results provide a scientific basis for improving deflector sprayers to enhance the efficiency and environmental safety of agricultural chemical application.

deflector sprayer, UAN, CV, liquid distribution uniformity, liquid mineral fertilizers, working pressure, boom height, laboratory experiment, optimization. Wolfram Cloud

Одержано (Received) 10.11.2025

Прорецензовано (Reviewed) 04.12.2025
Прийнято до друку (Approved) 30.12.2025