

УДК 631.348.4

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).1.216-226](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).1.216-226)

**А.В. Бабій**, доц., д-р техн. наук, **В.О.Дзюра**, доц., д-р техн. наук, **І.В. Головецький**, асп.

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна*

*e-mail: ababiy@ukr.net*

## Дослідження впливу вертикальних коливань штанги обприскувача на рівномірність обприскування

На сучасному етапі розвитку технологій вирощування сільськогосподарських культур технологічна операція обприскування залишається актуальною. Цим методом виконують хімічний захист рослин, а також їх підживлення. Основними машинами залишаються штангові обприскувачі. Від технічної ефективності обприскування залежить кінцевий результат – урожайність культури. Серед інших чинників, які потрібно витримати при хімічному захисті, є дотримання норми виливу на одиницю цільової площі.

Виходячи з цього, в роботі виконано аналіз чинників, які впливають на технічну ефективність обприскування. Серед них виділено вплив положення штанги на дотримання норми виливу робочого препарату на одиницю площі. Для реалізації мети роботи, яка полягає у віднаходженні допустимої амплітуди коливання штанги, виконано аналіз ряду літературних джерел, звідки встановлено взаємозв'язок між висотою розміщення штанги над об'єктом обробки та нормою виливу. На основі отриманих критеріїв побудовано графоаналітичну модель, яка пов'язує висоту встановлення штанги над оброблюваною площею та кількісну витрату через розпилюючий пристрій на одиницю площі обробки. Реалізацією моделі є числовий експеримент, який дозволив отримати відсоткові числові значення нерівномірності покриття площі обробки. Такі результати отримано для моделей, які імітують обприскування площ при суцільному внесенні робочого препарату та обробку просапних культур.

**вертикальні коливання, штанга, обприскувач, ширина міжрядь, розпилювачі, робочий препарат**

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку технологій вирощування сільськогосподарської продукції широко застосовують різного роду обробки рослин. Актуальним залишається хімічний захист, підживлення рідкими комплексними добривами, що виконують штанговими обприскувачами. Від своєчасності та ефективності виконання даної технологічної операції напряму залежить кінцевий результат – урожайність культури.

Виконавши аналіз чинників ефективності технологічної операції внесення робочого препарату на оброблювану площу, приходимо до висновку, що саме технічна ефективність обприскування полягатиме у здатності робочих та допоміжних органів машини для хімічного захисту забезпечити необхідну ефективну кількість осаджених краплин на одиницю цільової поверхні [1].

Виходячи з цього, виділено основні чинники, які мають значний вплив щодо розподілу робочого препарату на поверхні оброблюваного об'єкту, що наносяться штанговими обприскувачами як найбільш ефективними машинами для здійснення цієї технологічної операції, рис. 1 [2, 3].

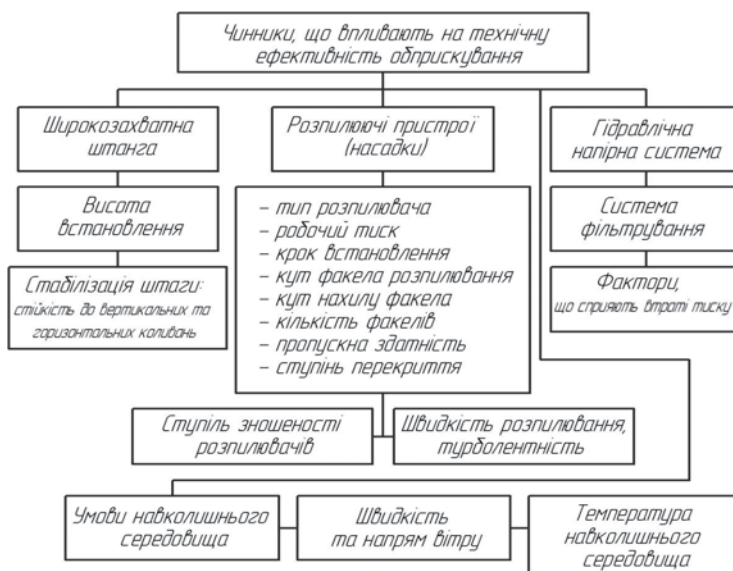


Рисунок 1 – Структурно-логічна схема чинників, що впливають на технічну ефективність обприскування

Джерело: розроблено авторами

Розглядаючи роботу технічно справного обприскувача та у відповідних погоднокліматичних умовах бачимо, що на технічну ефективність обприскування значний вплив має положення штанги в даний момент часу по відношенню до оброблюваної поверхні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання впливу коливання штанги є актуальними і сьогодні. Цій тематиці присвячено багато праць вчених, зокрема [2, 4–7]. Автори вказують, що коливання штанги в значній мірі впливає на рівномірність нанесення робочого препарату на поверхню рослин, але в переважній більшості не наводять кількісне співвідношення між параметрами коливання штанги та нормою внесення на одиницю ефективної площі.

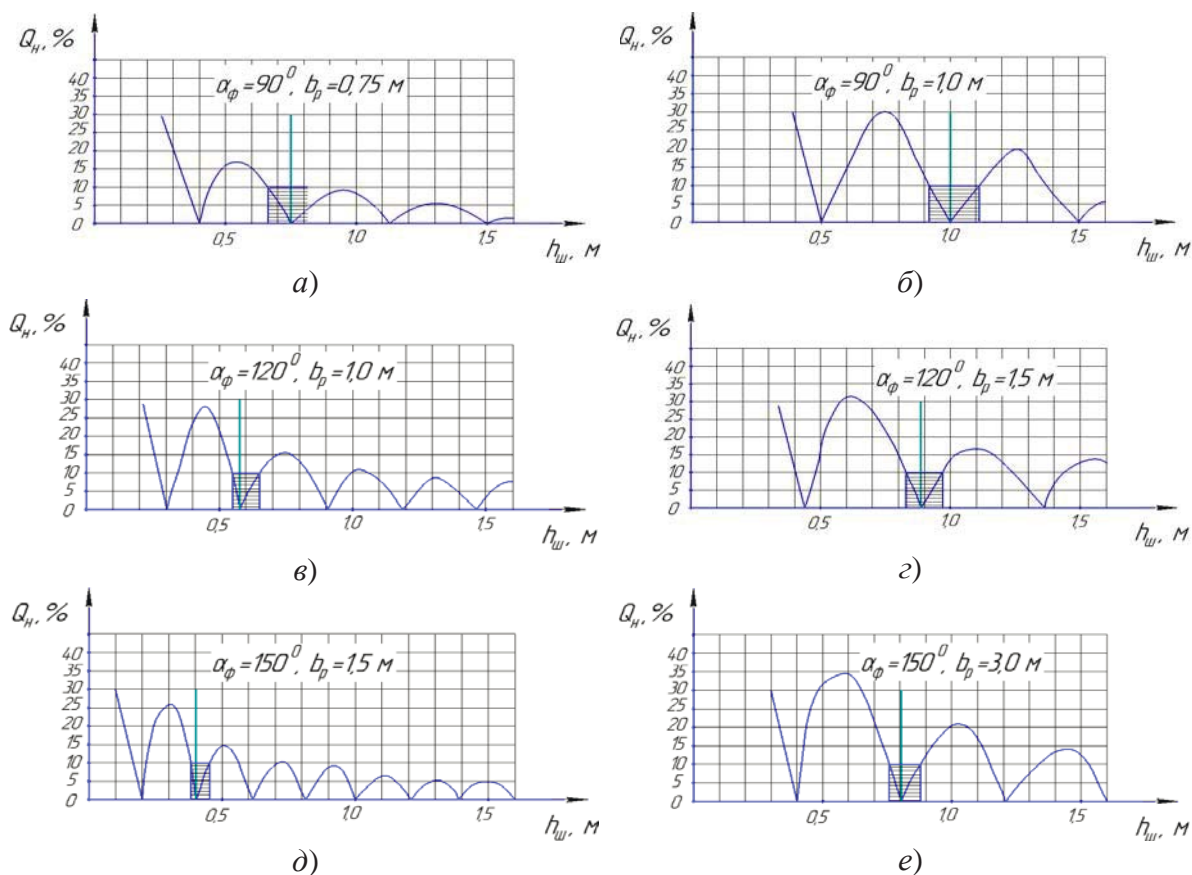
Автори доводять, що крім вертикальних коливань штанги, які в значній мірі впливають на рівномірність розподілу робочого препарату по ширині захвату штанги, суттєвий вплив мають ще й горизонтальні коливання вздовж руху обприскувача [8–10]. Локальні дослідження щодо впливу вертикальних переміщень штанги на рівномірність нанесення робочого препарату за робочою шириною у кількісному вираженні виконано у роботах [7, 11, 12]. Для отримання кількісного результату зроблено такі припущення: всі розпилювачі справні та мають однакову продуктивність, що забезпечує рівномірний розподіл розпилювача по всій ширині захвату штанги; всі розпилювачі мають факел розпилювача трикутної форми та виключений взаємний вплив при накладанні струменів; коливаючись, штанга здійснює плоскопаралельні рухи відносно об'єкту обробки. Методика визначення нерівномірності нанесення робочої рідини виконана згідно ОСТ 70.7.3-82. Тут було поставлено умову, що нерівномірність нанесення робочої рідини на об'єкт обробки не повинна перевищувати 10%. Отримано наступні результати, табл. 1 [13].

Таблиця 1 – Результати допустимих відхилень штанги по висоті

№ з/п	Кут факела розпилу розпилювача, град	Відстань між розпилювачами на штанзі, м	Висота встановлення штанги, м	Допустима величина відхилення штанги, м	Відхилення, м: ввєрх «+», вниз «-»
1.	90	1,0	1,0	0,20	+11; -9
2.	120	1,5	0,866	0,14	+8; -6
3.	150	3,0	0,804	0,12	+7; -5

Джерело: [13]

Автор [13] зазначає, що необхідно, щоб факели стикувалися над поверхню обробки, бо нижче утворюються полоси, яким властиві певної кратності перекриття, які змінюють норму внесення за шириною захвату штанги. Про що свідчать криві нерівномірності на рис. 2. Натомість реальна робота штанги при її вертикальних коливаннях значно відрізняється від наведених в табл. 1 допустимих відхилень.



а –  $\alpha_{\phi} = 90^{\circ}$ ,  $b_p = 0,75$  м; б –  $\alpha_{\phi} = 90^{\circ}$ ,  $b_p = 1,0$  м; в –  $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$ ,  $b_p = 0,75$  м; г –  $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$ ,  $b_p = 1,5$  м; д –  $\alpha_{\phi} = 150^{\circ}$ ,  $b_p = 1,5$  м; е –  $\alpha_{\phi} = 150^{\circ}$ ,  $b_p = 3,0$  м

Рисунок 2 – Кількісний аналіз нерівномірності розподілу робочої рідини за шириною захвату штанги в залежності від кута розпилу розпилювача  $\alpha_{\phi}$  та відстані між розпилювачами  $b_p$

Джерело: [13]

Таким чином, авторами отримано ряд числових значень відхилень по висоті встановлення штанги, при якому буде порушена норма виливу робочого препарату на одиницю площі обробки. Дослідження виконано для конкретних конструкцій штанг та відстаней розміщення розпилювачів.

Тенденції сьогодення вказують на дещо відмінні відстані розміщення розпилювачів на штанзі (в межах 0,5 м), для яких відсутні рекомендації щодо допустимих амплітуд коливання штанги при забезпеченні норми виливу робочого препарату з допустимим відхиленням, наприклад 10%.

**Постановка завдання.** Виконати з допомогою графоаналітичної моделі числовий експеримент для визначення допустимої амплітуди коливання штанги обприскувача, при якій буде дотримано допустиму норму виливу згідно агротехнічних вимог.

**Результати досліджень.** Тому виникає необхідність проведення додаткового графоаналітичного дослідження кількісної зміни норми внесення робочого препарату від висоти її встановлення над об'єктом обробки.

Використовуючи аналогічні припущення, що наведено вище, введемо до моделі визначення нерівномірності внесення препарату від висоти штанги ще такі:

– ширина питомої площі обробки одним розпилювачем відповідає величині кроку їх встановлення на штанзі, що зумовлює рівномірність обробки площі по ширині захвату штанги;

– питома витрата робочого препарату в будь-якому перерізі факела розпилювача відповідає витраті, що призначається на питому площу шириною кроку встановлення розпилювачів.

Виходячи з даних міркувань, побудовано моделі та отримано наступні графічні залежності для окремих найбільш вживаних розпилювачів (за кутом розпилу) та для переважного кроку їх встановлення на штангах сучасних обприскувачів – 0,5 м.

Представимо графічні залежності для штанги з розпилювачами, які утворюють кут розпилу  $\alpha_{\phi} = 80^{\circ}$  ( $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$ ) та встановлені з кроком  $b_p = 0,5$  м при суцільному внесенні робочого препарату, рис. 3.



■ – розпилювачі з кутом розпилу  $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$ ; ◆ –  $\alpha_{\phi} = 80^{\circ}$

Рисунок 3 – Графічні залежності нерівномірності покриття для розпилювачів

Джерело: розроблено авторами

Як видно з наведених графічних залежностей, що для розпилювачів з кутом розпилу  $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$  нульова нерівномірність виникає вже при відстані штанги над об'єктом обробки – 0,15 м. Проте відстань 0,1 м дає нерівномірність розподілу -44 %, тобто перевищення заданої норми на даний відсоток.

Аналогічно отримано для розпилювачів з кутом розпилу  $\alpha_{\phi} = 80^{\circ}$ : норма настає

при відстані 0,3 м, але при 0,25 м нерівномірність складає -19,2 %.

Для розрахункових точок отримано, як усереднене значення, поліноміальні криві нерівномірності покриття  $y_{(\alpha_\phi)}$  від положення штанги над об'єктом обробки  $x$  :

– для розпилювачів  $\alpha_\phi = 120^\circ$

$$y_{(120)} = -3,0542 \cdot 10^{-7} x^6 + 7,0716 \cdot 10^{-5} x^5 - 0,0066x^4 + 0,3161x^3 - 8,1656x^2 + 107,2459x - 556,4692; \quad (1)$$

– для розпилювачів  $\alpha_\phi = 80^\circ$

$$y_{(80)} = -7,4294 \cdot 10^{-7} x^6 + 0,0002x^5 - 0,0139x^4 + 0,6213x^3 - 15,2180x^2 + 201,0448x - 1188,9479. \quad (2)$$

Подальше збільшення висоти, від вказаних критичних точок, сприяє рівномірному розподілу робочого препарату за шириною штанги, не враховуючи інших чинників, що впливають на рівномірність: знос вітром, випаровування тощо [14].

Гірша ситуація з рівномірністю розподілу робочого препарату спостерігається при виконанні обприскування просапних культур. Для прикладу використано культури з міжряддям 0,45 м, наприклад цукровий буряк (рис. 4, 5), та міжряддям 0,7 м – картопля, рис. 6, 7.



Рисунок 4 – Графічні залежності нерівномірності покриття при міжрядному обробітку з шириною міжрядь 0,45 м для розпилювачів  $\alpha_\phi = 80^\circ$ , які рухаються:  $\blacklozenge$  – по осі рядка;  $\blacksquare$  – рядок розміщений по центру між розпилювачами;  $\blacktriangle$  – середнє значення; суцільна лінія – апроксимуюча крива

Джерело: розроблено авторами

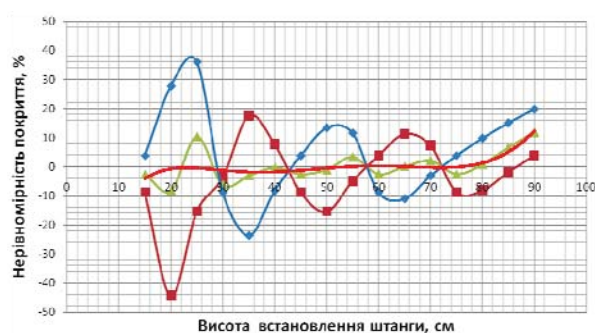


Рисунок 5 – Графічні залежності нерівномірності покриття при міжрядному обробітку з шириною міжрядь 0,45 м для розпилювачів  $\alpha_\phi = 120^\circ$ , які рухаються:  $\blacklozenge$  – по осі рядка;  $\blacksquare$  – рядок розміщений по центру між розпилювачами;  $\blacktriangle$  – середнє значення; суцільна лінія – апроксимуюча крива

Джерело: розроблено авторами

Хімічний захист проводиться в різних фазах біологічного розвитку рослин. Тут прийнято, що нанесення робочого препарату виконується, коли ширина ефективної площі покриття становить 0,15 м. Результати отримано для розпилювачів з кутом розпилу  $\alpha_\phi = 80^\circ$  та  $\alpha_\phi = 120^\circ$ .

Як видно з рис. 4, 5, що в залежності від того, де буде проходити розпилювач по відношенню до осі рядка, спостерігається значна нерівномірність покриття: від перевищення норми до значного недоливу. Але разом з тим є оптимальні значення висоти розміщення штанги, при якій спостерігається добре покриття ефективної площі рядка при будь-якому положенні розпилювача відносно осі рядка:

– для розпилювачів з кутом розпили  $\alpha_{\phi} = 80^{\circ}$  та кроком монтажу на штанзі  $b_p = 0,5$  м такі висоти над об'єктом обробки будуть в околах значень 0,3 м; 0,6 м. Оптимальна розрахункова висота встановлення штанги для таких же умов, яка отримана автором у роботі [15], становить  $h_{шт} = 0,596$  м, що має добру збіжність з даними результатами;

– для розпилювачів з кутом розпили  $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$  та кроком монтажу на штанзі  $b_p = 0,5$  м відповідно матимемо в околах: 0,3 м; 0,43 м; 0,58 м; 0,72 м. Розрахункова висота встановлення розпилювачів –  $h_{шт} = 0,289$  м .

Усереднені значення нерівномірності покриття робочим препаратом ефективної площі виражаються функціональними залежностями:

– для розпилювачів з кутом розпили  $\alpha_{\phi} = 80^{\circ}$

$$y_{(80_{-15})} = -9,6427 \cdot 10^{-8} x^6 + 3,0564 \cdot 10^{-5} x^5 - 0,0039 x^4 + 0,2475 x^3 - 8,4812 x^2 + 147,1334 x - 1014,0072; \quad (3)$$

– для розпилювачів з кутом розпили  $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$

$$y_{(120_{-15})} = -4,0920 \cdot 10^{-9} x^6 + 1,5749 \cdot 10^{-6} x^5 - 0,0002 x^4 + 0,0168 x^3 - 0,6312 x^2 + 11,5895 x - 82,2498 . \quad (4)$$

Виконаємо такий самий аналіз нерівномірності покриття при обробці просапної культури з міжряддям 0,7 м та шириною ефективної площі нанесення 0,3 м на прикладі обробки картоплі, рис. 6, 7.

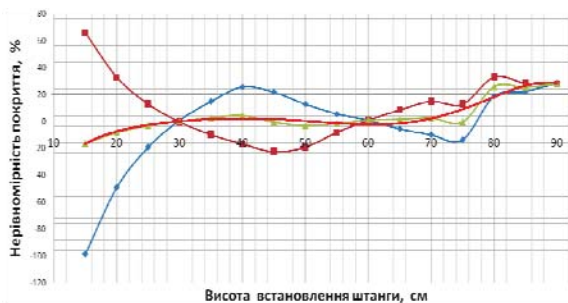


Рисунок 6 – Графічні залежності нерівномірності покриття при міжрядному обробітку з шириною міжрядь 0,7 м для розпилювачів  $\alpha_{\phi} = 80^{\circ}$ , які переміщуються:  $\blacklozenge$  – по осі рядка;  $\blacksquare$  – рядок розміщений по центру між розпилювачами;  $\blacktriangle$  – середнє значення; суцільна лінія – апроксимуюча крива

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 7 – Графічні залежності нерівномірності покриття при міжрядному обробітку з шириною міжрядь 0,7 м для розпилювачів  $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$ , які переміщуються:  $\blacklozenge$  – по осі рядка;  $\blacksquare$  – рядок розміщений по центру між розпилювачами;  $\blacktriangle$  – середнє значення; суцільна лінія – апроксимуюча крива

Джерело: розроблено авторами

Також співставимо результати покриття ефективної площі розпилювачами з кутом розпили  $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$ , рис. 7 [16].

Аналізуючи роботу розпилювачів з кутами розпили  $\alpha_{\phi} = 80^{\circ}$  на міжряддях 0,7 м та шириною ефективної площі обробки 0,3 м, бачимо, що для тих, які проходять по осі рядка та розпилювачів, між якими симетрично розміщений рядок (як найбільш критичні випадки) забезпечення норми виліву спостерігається при відстані 0,3 м від

поверхні оброблюваних рослин. Потім при віддаленні штанги від об'єкту обробки нерівномірність зростає, причому на відстані 0,4 м перші розпилювачі мають недолив 25 %, а другі – на відстані 0,45 м переливають на 22,5 %. В околі висоти 0,6 м вилив знову є в межах норми.

Розрахункова висота складає для даних типів розпилювачів (за кутом розпилу) – 0,596 м. Отриманий результат добре королює з відповідною зоною на графічних зображеннях, рис. 6.

Залежності апроксимуючих кривих, що характеризують середнє значення нерівномірності нанесення робочого препарату при роботі розпилювачів, що розміщені вказаним чином мають вигляд:

– для розпилювачів  $\alpha_{\phi} = 80^{\circ}$

$$y_{(80_{-70})} = -1,5607 \cdot 10^{-8} x^6 + 4,4848 \cdot 10^{-6} x^5 - 0,0005 x^4 + 0,0296 x^3 - 0,9605 x^2 + 17,2049 x - 136,0819; \quad (5)$$

– для розпилювачів  $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$

$$y_{(120_{-70})} = -2,5158 \cdot 10^{-9} x^6 + 8,4382 \cdot 10^{-7} x^5 - 0,0001 x^4 + 0,0074 x^3 - 0,2510 x^2 + 4,0827 x - 23,1796. \quad (6)$$

При роботі розпилювачів з кутом розпилу  $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$  на міжряддях 0,7 м та корисною шириною ефективної площі обробки 0,3 м спостерігаємо наступне, рис. 7: норма забезпечується при відстані 0,3 м; при збільшенні висоти до 0,35 м – нерівномірність зростає до 15,8 %; далі із збільшенням висоти штанги над об'єктом обробки – рівномірність нанесення робочого препарату розпилювачами підвищується і переходить в зону норми  $\pm 10\%$ . Для розглядуваної комбінації рядок-розпилювач оптимальними є висоти: 0,3 м; 0,45 м; 0,6 м та вище. Розрахункова висота при двократному перекритті факелів становить  $h_{\text{ш}} = 0,289$  м. Як бачимо і в цьому випадку розрахункова величина має добре співпадання з графоаналітичними дослідженнями.

Крім того, представлені залежності (рис. 3 – 7) в певній мірі мають подібний характер до графічних залежностей, що наведено автором [13] та представлені на рис. 2. Крок розстановки розпилювачів у дослідженні [13] на даний час не відповідає сучасним підходам розміщення розпилювачів на штангах універсальних обприскувачів, а також відсутня інформація про ширину ділянки спостереження та їх крок і тому не виконували порівняльний аналіз в аналогічних умовах.

**Висновки.** Підсумовуючи результати дослідження впливу вертикальних коливань штанги щодо рівномірності внесення робочого препарату на поверхню обробки, приходимо до наступних висновків:

– в залежності від виду виконуваної технологічної операції – суцільне внесення чи обробка просапних культур встановлюють штангу на оптимальну висоту, яка визначається з врахуванням можливої амплітуди коливань, і при цьому норма нерівномірності внесення не перевищуватиме  $\pm 10\%$ , наприклад:

1) для розпилювачів з кутом розпилу  $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$  нульова нерівномірність виникає при відстані штанги над об'єктом обробки – 0,15 м. Проте, якщо амплітуда коливання штанги буде більше 0,05 м, то при відстані 0,1 м нерівномірність розподілу зросте до -44 %, що значно перевищить задану норму. Подальше збільшення висоти встановлення штанги над об'єктом обробки ( $\geq 0,15$  м) забезпечує задану норму внесення, не враховуючи інших негативних чинників;

2) для розпилювачів з кутом розпилу  $\alpha_{\phi} = 80^{\circ}$ : норма внесення забезпечується при відстані 0,3 м, але при 0,25 м нерівномірність складає – 19,2 %, тому відстань над об'єктом обробки повинна складати  $\geq 0,25$  м, при врахуванні амплітуди коливання штанги її збільшують на величину максимальної робочої амплітуди;

– при обробці робочим препаратом рядків просапних культур спостерігається складніша картина щодо рівномірності нанесення робочого препарату на поверхню рослин, тобто ефективну площу обробки. В залежності від того, де буде проходити розпилювач по відношенню до осі рядка, спостерігається значна нерівномірність покриття: від перевищення норми до значного недоливу. Але разом з тим є оптимальні значення висоти розміщення штанги, при яких спостерігається добре покриття ефективної площі рядка при будь-якому положенні розпилювача відносно осі рядка:

1) просапна культура з міжряддям 0,45 м, ширина ефективної площі обприскування 0,15 м:

2) для розпилювачів з кутом розпилу  $\alpha_{\phi} = 80^{\circ}$  та кроком монтажу на штанзі  $b_p = 0,5$  м такі висоти над об'єктом обробки будуть в околах значень 0,3 м, допустима амплітуда коливання штанги  $\pm 0,02$  м; 0,6 м – амплітуда  $\pm 0,045$  м. Оптимальна розрахункова висота становить  $h_{\text{ш}} = 0,596$  м;

– для розпилювачів з кутом розпилу  $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$  та кроком монтажу на штанзі  $b_p = 0,5$  м відповідно матимемо в околах: 0,3 м  $\pm 0,03$  м ; 0,43 м  $\pm 0,04$  м; 0,58 м; 0,72 м. Якщо допустити перевищення нерівномірності покриття ефективної площі в положенні штанги 0,61 м  $\pm 0,01$  м до  $\pm 12$  %, то задовільне положення штанги лежить в межах від 0,55 м до 0,82 м над об'єктом обробки;

1) просапна культура з міжряддям 0,70 м, ширина ефективної площі обприскування 0,30 м:

2) для розпилювачів з кутами розпилу  $\alpha_{\phi} = 80^{\circ}$  тих, які проходять по осі рядка та розпилювачів, між якими симетрично розміщений рядок (як найбільш критичні випадки) забезпечення норми виліву спостерігається при відстані 0,3 м  $\pm 0,04$  м від поверхні оброблюваних рослин. Потім при віддаленні штанги від об'єкту обробки нерівномірність зростає, причому на відстані 0,4 м перші розпилювачі мають недолив 25 %, а другі – на відстані 0,45 м переливають на 22,5 %. В околі висоти 0,6 м  $\pm 0,08$  м вилів знову є в межах норми. Розрахункова висота складає для даних типів розпилювачів (за кутом розпилу) – 0,596 м;

3) для розпилювачів з кутом розпилу  $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$  норма забезпечується при відстані 0,3 м; при зростанні висоти до 0,35 м – нерівномірність зростає до 15,8 %; далі від 0,38 м із збільшенням висоти штанги над об'єктом обробки, наприклад, 0,9 м – рівномірність нанесення робочого препарату розпилювачами підвищується і переходить в зону норми  $\pm 10\%$ . Для розглядуваної комбінації оптимальними є висоти: 0,3 м; 0,45 м; 0,6 м та вище.

Звідси випливає, що при суцільному внесенні робочого розчину на оброблювану площу слід виділяти мінімальну відстань до об'єкту обробки, де забезпечується допустима нерівномірність нанесення, оскільки подальше збільшення висоти підвищує рівномірність покриття, аж до моменту, коли почнуть діяти інші чинники, які цей показник знижуватимуть.

Що стосується обробітку просапних культур, то при звичайному штанговому обприскуванні рівномірності обробки ефективної площі, яку займає культурна рослина, досягнути важче, оскільки цей процес залежить від ширини такої площі, величини



міжрядь, в яких культура вирощується, а звідси і положення розпилювача відносно осі рядка. З даного локального дослідження випливає, що оптимальним є положення штанги на висоті 0,6 м над об'єктом обробки.

Результати представлених досліджень є актуальними в частині проведення такого хімічного обробки рослин, при якому розрахункова норма препарату повинна бути нанесеною тільки на поверхню культурних рослин, тому, формуючи норму внесення, потрібно враховувати співвідношення ширини ефективної площі обробки та ширини міжрядь. Це викликає збільшення об'ємів внесення робочого препарату на гектар, а також «зайве» покривання відкритих міжрядь, що знижує ефективність такого способу штангового обприскування. Альтернативою тут може бути стрічкове або дискретне обприскування.

## Список літератури

1. Бабій А.В. Вибір критеріїв для досягнення оптимальних параметрів обприскувача. Матеріали XXI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 2019 р. С. 8.
2. Вікович І.А. Конструкції і динаміка штангових обприскувачів: монографія. Львів : Видавництво «Львівської політехніки», 2003. 460 с.
3. Машины для хімічного захисту рослин: посіб.; за ред. Кравчука В.І., Войтюка Д.Г. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2010. 184 с.
4. Schmidt-Ott M. Technische Maßnahmen zur Erhöhung der Verteilgenauigkeit von FeldSpritzgeräten. Landtechnik, 1976. Nr. 3. S. 112–115.
5. Кушель В.Ю., Чижевский А.Л. Влияние продольных колебаний штанги на распределение удобрений. В кн. : Пробл. компл. механиз. процессов хранения, подготовки и внесения органических, минеральных удобрений, известковых материалов и средств защиты растений. Тез. докл. науч.-произв. конф. Ч. I. Минск, 1979. С. 98–99.
6. Масло И.П., Терехов А.П. Статистический анализ равномерности распределения материалов. В кн. : Механиз. и электриф. сел. хоз-ва, 1981. С. 50–52.
7. Озолс Я.Г., Вартукаптейнис К.Э., Карклиньш А.А. Применение и механизация внесения жидких комплексных минеральных удобрений. Рига : Лиесма, 1979. 162 с.
8. Irla E. Feldspritzgeräte – Ausrüstung, Arbeitsqualität und Kosten. Schweizer Landtechnik, 1980. Jg. 42. Nr.7. S. 436–443, 446–448.
9. Speelman L. Die gleichmäßige Verteilung von Spritz-brtihen auf unebenem Gelände ist mit den heutigen Spritzbalken-und Dusenkonstruktionen meistens unbefriedigend. Grundl. Landtechnik, 1973. Bd. 23. Nr. 1. S. 25–27.
10. Musillami S. La reduction des coöts des applications de produits agropharmaceutiques passe par la precision des materials et leur bonne mise en oeuvre. Tract. Mach. Agr, 1978. Vol. 54. Nr. 3. P. 169–176.
11. Norden J. Spritztechnik in Pflanzenschutz und Düngung. Münster - Hilstrup: Landwirtschaftsverlag GMBH, 1982. 156 s.
12. Ripke F.O. Die richtige Düse für ihre Pflanzenschutzspritze. Agrar Übersicht, 1981. Bd. 32. Nr 10. S. 30–32.
13. Вартукаптейнис Л.Э. Обоснование параметров и элементов конструкции штанговых опрыскивателей. Дисертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 05.20.01. Елгава, 1984. 249 с.
14. Бабій А.В., Олійник В.С., Михалків А.Й.. Дослідження впливу положення штанги обприскувача на відхилення норми внесення робочого препарату. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників, 20 травня 2021 р. / Редкол.: Непочатенко О. О. (відп. ред.) та ін. Умань: ВПЦ «Візаві», 2021. С. 155-157.
15. Бабій А.В. Аналіз параметрів штангового обприскувача з метою збільшення його продуктивності. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine, 2019. Vol. 10. No. 4. С. 51–55.
16. Бабій А.В. Дослідження впливу висоти встановлення штанги на рівномірність обприскування за шириною захвату. *Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України*: зб. тез доповідей міжн. наук.-практ. онлайн конф., присвяченої 20-й річниці з дня створення факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України, 23-24 вересня 2021 року. С. 118-120.

## References

1. Babii, A.V.(2019). Vybir kryteriyiv dlya dosyahnennya optimal'nykh parametriv obpryskuvacha [Selection of criteria for achieving optimal sprayer parameters]. *Materialy XXI naukovoï konferentsiyi Ternopil's'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu imeni Ivana Pulyuya – Proceedings of the XXI Scientific Conference of Ternopil Ivan Puluj National Technical University*, 8 [in Ukrainian].
2. Vikovych, I.A. (2003). *Konstruktivna i dynamika shtanhovykh obpryskuvachiv [Constructions and dynamics of rod sprayers: monograph]*. L'viv : Vydavnytstvo «L'vivskoyi politekhniky» [in Ukrainian].
3. Kravchuk, V.I. & Voytyuk, D.H. (2010). *Mashyny dlya khimichnoho zakhystu roslyn [Machines for chemical protection of plants]*. Doslidnyts'ke: UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho [in Ukrainian].
4. Schmidt-Ott, M. (1976). Technische Mapnahmen zur Erhöhung der Verteilgenauigkeit von Feldspritzgeräten. *Landtechnik*, 3. 112–115 [in German].
5. Kushel, V.Yu. & Chijevskiy, A.L. (1979). Vliyanie prodolnykh kolebaniy shtangi na raspredelenie udobreniy [Influence of longitudinal vibrations of the boom on the distribution of fertilizers]. *Tez. dokl. nauch.-proizv. konf – Theses of the scientific-production conference. Part. I.* Minsk [in Russian].
6. Maslo, I.P. & Terehov, A.P. (1981). *Statisticheskyy analiz ravnomernosti raspredeleniya materialov [Statistical analysis of the uniformity of the distribution of materials]*. V kn. : Mehaniz. i elektrif. sel. hoz-va [in Russian].
7. Ozols, Ya.G., Vartukapteynis, K.E. & Karklinsh, A.A. (1979). *Primenenie i mehanizatsiya vneseniya jidkih kompleksnykh mineralnykh udobreniy [The use and mechanization of the introduction of liquid complex mineral fertilizers]*. Riga : Liesma [in Russian].
8. Irla, E. (1980). Feldspritzgeräte – Ausrüstung, Arbeitsqualität und Kosten. *Schweizer Landtechnik*. Jg 42.7. 436–443, 446–448 [in German].
9. Speelman, L. (1973). Die gleichmäßige Verteilung von Spritz-brtihen auf unehehem Gelände ist mit den heutigen Spritzbalken-und Dusenkonstruktionen meistens unbefriedigend. *Grundl. Landtechnik*,. Bd. 23. 1. 25–27 [in German].
10. Musillami, S. (1978). La reduction des coöts des applications de produits agropharmaceutiques passe par la precision des materials et leur bonne mise en oeuvre. *Tract. Mach.* Vol. 54. 3. 169–176 [in German].
11. Norden, J. (1982). *Spritztechnik in Pflanzenschutz und Düngung*. Münster – Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GMBH. 156 [in German].
12. Ripke F.O. (1981). Die richtige Düse für ihre Pflanzenschutzspritze. *Agrar Übersicht*. Bd. 32. 10. 30–32 [in German].
13. Vartukapteynis, L.E. (1984). Obosnovanie parametrov i elementov konstruktssii shtangovykh opryskivatelyey [Substantiation of parameters and design elements of boom sprayers]. *Candidate's thesis*. Elgava [in Russian].
14. Babii, A.V., Oliynyk, V.Ye. & Mykhalkiv, A.Y. (2021). Doslidzhennya vplyvu polozhennya shtanhy obpryskuvacha na vidkhylennya normy vnesennya robochoho preparatu [Investigation of the influence of the position of the sprayer boom on the deviation of the application rate of the working solution]. *Materialy Vseukrayins'koyi naukovoï konferentsiyi molodykh uchenykh i naukovopedagogichnykh pratsivnykiv – Proceedings of the All-Ukrainian scientific conference of young scientists and scientific-pedagogical workers*. Uman': VPTs «Vizavi», 155-157 [in Ukrainian].
15. Babiy, A.V. (2019). Analiz parametriv shtanhovoho obpryskuvacha z metoyu zbil'shennya yoho produktyvnosti [Analysis of the parameters of the boom sprayer in order to increase its productivity]. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*, Vol. 10, 4, 51–55 [in Ukrainian].
16. Babiy, A.V. (2021). Doslidzhennya vplyvu vysoty vstanovlennya shtanhy na rivnomirnist' obpryskuvannya za shyrynoyu zakhvatu [Investigation of the impact of the height of the bar installation on the uniformity of spraying over the width of the grip]. *Zbirnyk tez dopovidey mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi onlayn konferentsiyi «Suchasni problemy ta perspektyvy rozvytku mashynobuduvannya Ukrainy» – Collection of theses of the international scientific-practical online conference «Modern problems and prospects for the development of mechanical engineering in Ukraine»* (pp.118-120) [in Ukrainian].

**Andrii Babii**, Assos. Prof., DSc., **Volodymyr Dzyura**, Assos. Prof., DSc., **Ivan Holovetskyi**, post-graduate Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

### **Investigation of the Effect of Vertical Oscillations of the Sprayer Boom on the Uniformity of Spraying**

At the present stage of development of technologies for growing agricultural crops, the technological operation of spraying remains relevant. This method performs chemical protection of plants and their nutrition as well. Bar sprayers are still the main machines. The final result - crop yield depends on the technical efficiency of

spraying. Other factors that need to be maintained in chemical protection include compliance with the rate of outflow per unit target area.

Based on this, the factors that affect the technical efficiency of spraying were analyzed. Among them, the influence of the position of the rod on compliance with the rate of outflow of the working solution per unit area is highlighted. To realize the purpose of the work, which is to find the allowable amplitude of oscillation of the rod, an analysis of a number of literature sources was done. From there, the link between the height of the rod above the treatment object and the pour rate is established. Based on the obtained criteria, a model is constructed, which connects the height of the bar installation above the cultivated area and the quantitative flow through the spraying device per unit of processing area. The implementation of the model is a numerical experiment, which allowed to obtain the percentage numerical values of the uneven coverage of the processing area. Such results were obtained for models that simulate spraying of areas with continuous application of the working solution and treatment of row crops.

According to calculations, the following results were obtained. When continuous application of the working solution and the use of sprays with a spray angle  $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$ , the minimum installation height of the bar above the workpiece must be  $\geq 0,15$  m; for sprayers with  $\alpha_{\phi} = 80^{\circ}$  – height  $\geq 0,15$  m.

When processing row crops with rows of 0,45 m and the width of the effective area of spraying 0,15 m, we will have: for sprays  $\alpha_{\phi} = 80^{\circ}$  the minimum optimum height of installation of a bar is 0,6 m – amplitude  $\pm 0,045$  m; for sprayers with  $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$  – 0,43 m  $\pm 0,04$  m.

When processing row crops with rows of 0,7 m and an effective spraying area of 0,3 m, we will have: for sprays  $\alpha_{\phi} = 80^{\circ}$  the minimum optimum height of installation of a bar is 0,6 m – amplitude  $\pm 0,08$  m; for sprayers with  $\alpha_{\phi} = 120^{\circ}$  – 0,6 m.

**vertical oscillations, bar, spray, width of row spacing, working solution.**

*Одержано (Received) 26.02.2022*

*Прорецензовано (Reviewed) 14.03.2022*

*Прийнято до друку (Approved) 31.03.2022*

**УДК. 633.854.54: 338.43** DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).1.226-235](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).1.226-235)

**В.Ф. Дідух**, проф., д-р техн. наук, **В.В. Буснюк**, асп., **М.В. Бодак**, асп.

*Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна*

*e-mail: Didukh\_V@ukr.net*

## Обґрунтування обладнання для збирання льону олійного зернозбиральним комбайном

В статті проводиться аналіз технологій збирання льону олійного з використанням зернозбирального комбайна. Тривалі дослідження у Луцькому НТУ вказують на можливість застосування брання стеблостою льону олійного. Запропонована конструкція широкозахватного бранального апарату для даного способу з врахуванням сучасної методології створення сільськогосподарської техніки. Визначено необхідні робочі органи, які забезпечують формування потоку групи стебел і передачу їх на жатку зернозбирального комбайна. Встановлена умова нерозривності потоку групи стебел для забезпечення рівномірної подачі у молотильний апарат для якісного відділення насіння.

**льон олійний, брання, обладнання, комбайн, стеблостій, група стебел, потік, насіння, сили, вальці, опорна поверхня**