

**Міністерство освіти і науки України  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
Академія Прикладних Наук**



# **МАТЕРІАЛИ**

**Всеукраїнської  
науково-практичної конференції  
«Досягнення та перспективи галузі  
виробництва, переробки і зберігання  
сільськогосподарської продукції»**



**Кропивницький, 22-23 квітня 2026 р.**

**Міністерство освіти і науки України  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
Академія Прикладних Наук**

# **МАТЕРІАЛИ**

**Всеукраїнської  
науково-практичної конференції  
«Досягнення та перспективи галузі  
виробництва, переробки і зберігання  
сільськогосподарської продукції»**

**Кропивницький, 22-23 квітня 2026 р.**

Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції». Кропивницький: ЦНТУ. 2026. – 102 с.

В матеріалах конференції викладені питання конструювання, виробництва техніки в системі ресурсозберігаючих технологій, а також моделювання та механіко-технологічні проблеми вдосконалення робочих процесів машин. Наведені результати досліджень в галузі технологій виробництва і експлуатації сільськогосподарських машин та забезпечення їх надійності і довговічності.

Викладені практичні рекомендації по використанню результатів досліджень і дослідно-конструкторських розробок в сільськогосподарській і інших галузях машинобудування.

Даний збірник є виданням, в якому публікуються основні результати наукових досліджень вчених, аспірантів, здобувачів, студентів – учасників Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції», 22-23 квітня 2026 року.

Збірник розрахований на наукових і інженерно-технічних робітників науково-дослідних інститутів, ВНЗ, конструкторських організацій і промислових підприємств.

Відповідальний редактор: Сало В.М., д.т.н., проф.

Відповідальний секретар: Лузанг П.Г., к.т.н., доц.

Редакційна колегія: Сало В.М., д.т.н., проф.; Васильковський О.М., к.т.н., проф.; Лузанг П.Г., к.т.н., доц.; Петренко Д.І., к.т.н., доц.; Лещенко С.М., к.т.н., доц.; Мороз М.М., д.т.н., проф.; Кирчук Р.В., к.т.н., проф.; Марченко Д.Д., к.т.н., доц.; Біловод О.І., к.т.н., доц.; Лісовий І.О., к.т.н., доц.

Адреса редакційної колегії: 25006, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8, Центральноукраїнський національний технічний університет, тел.: 390-581, 390-472, 55-10-49.

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації.

Редакція може публікувати матеріали в порядку обговорення, не поділяючи точки зору автора.

## ЗМІСТ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ПРИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПІДВЕДЕННІ ЕНЕРГІЇ Б.І. Котов, С.П. Степаненко, Р.А. Калініченко .....	7
АЛГОРИТМ ОПТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ ФРАКЦІОНУВАННЯ ЗЕРНА С.П. Степаненко .....	9
АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА С.П. Степаненко, В.О. Швидя .....	11
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗДІЛЕННЯ ЗЕРНА НА ПНЕВМОВІДЦЕНТРОВОМУ СЕПАРАТОРІ С.П. Степаненко, І.С. Попадюк, В.А. Мельник .....	13
ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ МАСИ МАТЕРІАЛУ СОНЯШНИКА НА БАРАБАНИ ЗАКРИТОГО ТИПУ СЕЛЕКЦІЙНОГО КОМБАЙНА С.П. Степаненко, А.Я. Кузьмич, М.М. Анеляк .....	16
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВІБРОПНЕВМО-ІМПУЛЬСНОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ НАСІННЯ ЗА ГУСТИНОЮ С.П. Степаненко, Д.А. Волик .....	19
ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ НАРАЛЬНИКА КОМБІНОВАНОГО СООШНИКА ПРОСАПНОЇ СІВАЛКИ Д.Ю. Артеменко, К.А. Мазурцова .....	21
ВИРОЩУВАННЯ КАВУНІВ В УМОВАХ ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ К. Васильковська, С. Дар'єва .....	24
ВПЛИВ СТИМУЛЯТОРІВ РОСТУ НА ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР О. Андрейченко, А. Александрова .....	26
ВИРОЩУВАННЯ ВИНОГРАДУ ВИННИХ СОРТІВ В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ К. Васильковська, Д. Борисенко .....	28
МЕХАНІЗАЦІЯ ВИРОЩУВАННЯ КОРМОВИХ КУЛЬТУР: ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ І. Сисоліна, В. Зюзь, О. Усатенко .....	29
ВПЛИВ РЕЖИМІВ РОБОТИ МОЛОТИЛЬНОГО АПАРАТА НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КОМБАЙНА І. Сисоліна, А. Соломаха .....	30
НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ СОШНИКА ПРОСАПНОЇ СІВАЛКИ І. Сисоліна, Я. Манохин, В. Осадчий .....	32
ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КОТУШКОВОГО АПАРАТА ДЛЯ ВИСІВУ ЗЕРНОВОЮ СІВАЛКОЮ І. Сисоліна, В. Сарданов .....	33
ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОСІВНОЇ ТЕХНІКИ І. Сисоліна, С. Пластун, М. Смиженко .....	35
УДОСКОНАЛЕННЯ СТІЛЧАСТОЇ ЛАПИ КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ МІЖРЯДНОГО ОБРОБІТКУ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР Б.С. Вербицький, П.Г. Лузан .....	36
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КАСКАДНОГО ЩІЛИННОГО РЕШЕТА ЗЕРНООЧИСНОЇ МАШИНИ П.Г. Лузан, В.Л. Доляничук, О.С. Чучупака .....	38
ВПЛИВ ДИНАМІКИ РУХУ КУЛЬТИВАТОРА НА ЯКІСТЬ ОБРОБІТКУ О.Р. Лузан .....	41
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КАСКАДНОГО СТЕРЖНЬОВОГО РЕШЕТА	

ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ А.Є. Грінчук, П.Г. Лузан .....	44
УДОСКОНАЛЕННЯ ТУРБІННОГО ПНЕВМОСЕПАРАТОРА З ОБҐРУНТУВАННЯМ ЙОГО ПАРАМЕТРІВ А. Бондар, Д. Петренко .....	47
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СКАЛЬПЕРАТОРНОГО СЕПАРАТОРА З ОБҐРУНТУВАННЯМ ЙОГО ПАРАМЕТРІВ Є. Мельник, Д. Петренко .....	50
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КАСКАДНО-РЕШІТНОГО СЕПАРАТОРА З ОБҐРУНТУВАННЯМ ЙОГО ПАРАМЕТРІВ Т. Шепілова, Д. Петренко .....	53
АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ОЧИСНИКІВ ПОВІТРЯ ДЛЯ АСПІРАЦІЙНИХ СИСТЕМ М.О. Юрченко, Є.М. Кобан, О.М. Васильковський .....	56
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИКОЧУЮЧОГО КОТКА СЕКЦІЇ ОВОЧЕВОЇ СІВАЛКИ В.М. Незамай .....	59
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОГО ЗАГОРТАЧА ПРОСАПНОЇ СІВАЛКИ К.Д. Коломієць .....	61
ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЯГОВОГО ОПОРУ УДОСКОНАЛЕНОГО СОШНИКА ПРОСАПНОЇ СІВАЛКИ В.В. Гарькавий .....	64
ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО КУТА ВСТАНОВЛЕННЯ НОЖІВ ПОДРІБНЮВАЛЬНОГО БАРАБАНА КУКУРУДЗОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА В.В. Геращенко, Ю.В. Мачок .....	68
ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОТОРНОГО ОЧИСНИКА КОПАЧА ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ А.В. Місюра, Ю.В. Мачок .....	69
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОВШОВОЇ НОРІЇ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ЇЇ ТРАНСПОРТУЮЧОГО ОРГАНУ В.О. Нечиталюк, Ю.В. Мачок .....	71
ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОРОХУ СОНЯШНИКУ Крячко А.М., Кобан Є.М., Васильковський О.М. ....	72
ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПРОСАПНОГО КУЛЬТИВАТОРА М.М. Кобрин, С.М. Лещенко .....	75
ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗЕРНООЧИСНОЇ МАШИНИ МПО-50 В.В. Теличенко, М.О. Васильковський, С.М. Лещенко .....	77
ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНЕ ТА ІНЖЕНЕРНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЗМІН НОЖІВ КОТКІВ БЕЗПРИВОДНОГО МУЛЬЧУВАЧА РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ Т.В. Червоний, О.О. Старкін, Р.В. Мандзюк, Д.В. Богатирьов .....	80
ІНТЕГРАЦІЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЛОГІСТИКУ ЯК ДОМІНАНТА СТРАТЕГІЧНОГО ОНОВЛЕННЯ АГРАРНИХ СУБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРЮВАННЯ О. Терзов, О. Юрченко .....	83
ОЦІНКА ВПЛИВУ СПОСОБУ ВВЕДЕННЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ НА ОПІР ПНЕВМОСЕПАРАЦІЙНОГО КАНАЛУ О.В. Нестеренко, Ю.В. Сулима .....	85
УДОСКОНАЛЕННЯ РОТАЦІЙНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ОБРОБІТКУ	

ЗАХИСНИХ ЗОН ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР О. Нестеренко, Д. Апостолов .....	86
ВПЛИВ ФОРМИ СТІЙКИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЧИЗЕЛЬНОГО ПЛУГА НА ЗОНИ ДЕФОРМАЦІЇ ҐРУНТУ ТА ОПІР В.А. Мельниченко, І.О. Грінченко, С.М. Лещенко .....	88
УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ОДНОВАЛЬНОГО ЛОПАТЕВОГО ЗМІШУВАЧА КОРМІВ ДЛЯ ВРХ Р.В. Кісільов, С.С. Галан .....	91
ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВИСІВНОГО АПАРАТА БУРЯКОВОЇ СІВАЛКИ ТОЧНОГО ВИСІВУ Я. Долгіх, С. Мороз .....	93
ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМОСИСТЕМИ УНІВЕРСАЛЬНОЇ СІВАЛКИ О. Токарь, С. Мороз .....	95
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЖИВИЛЬНОГО АПАРАТА ПОДРІБНЮВАЧА КОРМОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА М. Білаш, С. Мороз .....	98
ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ЗЕРНОВОЇ ЧАСТКИ ПО ПЕРЕТИНКАХ СТРУННОГО РЕШЕТА С. Мороз .....	100

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ПРИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПІДВЕДЕННІ ЕНЕРГІЇ

**Котов Б.І.**<sup>1</sup>, *д.т.н., проф.*,  
**Степаненко С.П.**<sup>2</sup>, *д.т.н., с.н.с.*,  
**Калініченко Р.А.**<sup>3</sup>, *к.т.н., доцент*

<sup>1</sup>*Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»;*

<sup>2</sup>*Інститут механіки та автоматики АПВ НААН;*

<sup>3</sup>*ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»;*

*e-mail: [Stepanenko\\_s@ukr.net](mailto:Stepanenko_s@ukr.net)*

Сучасні технології сушіння зернових матеріалів орієнтовані на зниження енергетичних витрат та підвищення інтенсивності процесу. Перспективним напрямом є використання стрічкових сушильних установок з електромагнітним підведенням енергії, де матеріал обробляється тонким шаром. Особливістю такого способу є об'ємний характер підведення енергії, що принципово відрізняє його від традиційних конвективних методів.

Фізична схема процесу передбачає переміщення матеріалу зі швидкістю  $w$  по стрічці, тоді як повітря рухається зі швидкістю  $v$  у каналі висотою  $\delta_b$ . При цьому електромагнітне випромінювання практично не поглинається повітрям, а повністю поглинається шаром матеріалу товщиною  $\delta_p$ , який виступає як об'ємне джерело теплоти.

У зоні дії електромагнітного випромінювання енергетичний баланс описується рівнянням

$$c\rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} = \operatorname{div}(\lambda \cdot \operatorname{grad}(t)) + r\gamma\rho_0 \frac{\partial U}{\partial \tau} + N_E.$$

де  $N_E$  - об'ємна потужність внутрішніх джерел теплоти.

Кінетика вологопереносу визначається рівняннями:

$$\frac{\partial U_p}{\partial \tau} = \operatorname{div}(D_p \cdot \operatorname{grad}(U_p))$$

$$\frac{\partial U_k}{\partial \tau} = \operatorname{div}(D_T \cdot \operatorname{grad}(T) + D_B \cdot \operatorname{grad}(P_k))$$

Ці рівняння враховують конвективну, термічну та бародифузійну складові масопереносу.

Сушильна камера розбивається на  $n$  зон:

$$\sum_{i=1}^n N_i = N_E.$$

Для кожної зони формується локальний баланс тепла та маси.

Теплообмін між матеріалом і повітрям:

$$Q_V = L_B(i_0 - i_1) = \alpha_B F_i (t_p - t_V); F_i = l_i b_i.$$

Потік вологи:

$$J_w = L_B(X_0 - X_1).$$

Рівняння гідродинаміки повітря:

$$\rho_v v_v \frac{\partial v_v}{\partial x} = \rho_v g - \frac{\partial P_v}{\partial x} + \mu_v \frac{\partial^2 v_v}{\partial x^2}$$

У шарі матеріалу використовується рівняння теплопровідності:

$$\frac{\partial t_p}{\partial x} = \alpha_p \left( \frac{\partial^2 t_p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_p}{\partial y^2} \right)$$

Загальний енергетичний баланс:

$$G_C c_{pc} (\Delta t_{pi}) + G_U c_{pu} (\Delta t_{pi}) + r\gamma G_U + L_B (\Delta i_B) + Q_L + N_E b \delta_p l_i = 0$$

Сумарний потік вологи:

$$J = J_K + J_T + J_B = \beta_K F_i \Delta P_p + \beta_T F_{ki} \Delta P_T + \beta_B F_{bi} \Delta P_B$$

Це рівняння враховує всі основні механізми переносу вологи.

Ключовим параметром є число енергетичного впливу:

$$Bu = N_E (r\gamma G_U)^{-1}$$

Розрахунок коефіцієнтів масовіддачі  $\beta$  проводиться на основі рівнянь в узагальнених змінних, як залежність числа Шервуда від чисел Рейнольдса і Шмідта. Для умов сушіння в нерухомому шарі можна рекомендувати рівняння в узагальнених змінних:

$$Sh = A(Re)^n (Sc)^m (Bu)^k.$$

Для стрічкових сушарок, як стверджує Бурдо О.Г., більш перспективним може бути узагальнення з використанням масообмінного числа Стантона:

$$St_m \equiv \frac{\beta}{w} = A(Re)^h (Sc)^p (Bu)^q.$$

Розроблено комплексну математичну модель сушіння з урахуванням електромагнітного підведення енергії. Встановлено визначальну роль внутрішніх джерел теплоти  $N_E$  у формуванні температурного поля. Доведено, що ключовим критерієм ефективності є число  $Bu$ . Оптимальний режим сушіння досягається при  $Bu \approx 0.9-1.1$ . Використання електромагнітного підведення енергії дозволяє знизити енергетичні витрати та інтенсифікувати процес масопереносу.

## Список використаних джерел

1. Kotov B., Stepanenko S., Tsurkan O., Hryshchenko V., Pansyr Y., Garasymchuk I., Spirin A., & Kupchuk I. (2023) Fractioning of grain materials in the vertical ring air channel during electric field imposition, *Przegląd Elektrotechniczny* 1 (2023), 100-104. <https://doi.org/10.15199/48.2023.01.19>
2. Kaletnik H., Solona O., Kotov B., Stepanenko S., Shvidia V., Kalinichenko R., Tverdokhlib I., & Polievoda Y. (2024) The usage of the elemental base of the vibratory mill with the spatial circulation movement of material to create drying rig. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2024. Vol. 100, № 3. P. 232-237. <https://doi.org/10.15199/48.2024.03.41>
3. B. Kotov, R. Kalinichenko, S. Stepanenko, V. Lukach, V. Hryshchenko, A. Kuzmych, Y. Pansyr, I. Garasymchuk, & V. Vasylyuk. (2025) Implementation of energy-saving modes for electro-radiation drying of oil-containing material using automation tools. *Informatyka, Automatyka, Pomiarы W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, 15(3), 29–32. <https://doi.org/10.35784/iapgos.6986>
4. V. Shvydia, S. Stepanenko, A. Kuzmych, & I. Popadiuk. (2025) Justification of vacuum parameters for drying wet seed. *ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT*. Proceedings, Volume 24, May 21-23, 2025 Jelgava, Latvia. p. 1112-1118. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2025.24.TF284>

5. Shvidia, V.O., Stepanenko, S.P., Kotov B.I., Spirin A.V., & Kucheruk V.Yu. (2022) Influence of vacuum on drying of seeds of grain crops Herald of Karaganda University. "Physics" series. № 3(107)/2022– p. 90-98. <https://doi.org/10.31489/2022PH3/90-98>
6. B. Kotov, R. Kalinichenko, Y. Pantsyr, & S. Stepanenko. (2023) Mathematical modeling of the grain cooling process in installations with radial air supply. Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agroengineering Research, 2023 (27), 101–107. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.101>
7. S. Stepanenko, B. Kotov, A. Kuzmych, M. Aneliak, D. Volyk, V. Melnyk, & R. Kalinichenko. (2025) Mathematical modeling of grain movement dynamics in the processes of air-centrifugal separation of grain material. Journal of Central European Agriculture, 2025, 26(2), p.383-393. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/26.2.4301>
8. Stepanenko, S., Kuzmych, A., Borys, A., Dnes, V., Kharchenko, S., Rogovskii, I., Golub, G., Berezovyi, M., & Lutsiuk, A. (2025). Substantiating the YOLO11 architecture for determining the fractional composition of winter wheat grain mixtures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(2) (136), 81–92. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.338124>

УДК 633.1:681.78

## АЛГОРИТМ ОПТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ ФРАКЦІОНУВАННЯ ЗЕРНА

Степаненко С.П., д.т.н., с.н.с.

*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України*  
e-mail: [Stepanenko\\_s@ukr.net](mailto:Stepanenko_s@ukr.net)

Сучасний розвиток агропромислового комплексу потребує переходу від традиційних механічних методів сепарації до інтелектуальних систем управління технологічними процесами. Одним із критичних етапів післязбиральної обробки є фракціонування зерна, від точності якого залежить насіннева придатність та ринкова вартість продукції. Впровадження систем оптичного контролю дозволяє в реальному часі аналізувати морфологічні ознаки зернового потоку, проте ефективність таких систем безпосередньо залежить від математичного забезпечення та швидкодії алгоритмів розпізнавання.

Існуючі методи контролю якості фракціонування часто базуються на дискретному лабораторному аналізі, що призводить до значних часових затримок і неможливості оперативної корекції режимів роботи очисних машин. Ключова проблема полягає у відсутності адаптивних алгоритмів, які здатні поєднувати високу точність ідентифікації домішок та дефектів зерна з динамічною зміною параметрів завантаження сепараторів. Це створює технологічний розрив між потенційними можливостями оптичних сенсорів та реальною якістю розділення зернової суміші на фракції в умовах виробництва.

Метод базується на використанні комп'ютерного зору для потокового аналізу характеристик зерна. Алгоритм забезпечує автоматизацію контролю якості розділення зернової суміші на фракції в режимі реального часу.

Етапи реалізації алгоритму.

1. Формування оптичної сцени тобто створення стабільних умов зйомки. Використовується рівномірне LED-освітлення (кут 30–60°), матовий контрастний фон та ізоляція від зовнішнього світла для мінімізації відблисків і тіней.

2. Реєстрація зображення вимагає застосування промислових камер (інтерфейси USB 3.0/GigE) з роздільною здатністю 2–12 Мп. Експозиція встановлюється на мінімумі (0,1–2 мс) для усунення розмиття (*motion blur*) рухомого потоку.

3. Попередня обробка тобто очищення сигналу від шумів (фільтри Гауса та медіанна фільтрація), нормалізація освітлення та перетворення кольорового простору (RGB → Grayscale/HSV) для прискорення обчислень.

4. Сегментація об'єктів базується на відокремленні зерна від фону за допомогою методу Оцу та морфологічних операцій (ерозія, дилатація). Контури виділяються детектором Canny, після чого кожній зернині присвоюється унікальний ідентифікатор (*Connected Component Labeling*).

Для кожної сегментованої одиниці обчислюється масив параметрів: Геометричні: площа проєкції, довжина, ширина, периметр; Морфологічні: коефіцієнт округлості, компактність, співвідношення осей; Оптичні: колір, яскравість, текстура.

Класифікація здійснюється порівнянням отриманих ознак із еталонними значеннями фракцій (використовуючи порогові методи, SVM або нейронні мережі).

На основі статистичного аналізу (кількість зернин, дисперсія параметрів) розраховуються показники якості процесу: чистота отриманої фракції; коефіцієнт розділення та втрат.

В результаті отримуємо сформований інтегральний показник якості, який конвертується у керуючий сигнал для автоматичного регулювання режимів роботи сепаратора (зміна швидкості подачі, налаштування повітряних потоків тощо), що в свою чергу впливає на процес фракціонування зерна.

Алгоритм передбачає обов'язкові етапи калібрування (масштабування пікселів у мм) та валідацію результатів шляхом порівняння з даними контрольних лабораторних розсівів.

Запропонований алгоритм дозволяє перейти від періодичного ручного контролю до безперервного автоматизованого моніторингу, що мінімізує вплив людського фактора та підвищує технологічну ефективність фракціонування.

*Дослідження виконано в рамках проекту № 2025.02/0002, що фінансується Національним фондом досліджень України (грант Президента України докторам наук для проведення наукових досліджень і розробок).*

## **Список використаних джерел:**

1. Степаненко С.П., Кузьмич А.Я., Борис А.М., Днесь В.І., Швидя В.О. Аналіз безконтактних методів контролю геометричних параметрів зернових матеріалів. *Механіка та автоматика агропромислового виробництва : загальнодержавний збірник / ІМА АПВ НААН. Глевах, 2024. Вип. 5 (119). - С. 105-116. <https://doi.org/10.37204/2786-7765-2024-2-11>*
2. Ruotong, M.U., Liang, W.U. (2023). A research review of global grain harvest losses. *Resources Science*, 45(9): 1789–1800.
3. Stepanenko S., Kuzmych A., Kharchenko S., Borys A., Dnes V., Volyk D., & Kalinichenko R. (2025). A machine vision approach for grain quality control during separation. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 12(1), P. E9–E17. [https://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(1\).e2](https://doi.org/10.21272/jes.2025.12(1).e2)
4. Ma, N., Su, Y., Yang, L., Li, Z., Yan, H. (2024). Wheat Seed Detection and Counting Method Based on Improved YOLOv8 Model. *Sensors*, 24(5), 1654.
5. Stepanenko S., Shvydia V., Dnes V., Kuzmych A., Kharchenko S., Borys A., Kalinichenko R. (2025). Smartphone-based machine vision for grain quality assessment. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*, Vol. 12(2), pp. E14–E21. [http://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(2\).e2](http://doi.org/10.21272/jes.2025.12(2).e2)
6. Stepanenko, S., Kuzmych, A., Borys, A., Dnes, V., Kharchenko, S., Rogovskii, I., Golub, G., Berezovyi, M., & Lutsiuk, A. (2025). Substantiating the YOLO11 architecture for determining the fractional composition of winter wheat grain mixtures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(2) (136), 81–92. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.338124>

7. Кузьмич А.Я., Степаненко С.П., Волик Д.А., Попадюк І.С. Створення бази даних для системи аналізу та розпізнавання зернових сумішей озимої пшениці з використанням машинного зору. *Механіка та автоматика агропромислового виробництва : загальнодержавний збірник / ІМА АПВ НААН. Глеваха, 2025. Вип. 6 (120). - С. 214-224. <https://doi.org/10.37204/2786-7765-2025-1-23>*
8. Степаненко С.П., Днесь В.І., Борис А.М., Кузьмич А.Я., Волик Д.А. Алгоритм цифрової ідентифікації зернових матеріалів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 54. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – С. 153-159. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.153-159>*

УДК 631.362

## АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

Степаненко С.П., *д.т.н., с.н.с.,*  
Швидя В.О., *к.т.н., ст.дослідник*

*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії  
аграрних наук України  
e-mail: [Stepanenko\\_s@ukr.net](mailto:Stepanenko_s@ukr.net)*

В основі дослідження лежить перехід від повної структурної схеми динаміки до спрощеного математичного опису. Функціонування теплогенератора розглядається як динамічна система, де основними керуючими діями є витрата палива ( $B$ ) та подача повітря ( $Lv$ ). Математична модель описує зміну температури стінок теплообмінника та теплоносія як перехідний процес, тривалість якого залежить від інерційності конструкції та швидкості повітряного потоку. Об'єктом дослідження є теплогенератор змішаного типу, адаптований для спалювання рослинних залишків (зокрема, соломи). Установка складається з камери згоряння об'ємом  $0,7 \text{ м}^3$  та теплообмінника об'ємом  $0,25 \text{ м}^3$ . Теплообмінний блок виконаний із корозійностійкого алюмінієвого сплаву товщиною  $2 \text{ мм}$ , що забезпечує високу теплопровідність та швидкий вихід на робочий режим. Загальна площа поверхні теплообміну становить  $2,18 \text{ м}^2$ .

Це дозволяє використовувати даний теплогенератор в автоматизованих системах сушіння зерна, де критично важливим є дотримання заданого температурного графіка для збереження якості продукції.

Для практичного застосування автори знехтували інертністю стінок як проміжними параметрами, що дозволило звести опис до системи диференціальних рівнянь теплового балансу в нестационарному режимі:

$$m_1 c_1 \frac{dt_2}{d\tau} = Q_H^p q_T \eta_T + G_{nc} c_{nc} (t_1 - t_2) - kF(\bar{t}_e - \bar{t}_v)$$

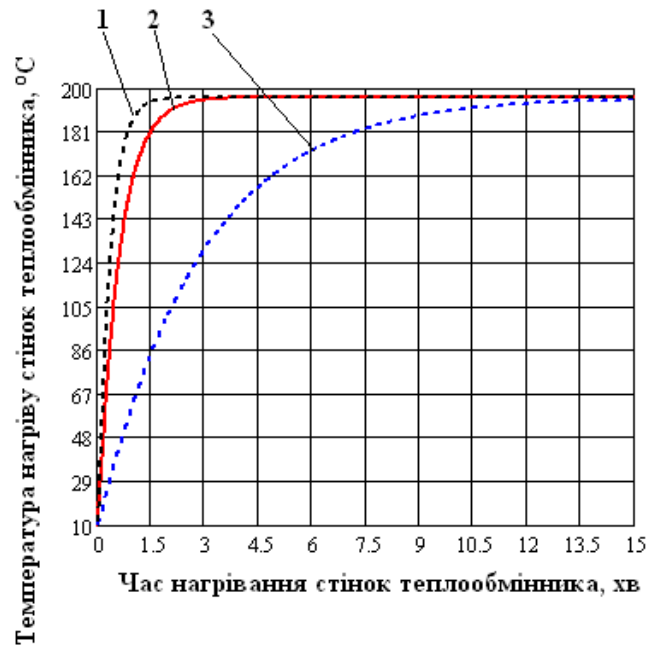
$$m_2 c_2 \frac{dt_{v2}}{d\tau} = G_v c_p (t_{v1} - t_{v2}) + kF(\bar{t}_e - \bar{t}_v)$$

Шляхом операційного числення отримана система була розв'язана відносно температур повітря в камері згоряння та в каналі нагрівання. Це дало змогу отримати аналітичні залежності у вигляді:

$$A \frac{d^2 t_2}{d\tau^2} + B \frac{dt_2}{d\tau} + Ct_2 = D_1,$$

$$A \frac{d^2 t_{v2}}{d\tau^2} + B \frac{dt_{v2}}{d\tau} + Ct_{v2} = D_2$$

На основі отриманих розв'язків проведено чисельне моделювання для теплогенератора на соломі (поверхня теплообміну  $2,18 \text{ м}^2$ ).



1 –  $18 \text{ м}^3/\text{кг}$ ; 2 –  $10 \text{ м}^3/\text{кг}$ ; 3 –  $2 \text{ м}^3/\text{кг}$

Рис. 1. Кінетика нагріву стінок теплообмінника при різній подачі повітря

Аналіз кінетики нагріву показує, що при збільшенні подачі повітря (від  $2$  до  $18 \text{ м}^3/\text{кг}$ ) суттєво скорочується тривалість перехідного процесу. Це пояснюється зростанням коефіцієнта тепловіддачі та інтенсифікацією конвективного обміну. Характер залежності є чітко експоненціальним, що дозволяє точно прогнозувати час виходу установки на робочий режим.

Встановлено, що стабілізація температурних показників теплообмінника відбувається за експоненціальним законом, що свідчить про стійкість системи до зовнішніх збурень. Виявлено фундаментальну відмінність у впливі керуючих факторів: витрата повітря є інструментом регулювання інерційності (швидкості реакції системи), тоді як подача палива є інструментом регулювання енергетичного рівня (амплітуди температури).

Отримана модель з використанням загального ККД та коефіцієнта теплопередачі є адекватною для інженерних розрахунків. Вона дозволяє оптимізувати конструктивні параметри (товщину стінок, площу поверхні) на етапі проектування енергоощадних теплогенераторів для агропромислового комплексу.

### Список використаних джерел

1. Котов Б. І., Грищенко В. О., Степаненко С. П., Панцир Ю. І., Герасимчук І. Д. (2021). Математична модель динаміки системи утилізації теплоти вентиляційних викидів із проміжним теплоносієм як об'єкта автоматизації. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Випуск 14 (113). DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2021-14-9>
2. Бошкова И. Л., Георгиев Е. В., Колесниченко Н. А. (2014). Математические модели теплопереноса в движущемся плотном слое при микроволново-конвективном и микроволновом нагреве. *Наукові праці*

[http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np\\_2014\\_45%281%29\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2014_45%281%29_12)

3. Burdo, O., Bezbah I., Kepin N., Zykov A., Yarovyi I., Gavrilov A., Bandura V., Mazurenko I. (2019). Studying the operation of innovative equipment for thermomechanical treatment and dehydration of food raw materials. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 5/11 (101), 24 – 32. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.178937>
4. Kotov B., Stepanenko S., Tsurkan O., Hryshchenko V., Pantsyr Y., Garasymchuk I., Spirin A., & Kupchuk I. (2023) Fractioning of grain materials in the vertical ring air channel during electric field imposition, Przegląd Elektrotechniczny 1 (2023), 100-104. <https://doi.org/10.15199/48.2023.01.19>
5. Kaletnik H., Solona O., Kotov B., Stepanenko S., Shvidia V., Kalinichenko R., Tverdokhlib I., & Polievoda Y. (2024) The usage of the elemental base of the vibratory mill with the spatial circulation movement of material to create drying rig. Przegląd Elektrotechniczny. 2024. Vol. 100, № 3. P. 232-237. <https://doi.org/10.15199/48.2024.03.41>
6. B. Kotov, R. Kalinichenko, S. Stepanenko, V. Lukach, V. Hryshchenko, A. Kuzmych, Y. Pantsyr, I. Garasymchuk, & V. Vasylyuk. (2025) Implementation of energy-saving modes for electro-radiation drying of oil-containing material using automation tools. Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska, 15(3), 29–32. <https://doi.org/10.35784/iapgos.6986>
7. V. Shvydia, S. Stepanenko, A. Kuzmych, & I. Popadiuk. (2025) Justification of vacuum parameters for drying wet seed. ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT. Proceedings, Volume 24, May 21-23, 2025 Jelgava, Latvia. p. 1112-1118. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2025.24.TF284>
8. Shvidia, V.O., Stepanenko, S.P., Kotov B.I., Spirin A.V., & Kucheruk V.Yu. (2022) Influence of vacuum on drying of seeds of grain crops Herald of Karaganda University. "Physics" series. № 3(107)/2022– p. 90-98. <https://doi.org/10.31489/2022PH3/90-98>
9. B. Kotov, R. Kalinichenko, Y. Pantsyr, & S. Stepanenko. (2023) Mathematical modeling of the grain cooling process in installations with radial air supply. Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agroengineering Research, 2023 (27), 101–107. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.101>

УДК 631.362

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗДІЛЕННЯ ЗЕРНА НА ПНЕВМОВІДЦЕНТРОВОМУ СЕПАРАТОРІ

**Степаненко С.П., д.т.н., с.н.с.,  
Попадюк І.С., наук.співробітник  
Мельник В.А., аспірант**

*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України  
e-mail: [Stepanenko\\_s@ukr.net](mailto:Stepanenko_s@ukr.net)*

Процес розділення насіння за густиною у пневмовіброцентрифугах базується на комплексній дії вібраційних, аеродинамічних і відцентрових сил, що забезпечують інтенсивне розшарування зернової суміші. Теоретичний опис процесу дозволяє встановити залежності між якісними показниками сепарації та конструкційно-режимними параметрами робочого органу.

В результаті аналітичних перетворень отримано рівняння технологічного процесу:

$$C_L = C_p B_T e^{-pL/S_f},$$

де  $C_L$  - вміст легких домішок у важкій фракції;  $C_p$  - їх початковий вміст;  $B_T$  - вихід важкої фракції;  $p$  – імовірність спливання частинки;  $S_f$  – переміщення за цикл;  $L$  – довжина сепарувальної поверхні.

На основі цього отримано вираз для визначення мінімальної довжини робочої поверхні:

$$L_{min} = \frac{S_f}{p} \ln \frac{C_L B_\tau}{C_0}$$

Встановлено, що збільшення вмісту домішок або виходу важкої фракції потребує збільшення довжини сепарації.

У результаті багатофакторного експерименту отримано регресійні залежності другого порядку, що описують процес сепарації. Найбільш важливою є залежність чистоти важкої фракції:

$$\begin{aligned} y = & 96,3281 + 0,8303x_1 - 1,0270x_2 + 0,5460x_3 - 0,1530x_4 + \\ & + 0,4950x_5 + 0,6334x_1x_2 + 0,1148x_1x_3 - 0,7038x_1x_4 + \\ & + 0,4911x_1x_5 - 0,1224x_2x_3 + 0,510x_2x_4 + 0,050x_2x_5 + \\ & + 0,6530x_3x_4 + 0,9890x_3x_5 + 1,020x_4x_5 - 0,6777x_1^2 - \\ & - 0,7032x_2^2 - 0,5502x_3^2 - 1,7997x_4^2 - 1,7742x_5^2 \end{aligned}$$

Після декодування факторів отримано рівняння у натуральному вигляді залежності Ч чистоти від впливових факторів:

$$\begin{aligned} Ч = & 87,8766 - 0,7974q + 0,2730\omega_1 - 8,3710V_b - \\ & - 23,540l - 88,580h + 0,0345q\omega_1 - 3,4470ql + \\ & + 48,80qh - 0,1310\omega_1V_b + 0,2190\omega_1l + \\ & + 28,980V_b l + 658,70V_b h + 2719,30lh - \\ & - 1,9350q^2 - 7,313 \cdot 10^{-4} \omega_1^2 - 6,10V_b^2 - 319,80l^2 - 70967,20h^2 \end{aligned}$$

Аналіз коефіцієнтів показує, що найбільший вплив мають: швидкість повітряного потоку  $V_b$ , геометрія конічного решета  $l, h$ ; питоме навантаження  $q$ .

Адекватність моделей підтверджена критеріями Фішера ( $P=0,95$ ) та Стьюдента ( $\alpha=0,05$ ), що свідчить про достовірність отриманих результатів.

Розв'язання системи рівнянь першого порядку дало оптимальні значення факторів:

$$x_1 = 0,4329, x_2 = -0,6038, x_3 = 0,6955, x_4 = -0,0111, x_5 = 0,1045.$$

У натуральному вигляді:  $q = 1,72 \text{ кг/м}^2$ ;  $\omega_1 = 91,6 \text{ рад/с}$ ;  $V_b = 1,41 \text{ м/с}$ ;  $l = 0,074 \text{ м}$ ;  $h = 0,0055 \text{ м}$ .

За даних параметрів досягається  $Ч = 97,08\%$ .

Встановлені раціональні діапазони параметрів процесу пневмовідцентрового сепарування:

$$q = 1,65-1,75 \text{ кг/м}^2; \omega_1 = 85-95 \text{ рад/с}; V_b = 1,35-1,45 \text{ м/с}; l = 0,072-0,075 \text{ м}; h = 0,005-0,006 \text{ м}$$

Довжина сепарувальної поверхні:  $L = 0,71-0,78 \text{ м}$ .

На основі встановлених рівнянь побудовано двовимірну поверхню відгуку, рис. 1. Цей графік показує наявність екстремуму, що підтверджує доцільність оптимізації параметрів.

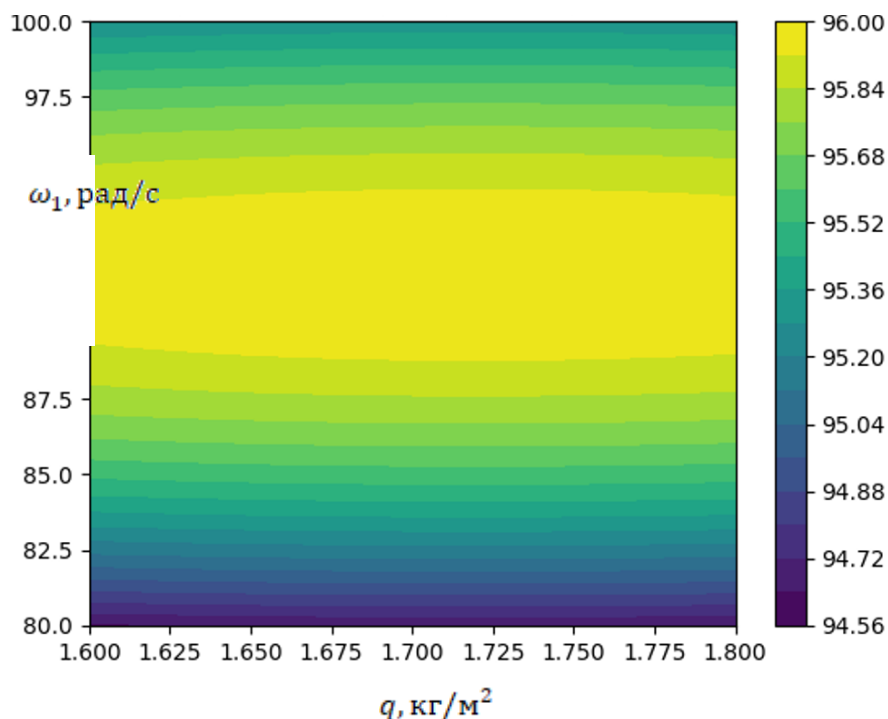


Рис. 1. Двовимірна поверхня відгуку

Розроблено аналітичну модель процесу сепарації, що дозволяє визначити довжину робочої поверхні залежно від якості матеріалу. Отримано адекватні регресійні моделі другого порядку для опису процесу. Встановлено оптимальні параметри роботи, при яких досягається чистота  $\approx 97\%$ . Доведено, що ключовими факторами є швидкість повітря, подача та геометрія робочої поверхні. Показано, що використання вібровідцентрових сепараторів дозволяє інтенсифікувати процес та підвищити ефективність розділення.

### Список використаних джерел

1. Сисолін П., Петренко М., Свирень М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 3: Машини та обладнання для переробки зерна та насіння / ред. М. Чорновол. Київ : Фенікс, 2007. 432 с.
2. S. Stepanenko, B. Kotov, A. Kuzmych, M. Aneliak, D. Volyk, V. Melnyk, & R. Kalinichenko. (2025) Mathematical modeling of grain movement dynamics in the processes of air-centrifugal separation of grain material. *Journal of Central European Agriculture*, 2025, 26(2), p.383-393. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/26.2.4301>
3. Степаненко С.П., Кузьмич А.Я., Швидя В.О., Мельник В.А., Тіманов В.В. (2025). Обґрунтування параметрів процесу поділу зернового матеріалу на конічному решеті. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник*. Вип. 55. – Кропивницький: ЦНТУ, 2025. – С. 97-111. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.97-111>
4. Степаненко, С.П., Никифоров А.О. (2024). Дослідження впливу знакозмінного повітряного потоку на якість віброфрикційного розділення дрібнонасінневих матеріалів. *Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів»*. ДБТУ, Харків. - 2024, № 24. С. 52-68. <https://doi.org/10.37700/ts.2024.24.52-68>
5. Stepanenko, S., Kuzmych, A., Melnyk, V., Volyk, D. (2025). Theoretical study of grain particle movement in vibro-aerodynamic field. *ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT* (с. 1091–1096). <https://doi.org/10.22616/ERDev.2025.24.TF278>
6. Степаненко С., Котов Б., Волик Д., Мельник В. (2025). Чисельне моделювання процесу коливального руху зерна на деку зі з пульсуючим повітряним середовищем. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*, 1(25), 54–63. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-1-7>
7. Степаненко, С. П., Котов, Б. І., Волик, Д. А., Мельник, В. А. (2024). Дослідження процесів руху та розділення компонентів насінневих сумішей у вібропневматичному середовищі. *Вібрації в техніці та технологіях*, 14(2), 10. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2024-2-2>

## ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ МАСИ МАТЕРІАЛУ СОНЯШНИКА НА БАРАБАНІ ЗАКРИТОГО ТИПУ СЕЛЕКЦІЙНОГО КОМБАЙНА

Степаненко С.П., д.т.н., с.н.с.,  
Кузьмич А.Я., к.т.н., ст.дослідник,  
Анеляк М.М., к.т.н., с.н.с.  
Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії  
аграрних наук України  
e-mail: [Stepanenko\\_s@ukr.net](mailto:Stepanenko_s@ukr.net)

Удосконалення процесів обмолоту соняшника є важливою науково-технічною задачею, оскільки якість відокремлення насіння безпосередньо впливає на рівень втрат і пошкодження зернового матеріалу. Перспективним напрямом є застосування молотильно-сепаруючих пристроїв із барабаном закритого типу, що забезпечують більш керований рух маси та стабілізацію процесу обмолоту.

Теоретичні дослідження руху часток обмолоченої маси виконано на основі фундаментальних положень механіки сипких середовищ та теорії руху матеріальної точки (з урахуванням підходів П.М. Василенка та інших дослідників). Розглянуто рух елементарного об'єму матеріалу в зоні дії обертового барабана при усталеному режимі роботи.

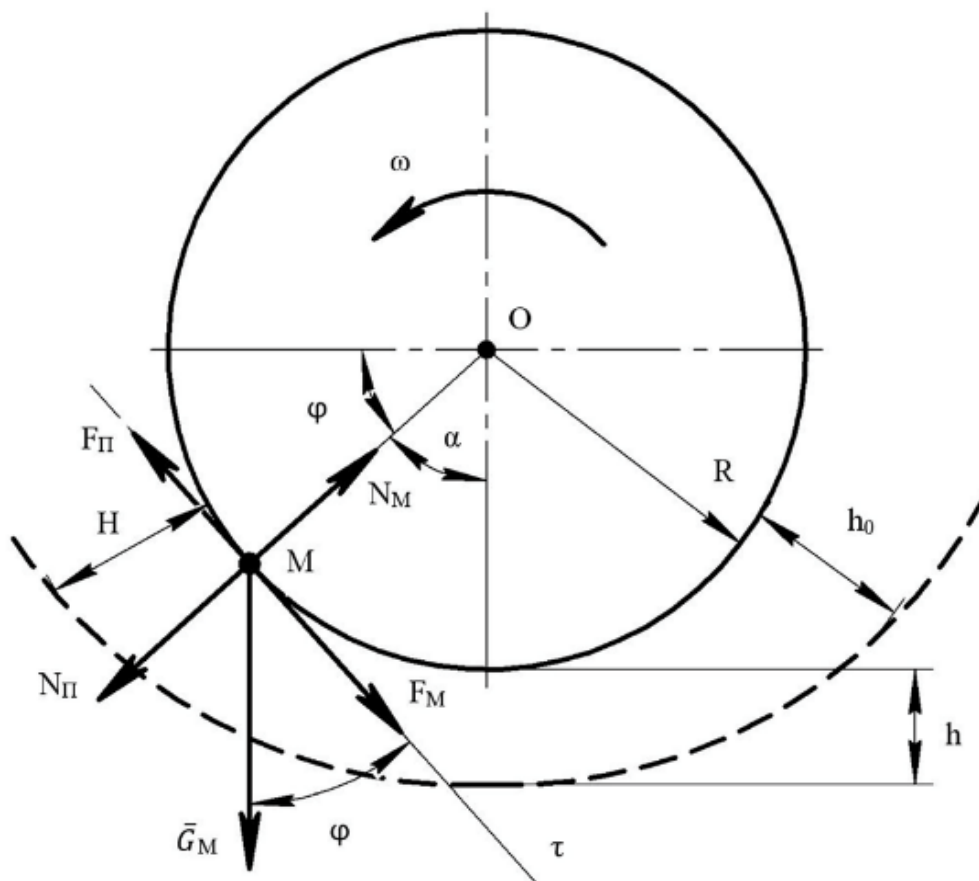


Рис. 1. Схема сил, що діють на елемент маси матеріалу

Аналіз траєкторії руху частинок показав, що їх переміщення має коливальний характер. Встановлено, що амплітуда коливань прямо пропорційна інтенсивності взаємодії з робочими органами, а період - обернено пропорційний кількості впливів бичів барабана.

Це підтверджує доцільність збільшення кількості робочих елементів для стабілізації процесу обмолоту.

Поточне значення робочого зазору визначається залежністю:

$$h = H - \frac{H-h_0}{\varphi} \cdot \varphi \quad (1)$$

Динаміка руху елементарного об'єму маси  $\Delta m$  описується диференціальним рівнянням:

$$\Delta m \cdot \frac{dv}{dt} = f_1 \cdot N_M - f_2 \cdot N_M + \Delta m g \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

Після аналітичних перетворень отримано загальний розв'язок рівняння руху:

$$\omega^2 = c \cdot e^{-2f_2 \varphi} + \frac{A_1}{2f_2} \cdot \varphi + \frac{2f_2 B_1 + D_1}{4f_2^2 + 1} \cdot \sin \varphi - \frac{B_1 - 2f_2 D_1}{4f_2^2 + 1} - \frac{A_1}{4f_2^2} \quad (3)$$

Коефіцієнти рівняння пов'язані з конструкційними параметрами наступним чином:

$$A = \frac{A_1}{2f_2}; B = \frac{2f_2 B_1 + D_1}{4f_2^2 + 1}; D = \frac{B_1 - 2f_2 D_1}{4f_2^2 + 1}; E = -\frac{A_1}{4f_2^2};$$

$$A_1 = 2K \cdot \frac{f_1 - f_2}{H\mu} \cdot \frac{H - h_0}{\alpha}; B_1 = \frac{2f_2 g}{R}; D_1 = \frac{2g}{R}$$

де  $f_1, f_2$  - коефіцієнт тертя соломи по закритому барабану і підбарабанню відповідно;  $\mu$  - щільність маси матеріалу соняшника, кг/м<sup>3</sup>;  $H, h_0$  - товщина маси матеріалу на вході і виході з робочого зазору, м;  $g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $R$  - радіус барабана, м.

Ступінь стиснення матеріалу в робочому зазорі визначається залежністю:

$$\varepsilon = \frac{h}{(2R+S) - R \cdot \left(1 + \cos \frac{\pi}{i}\right)} \quad (4)$$

де  $S$  - міжцентрова відстань між барабаном і підбарабанням;  $i$  - кількість бичів.

Після підстановки коефіцієнтів у рівняння руху отримано диференціальне рівняння:

$$\frac{d\varphi}{\sqrt{c \cdot e^{-2f_2 \varphi} + \frac{A_1}{2f_2} \cdot \varphi + \frac{2f_2 B_1 + D_1}{4f_2^2 + 1} \cdot \sin \varphi - \frac{B_1 - 2f_2 D_1}{4f_2^2 + 1} - \frac{A_1}{4f_2^2}}} = dt \quad (5)$$

Чисельне розв'язання методом Рунге-Кутга дозволило отримати інтегральну форму рівняння руху:

$$\varphi = \int \sqrt{-C_4 + C_2 x + C_3 \cos|x| + C \cdot e^{C_1 x}} dt \quad (6)$$

$$\text{де } C_1 = -2f_2; C_2 = \frac{A_1}{2f_2}; C_3 = \frac{2f_2 B_1 + D_1 + (B_1 - 2f_2 + \frac{2g}{R})}{4f_2^2 + 1}; C_4 = \frac{A_1}{4f_2^2}$$

Аналіз отриманих залежностей показав, що збільшення коефіцієнта тертя сприяє зниженню швидкості переміщення матеріалу та підвищенню ступеня його утримання в робочій зоні. Водночас збільшення кількості бичів забезпечує більш інтенсивну взаємодію з матеріалом, що покращує ефективність обмолоту при збереженні цілісності насіння.

Встановлено, що застосування барабана закритого типу дозволяє істотно знизити втрати насіння соняшника за рахунок зменшення частки невимолоченого та подрібненого матеріалу. Це досягається завдяки більш рівномірному розподілу сил і стабілізації

траєкторії руху частинок. Отримані аналітичні та графічні залежності дозволили визначити раціональні параметри молотильно-сепаруючого пристрою із барабаном закритого типу, зокрема: робочий зазор між барабаном і підбарабанням:  $h=0.018\div 0.030$  м; товщина шару матеріалу на вході:  $H=0.035\div 0.050$  м,  $h_0=0.015\div 0.025$  м; радіус барабана:  $R=0.25\div 0.35$  м; кількість бичів барабана:  $i=6\div 10$ ; коефіцієнти тертя:  $f_1=0.40\div 0.55$  (по барабану),  $f_2=0.30\div 0.45$  (по підбарабанням); щільність маси матеріалу соняшника:  $\mu=250\div 400$  кг/м<sup>3</sup>; ступінь стиснення матеріалу (за формулою (4)):  $\varepsilon=0.55\div 0.75$ ; кутовий інтервал ефективної дії барабана:  $\varphi=1.2\div 2.4$  рад; кутова швидкість барабана (з рівняння (3)):  $\omega=30\div 55$  с<sup>-1</sup>.

Встановлено, що при наведених параметрах забезпечується: зниження втрат насіння до рівня 1,5–2,5 %; зменшення частки подрібненого насіння до 2–4 %; підвищення повноти обмолоту до 86–94 %.

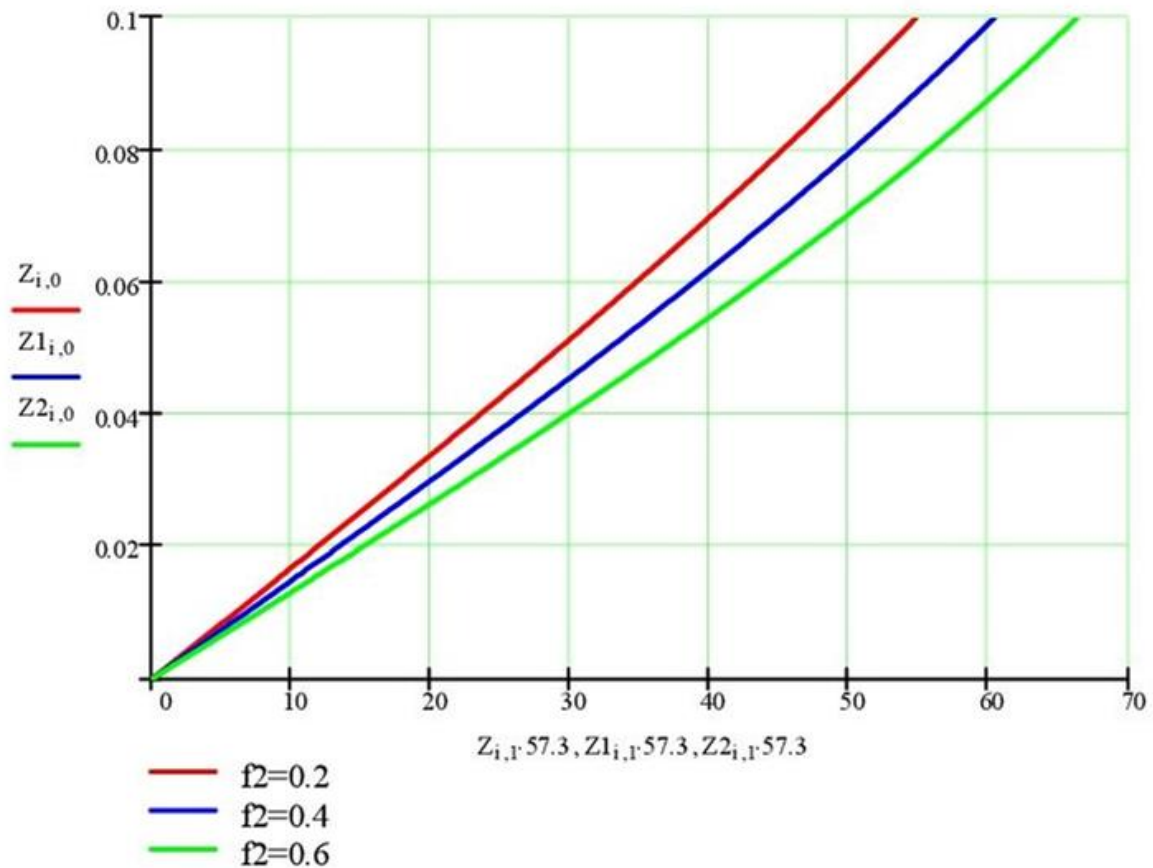


Рис. 2. Залежності руху елемента обмолоченої маси в робочій зоні від коефіцієнта тертя

## Список використаних джерел

1. M. Aneliak, A. Kuzmych, S. Stepanenko, S. Kustov, V. Lysaniuk (2022) Improving the Efficiency of Harvesting Sunflower Seed Crops. INMATEH - Agricultural Engineering . Vol. 67, No. 2/2022, p331-340. 9p. <https://doi.org/10.35633/inmateh-67-34>
2. S. Stepanenko, B. Kotov, A. Kuzmych, M. Aneliak, D. Volyk, V. Melnyk, & R. Kalinichenko. (2025) Mathematical modeling of grain movement dynamics in the processes of air-centrifugal separation of grain material. Journal of Central European Agriculture, 2025, 26(2), p.383-393. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/26.2.4301>
3. S. Stepanenko, M. Aneliak, A. Kuzmych, V. Lysaniuk (2023) Study of the process of threshing leguminous grass seeds with a drum-type threshing device. INMATEH - Agricultural Engineering . Vol. 71, No. 3 / 2023, p83-92. 10p. <https://doi.org/10.35633/inmateh-71-06>
4. Анеляк М.М., Кузьмич А.Я., Грицака О.М., Степаненко С.П., Недовесов В.І. (2023) Науково – технічні основи процесів та технічні засоби для збирання урожаю зернових, олійних культур та незернової частини урожаю. *Монографія*. ІМА АПВ НААН, Ніжин: Видавець Лисенко М.М., 2023. 176 с. ISBN 978-617-640-609-9. <https://doi.org/10.37204/imaap.zbir.vrozhayu>

**РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ  
ВІБРОПНЕВМОІМПУЛЬСНОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ НАСІННЯ ЗА  
ГУСТИНОЮ**

**Степаненко С.П., д.т.н., с.н.с.,  
Волик Д.А., аспірант**

*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії  
аграрних наук України  
e-mail: [Stepanenko\\_s@ukr.net](mailto:Stepanenko_s@ukr.net)*

Ефективність процесу розділення насіння за густиною у вібропневмоімпульсному сепараторі значною мірою визначається фізико-механічними властивостями вихідного матеріалу, зокрема його геометричними параметрами, густиною, коефіцієнтами тертя та сипучістю. У зв'язку з цим проведено експериментальні дослідження характеристик зернового матеріалу різних сортів пшениці врожаю 2024-2025 року.

У результаті обробки експериментальних даних отримано усереднені значення геометричних розмірів зерна. Аналіз показав, що найбільшу варіативність геометричних параметрів має сорт Щедра Нива, зокрема за довжиною (5,7–7,9 мм), шириною (2,4–4,0 мм) і товщиною (2,0–3,5 мм). Найбільші середні значення довжини характерні для сорту Либідь (6,85 мм), тоді як максимальні значення ширини та товщини спостерігаються у сорту Зорепад Білоцерківський (відповідно 3,35 та 3,15 мм). Найменші середні параметри притаманні сортам Краєвид і Царівна.

Графічні залежності розподілу довжини зерен свідчать про наявність варіації в межах кожного сорту, що необхідно враховувати при налаштуванні режимів роботи сепаратора. Сорти з більш стабільними розмірами (Либідь, Зорепад БЦ) є більш придатними для точного сортування, тоді як підвищена варіативність (Щедра Нива) може знижувати ефективність розділення.

Важливим фактором, що впливає на процес сепарації, є коефіцієнт тертя зерна по різних поверхнях. Встановлено, що зі збільшенням вологості матеріалу коефіцієнт тертя зростає. У діапазоні вологості 15-16,5% спостерігається стабілізація значення коефіцієнта, після чого його зростання відновлюється. Це пояснюється зміною адгезійних властивостей поверхні зерна та формуванням водяної плівки.

Аналіз показав, що при збільшенні вологості з 13% до 37% кут природного схилу зростає з 30° до 40°, що свідчить про зниження сипучості матеріалу. У діапазоні 15-17% спостерігається уповільнення зміни кута, що корелює з аналогічною поведінкою коефіцієнта тертя.

Збільшення кута природного схилу пов'язане з підвищенням міжзернового зчеплення та зменшенням рухливості частинок, що негативно впливає на ефективність сепарації. Для високовологого зерна необхідно збільшувати енергетичний вплив та коригувати кути нахилу робочих поверхонь сепаратора.

Дослідження показали, що внутрішнє тертя також зростає зі збільшенням вологості, що додатково ускладнює процес розшарування матеріалу.

Окремо було досліджено густину зернівок пшениці сорту Краєвид, результати чого наведено на рис. 1.

Аналіз гістограми показав, що розподіл густини є близьким до нормального. Основна частина зернівок ( $\approx 37\%$ ) має густину близько  $1,4 \text{ г/см}^3$ . Загалом більшість матеріалу знаходиться в діапазоні  $1,3\text{--}1,5 \text{ г/см}^3$ , тоді як частка більш щільних зернівок ( $1,5\text{--}1,6 \text{ г/см}^3$ ) є незначною.

Отримані результати свідчать про відносну однорідність матеріалу, що є

сприятливим фактором для ефективного розділення за густиною. Водночас наявність крайніх фракцій обґрунтовує необхідність використання вібропневмоімпульсних режимів для підвищення точності процесу сепарації.

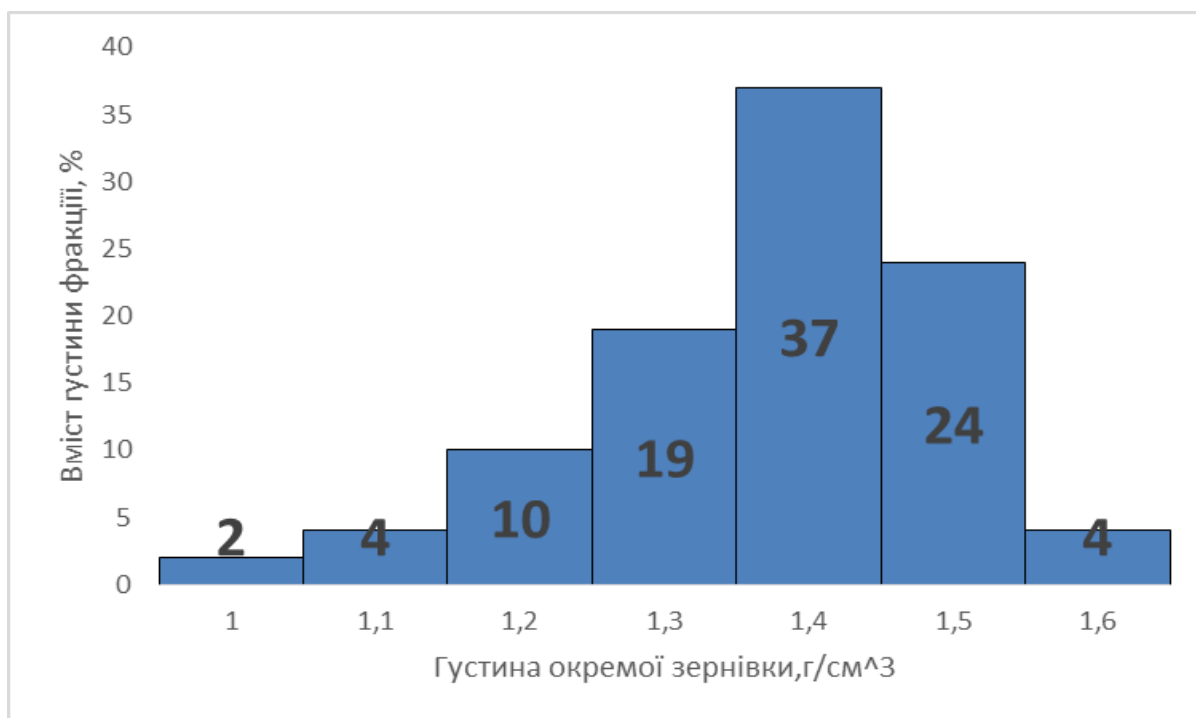


Рис. 1. Нормальний розподіл вмісту насінин пшениці сорту Краєвид за густиною окремих зернівок

У результаті експериментальних досліджень встановлено: геометричні розміри зерна пшениці знаходяться в межах: довжина – 5,4–7,9 мм, ширина - 2,0–4,0 мм, товщина - 2,0–3,9 мм; основний діапазон густини зернівок: 1,3–1,5 г/см<sup>3</sup>, з максимумом розподілу при 1,4 г/см<sup>3</sup> ( $\approx 37\%$ ); коефіцієнт тертя зростає зі збільшенням вологості та стабілізується при  $W = 15-16,5\%$ ; підвищення вологості призводить до зростання внутрішнього тертя та зниження сипучості матеріалу.

Отримані результати є базовими для обґрунтування параметрів роботи вібропневмоімпульсного сепаратора, зокрема вибору режимів вібрації, швидкості пульсацій повітряного потоку та геометрії робочих поверхонь. Встановлені залежності дозволяють підвищити ефективність розділення насіння за густиною та забезпечити стабільність технологічного процесу.

### Список використаної літератури

1. Васильковський О., Лещенко С., Васильковська К., Петренко Д. Підручник дослідника: Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. – Харків: Мачулін, 2016. 204 с.
2. Степаненко С., Котов Б., Волик Д., Мельник В. (2025). Чисельне моделювання процесу коливального руху зерна на деку зі з пульсуючим повітряним середовищем. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*, 1(25), 54–63. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-1-7>
3. Богатирьов Д. В. Обґрунтування параметрів пневмоімпульсної машини для сепарації насіння за густиною. Кіровоград, дис. к.т.н. 2005. 170 с.
4. Богатирьов Д. В., Скриннік І. О., Юрченко О. В. Обґрунтування технологічних параметрів зернового сепаратора. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2019. № 49. С. 34–42.
5. Степаненко, С. П., Котов, Б. І., Волик, Д. А., Мельник, В. А. (2024). Дослідження процесів руху та розділення компонентів насінневих сумішей у вібропневматичному середовищі. *Вібрації в техніці та технологіях*, 14(2), 10. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2024-2-2>

6. Степаненко, С. П., Котов, Б. І., Мельник, В. А., Волик, Д. А. (2024). Моделювання процесу переміщення зернового матеріалу в робочій зоні сепаратора. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*, 14(1). <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-1-3>
7. Степаненко, С., Кузьмич, А., Борис, А., Днесь, В., Волик, Д., Кузьмич, А. (2024). Дослідження фізико-механічних та оптичних характеристик зернових матеріалів. *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, (54), 36–46. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.36-46>

УДК 631.33.024.2

## ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ НАРАЛЬНИКА КОМБІНОВАНОГО СОШНИКА ПРОСАПНОЇ СІВАЛКИ

Д.Ю. Артеменко, доц., канд. техн. наук,

К.А. Мазурцова, здобувач

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

**Вступ.** Сучасний розвиток аграрного сектору в Україні супроводжується зростанням вимог до енергоефективності та якості виконання технологічних операцій, зокрема під час висіву просапних культур. Посів належить до ключових етапів технологічного процесу, оскільки саме в цей період формуються передумови для отримання рівномірних сходів, оптимального росту рослин і високої врожайності. Важливу роль в дотриманні агротехнічних вимог відіграють робочі органи просапних сівалок, насамперед сошники, які відповідають за утворення борозни, укладання насіння та його подальше загортання ґрунтом. Наральникові сошники є одними з найпоширеніших завдяки простоті конструктивного виконання та здатності формувати борозну з чітко заданою глибиною. Проте традиційні варіанти таких сошників мають низку недоліків, зокрема підвищений тяговий опір, значне порушення структури ґрунту та нестабільність геометричних параметрів борозни, особливо при змінних умовах роботи [1,2]. Це призводить до погіршення якості насінневого ложа, нерівномірного розміщення насіння як по глибині, так і по довжині борозни, а також до зростання енерговитрат під час роботи посівного агрегату. Вдосконалення конструкції наральника з врахуванням особливостей взаємодії його робочої поверхні з ґрунтом дає змогу оптимізувати процес різання і переміщення ґрунтового шару, знизити енергоспоживання та забезпечити стабільне формування борозни з рівним, ущільненим і достатньо зволеним насінневим ложем. Отже, розроблення раціональної конструкції наральникового сошника зі зниженим тяговим опором є важливим напрямом підвищення ефективності сівби та забезпечення дотримання агротехнічних вимог при вирощуванні просапних культур.

**Постановка проблеми.** В процесі роботи наральникового сошника одним із ключових експлуатаційних параметрів виступає його тяговий опір, який безпосередньо впливає як на енерговитрати посівного агрегату, так і на якість формування посівної борозни. Зростання цього показника обумовлюється геометричними особливостями сошника, кутами встановлення його робочих поверхонь, площею контакту з ґрунтом, а також характером деформаційних процесів в зоні різання та переміщення ґрунтового шару [3].

Відомі конструкції наральникових сошників в більшості випадків мають тупий кут входження в ґрунт і працюють переважно за рахунок його зминання. При цьому зі збільшенням неоднорідності ґрунтового середовища зростає навантаження, необхідне для забезпечення стабільного руху сошника [4]. Однією з основних проблем при підвищенні

цього навантаження є надмірне ущільнення ґрунту в зоні дна та бокових стінок борозни. Інтенсивне стискання призводить до формування переущільненого шару, що погіршує водно-повітряний режим насінневого ложа та ускладнює розвиток кореневої системи. В результаті борозна набуває нестабільної структури, яка не відповідає агротехнічним вимогам. Додатковою проблемою під час роботи на неоднорідних ґрунтах є порушення геометричних параметрів борозни, зокрема її глибини та ширини. Збільшення тягового опору спричиняє коливання сошника у вертикальній і горизонтальній площинах, особливо за умов недостатньої підготовки поля. Це призводить до утворення дна борозни зі змінною геометрією, що ускладнює забезпечення рівномірної глибини загортання насіння. Крім того, підвищений тяговий опір викликає активне переміщення ґрунту вбік від борозни. В таких умовах сухі верхні шари можуть потрапляти в зону насінневого ложа, що погіршує контакт насіння з вологим ґрунтом і знижує польову схожість насіння на 5 - 12%.

Отже, високий тяговий опір наральникового сошника є комплексним фактором, який негативно впливає як на енергетичні показники роботи сівалки, так і на якість виконання технологічного процесу. Це зумовлює необхідність удосконалення конструкції сошника з метою зниження опору, стабілізації параметрів борозни та забезпечення відповідності агротехнічним вимогам.

**Метою роботи** є теоретичне обґрунтування конструкції наральника комбінованого сошника просапної сівалки та визначення його конструктивно-технологічних параметрів.

**Розв'язання проблеми.** З метою усунення визначених вище недоліків нами була запропонована вдосконалена конструкція сошника просапної сівалки (рис. 1) та визначені конструктивні параметри, які впливають на тяговий опір.

Розроблений сошник оснащений комбінованим наральником, який включає дві функціональні частини. Верхня частина - це клиноподібний носок, який призначений для розкриття борозни та відведення сухого ґрунту вбік. Вона характеризується гострим кутом входження як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах. Нижня частина, п'ята, має тупий кут входження і виконує функцію формування ущільнених стінок борозни та насінневого ложа. При цьому у вертикальній площині обидві частини мають однакові розміри, а ширина носка перевищує товщину сошника приблизно на 10%. Нижня робоча поверхня носка піднята в горизонтальній площині, а всі робочі поверхні наральника розташовані під кутом, меншим за кут тертя ґрунту об сталь.

Ефективність функціонування запропонованого сошника забезпечується рядом конструктивних особливостей. Зокрема, клиноподібний носок із гострим кутом входження та збільшеною шириною забезпечує зниження тягового опору і сприяє стабільному руху сошника в вертикальній площині. Розміщена в задній частині п'ята з тупим кутом входження забезпечує формування якісного насінневого ложа, що сприяє рівномірному розміщенню насіння по глибині. Крім того, завдяки гострому куту входження носка в горизонтальній площині забезпечується стабільність руху сошника по глибині рядка та ефективно відведення верхнього, більш сухого шару ґрунту від зони розміщення насіння. При взаємодії з ущільненими ділянками або перешкодами така конструкція сприяє їх руйнуванню. За умов підвищеної вологості ґрунту конструкція також забезпечує ефект самоочищення робочих поверхонь.

Для визначення тягового опору вдосконаленого наральника нами була побудована математична модель, яка враховує його геометричні параметри та фізико-механічні властивості ґрунту. В рамках цієї моделі сумарний тяговий опір розглядається як сума сил опору, що виникають на окремих елементах конструкції носку, п'яті та щоках під час виконання технологічної операції. За результатами виконаного теоретичного аналізу та побудови математичної моделі взаємодії вдосконаленого сошника з ґрунтом була отримана залежність 1, яка дає можливість теоретично проаналізувати не тільки конструктивні особливості нового сошника, а і його технологічні параметри.

$$R_z = \left[ k \cdot B \cdot h \cdot \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\varphi)} \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \right] + [q_{yuy} \cdot b_2 \cdot h_1 \cdot \text{tg}(\beta - \varphi)] + \quad (1)$$

$$+ [2 \cdot f \cdot p_{yuy} \cdot S_{uy}] + \left[ \rho \cdot B \cdot h \cdot V^2 \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \right]$$

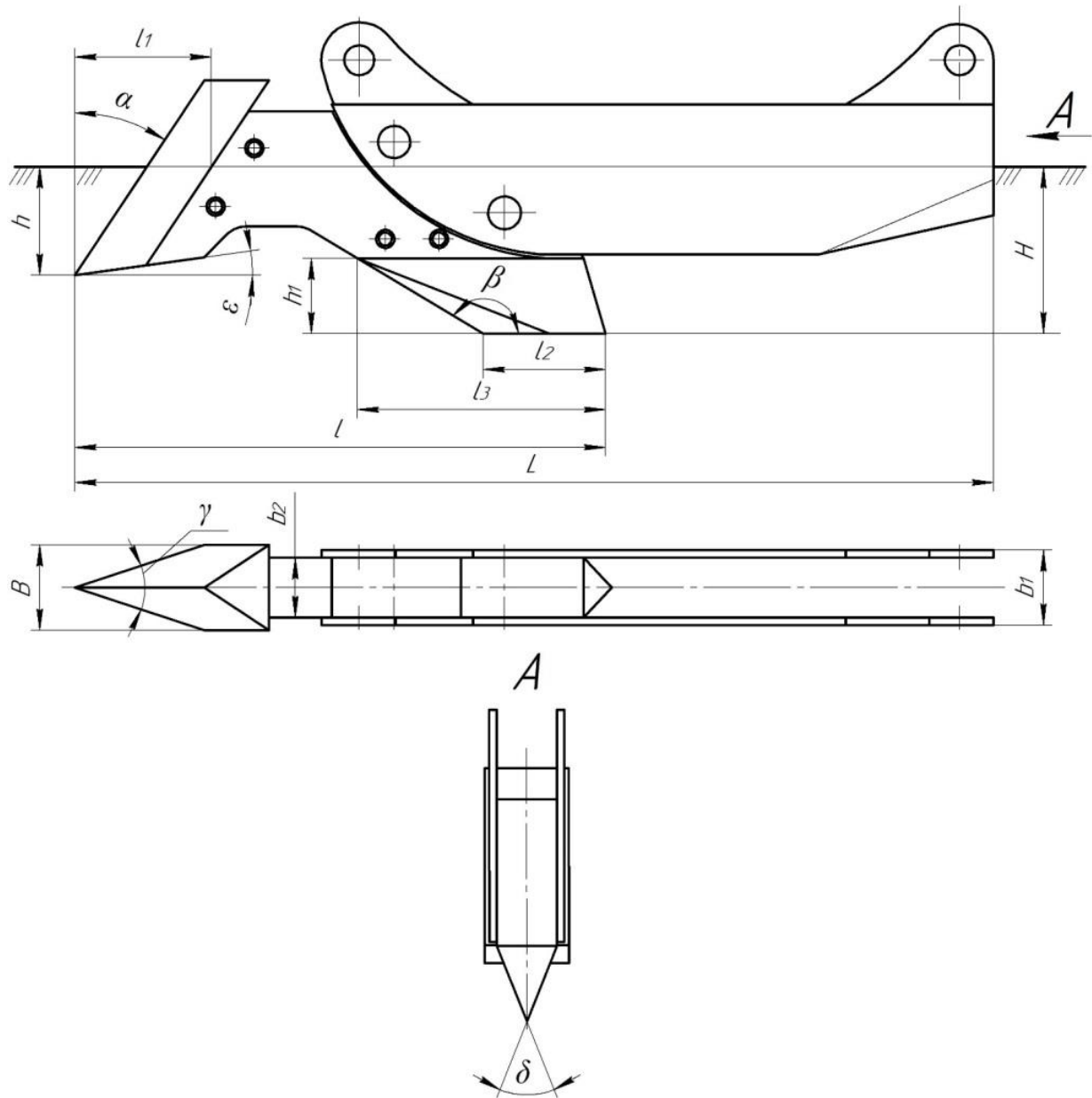


Рисунок 1 – Розрахункова схема для визначення тягового опору запропонованого сошника

Залежність 1 показує, що розподіл функцій наральника між двома спеціалізованими зонами клиноподібним носком із гострим кутом входження, який забезпечує різання та початкове формування борозни, і п'ятою з тупим кутом входження, що відповідає за формування насінневого ложа сприяє зниженню енерговитрат. Оскільки п'ята переміщується вже в розпушеному ґрунті, сумарний тяговий опір зменшується порівняно з традиційними суцільними конструкціями, при цьому забезпечується висока якість насінневого ложа.

Розроблена математична модель (зал. 1) дає можливість виконувати теоретичну оцінку необхідного тягового зусилля з урахуванням типу ґрунту (через відповідні фізико-

механічні показники) та швидкості руху агрегату. Це забезпечує можливість оптимального підбору параметрів сошника ще на стадії проєктування з метою зменшення енергоємності процесу посіву при дотриманні агротехнічних вимог.

#### **Висновки:**

1. В результаті проведених досліджень встановлено вплив конструктивно-технологічних параметрів сошника на якість виконання технологічного процесу утворення борозни.

2. Отримано рівняння (1) для визначення величини тягового опору сошника в залежності від зміни його конструктивно-технологічних параметрів.

3. Розглянута удосконалена конструкція сошника може забезпечити якісне розміщення насіння як по глибині так і довжині борозни, маючи при цьому менший тяговий опір ніж у серійних сошників.

#### **Список використаних джерел**

1. Дмитро Артеменко. Дослідження конструкційних параметрів елементів сошника для посіву просапних культур. Науково-технічні дослідження у галузі механічної інженерії та транспорту: колективна монографія; за заг. ред. А.А. Кашканова. Академія технічних наук України. Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М. 2023. С. 72-110. URL: [https://ukrtsa.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/mech\\_transport.pdf](https://ukrtsa.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/mech_transport.pdf)
2. Artemenko, D., S. Leshchenko, V. Onopa, V. Majara, and V. Deikun. 2022. Analysis of the combined coulter point of the precision seed drill. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 24(4): 57-71. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/7435/3947>
3. Артеменко Д.Ю., Лузан П.Г., Лузан О.Р., Ковбаса В.П. Обґрунтування конструкції комбінованого наральника сошника просапної сівалки. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / ЦНТУ, Вип. 55, 2025. С. 121 – 133. URL: <https://zborniksgm.kntu.kr.ua/pdf/55/13.pdf>
4. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії і розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2005. С. 141 – 142. URL: <https://studfiles.net/preview/5063474/page:25/>

УДК 631.961

## **ВИРОЩУВАННЯ КАВУНІВ В УМОВАХ ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ**

*К. Васильковська, к.т.н., доцент,  
С. Дар'єва, студентка*

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Кавун є однією з найважливіших баштанних культур в Україні, яка традиційно вирощується в умовах Північного Степу. Кліматичні та ґрунтові умови Північного Степу України є достатньо сприятливими для вирощування баштанної продукції, с тому числі кавуна [1]. Однак, 2024–2025, продемонстрували суттєві зміни як у врожайності, так і в географії вирощування культури [2].

Сьогодні зміни кліматичних умов та оновлення аграрної системи в Україні стали поштовхом для обрання для вирощування кавунів в умовах Північного Степу України. Останні події, зокрема зміщення вирощування кавунів у 2025 році та зростання ролі центральних регіонів, привернули увагу фермерів до розширення спектру вирощуваних культур на Кіровоградщині, Черкащині, Вінниччині, півночі Миколаївської та Одеської областей. Тому виникла потреба детальніше розглянути умови вирощування кавунів у південному степу України, їх сучасний стан.

Північний Степ України характеризується помірно континентальним кліматом із тривалим жарким літом, високою сумою активних температур і значним рівнем сонячної радіації. Вегетаційний період триває понад 200 днів, що створює сприятливі умови для

теплолюбних культур, зокрема кавунів. Водночас регіон відзначається недостатнім зволоженням, частими посухами та суховіями, що зумовлює необхідність раціонального водного режиму та зрошення при вирощуванні баштанних культур [3].

Ґрунтовий покрив представлений переважно чорноземами звичайними та глибокими, сформованими на лесових відкладах, із вмістом гумусу 3-6% і значною потужністю гумусового горизонту. Ці ґрунти відзначаються високою природною родючістю, доброю структурою та водоутримувальною здатністю, що є важливими передумовами для формування високих врожаїв кавунів. Разом із тим, локально спостерігаються процеси засолення та дефіцит вологи, що обмежують продуктивність без застосування агротехнічних заходів [4].

Таким чином, поєднання високого теплового потенціалу, тривалого безморозного періоду та родючих чорноземів робить Північний Степ України природно придатним для вирощування кавунів. Однак, ефективність виробництва визначається рівнем вологозабезпечення, що обумовлює важливість зрошення, мульчування та інших прийомів збереження ґрунтової вологи.

Для вирощування кавунів в зоні Північного Степу слід враховувати певні особливості регіону. Так, терміни сівби повинні відповідати агровиимогам, відповідно до яких температура ґрунту, і який висівається насіння повина дорівнювати +15°C. Тому, слід висівати кавуни наприкінці травня (після 15–20 числа), коли ґрунт прогріється до +15°C [5].

Вирощування кавунів передбачає дотримання певних агротехнічних вимог. Посів здійснюється тоді, коли ґрунт прогрівається до 16–18°C. Важливим елементом технології є використання крапельного зрошення, яке дозволяє ефективно забезпечувати рослини вологою. Особливу увагу слід приділяти поливу у критичні фази розвитку: під час проростання, цвітіння та формування плодів. Також важливим фактором є запилення, яке здійснюється за допомогою комах, переважно бджіл.

Також, важливим елементом правильної технології вирощування є підбір сорту відповідно умов ґрунто-кліматичних господарства. Слід обирати ранньостиглі та середньостиглі сорти (65-80 днів вегетації), які встигають визріти до вересня [2].

У Північному Степу врожайність кавунів залежить від умов вирощування. Без зрошення вона становить у середньому 20–30 т/га, тоді як при використанні систем зрошення може досягати до 40-50 т/га. Таким чином, застосування сучасних технологій значно підвищує економічну ефективність вирощування цієї культури. Особливістю 2025 року стало зміщення вирощування кавунів із південних регіонів у центральні. Зокрема, Полтавська область стала лідером за площами вирощування баштанних культур.

Таким чином, Північний Степ України може стати одним із найважливіших регіонів для вирощування кавунів завдяки сприятливим природним умовам. Однак, сучасні кліматичні зміни суттєво впливають на стабільність виробництва. Тому, для забезпечення стабільних врожаїв необхідно впроваджувати сучасні агротехнології, зокрема системи зрошення та використання більш стійких сортів. Це дозволить краще адаптуватися до змін клімату і підтримувати ефективність вирощування кавунів у майбутньому.

## Список використаних джерел

1. Книш В.І., Павлова С.Л. Сортова технологія вирощування кавуна в незрошуваних умовах півдня України. Таврійський науковий вісник. – Херсон: Айлант, 2012. Вип.79. С. 73-79.
2. Васильковська К., Жданович О. Стан та перспективи вирощування кавунів в зоні Північного Степу. Матеріали VI Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції «Інновації: теорія і практика». Кропивницький: АПН. 2025. С. 68-69. URL: <https://apn.biz.ua/edition>
3. Васильковська К., Звездун О., Біжан А. Вдосконалення вирощування кавунів в умовах Кіровоградської області. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції». – Кропивницький: ЦНТУ, 2025. С. 24-26. URL: <https://kntu.kr.ua/file/content/19401/zbirnyk-tez.pdf>
4. Kovalov M., Vasytkovska K., Reznichenko V., Mostipan M. (2019). Agro-ecological aspects of the change of sulphate sulphur content in chernozem of the Buh-Dnipro interstream area in Ukraine. WSEAS Transactions on Environment and Development, Vol. 15. 319-323. URL:

УДК 633:631.8

## ВПЛИВ СТИМУЛЯТОРІВ РОСТУ НА ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР

**О. Андрейченко**, *к. с.-г. н., ст. викладач;*

**А. Александрова**, *студентка*

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Технічні сільськогосподарські культури – це культури, з яких переважно отримують продукцію технічного характеру, а також для виготовлення парфумерії, фармацевтичних препаратів та для естетичного задоволення. До технічних культур відносяться: цукроносні культури (цукрові буряки), олійні (соняшник, соя, ріпак та ін.), ефіроолійні (коріандр, лаванда та ін.), малопоширені олійні (кукурудза, гірчиця та ін.) та ефіроолійні культури (любисток, портулак, материнка звичайна та ін.), прядивні культури (льон-довгунець, коноплі), наркотичні (тютюн, махорка), лікарські (валеріана, календула та ін.) та пряноароматичні (полин естрагоновий, чебрець повзучий та ін.) культури, квіткові культури (троянда, тюльпани, хризантема та ін.). Найпоширеніші культури, які використовують у сільському господарстві: соняшник, ріпак, кукурудза, соя, цукровий буряк та інші [1].

Зі зміною кліматичних умов, а саме зростання періодів з екстремально високими температурами та затяжними посухами у критичні моменти росту і розвитку рослини, спостерігається зниження врожайності сільськогосподарських культур. Окрім недоотримання урожайності, на одержання максимальної матеріальної вигоди з вирощування сільськогосподарських культур має вплив стрімке зростання вартості палива, засобів захисту рослин та мінеральних добрив. Для зміни негативної тенденції ведуться пошуки маловитратних високоефективних методів. До таких методів відносять застосування стимуляторів росту (природнього та синтетичного походження).

У 2024 р. науковці Мазур С., Матусевич Г. та Бухтик С. провели аналіз стану ринку регуляторів росту. Вони встановили, що у 2026 р. ринок використання стимуляторів росту може досягти 5,6 млрд дол. США. А також дослідили найпопулярніші препарати, які використовують в Європі, США та в Україні. Так, в Європі популярністю користуються препарати створені на основі водоростей (44 %), гуматів (43 %) та амінокислот (12 %); в США – гумати і фульвокислоти (38 %), водорості (28 %) та амінокислоти (22 %); в Україні – амінокислоти (45 %) та гумінові речовини (40 %) [2].

Дія регуляторів росту спрямована на корекцію онтогенезу рослин. Захисний механізм виконується за рахунок синтезу стресових білків, накопичення осмолітів та оптимізації водного обміну; зміна архітекtonіки рослин – оптимізація площі листової поверхні, регуляція росту стебла; продукційна складова – впливом на генеративні органи, що призводить до збільшенню маси насіння та підвищенню олійності.

Ефективність стимуляторів росту залежить від способу використання з урахуванням фази розвитку рослини. В більшості препарати застосовують двома способами: передпосівна обробка насіння та позакореневе підживлення (обприскування по листу). Передпосівна обробка забезпечує енергійний старт сходів, формування потужної кореневої системи, що відображається на отриманні кращої польової схожості. Позакореневе

застосування сприяє швидкому впливу на метаболізм рослин в критичні фази розвитку, таким чином стає можливо вчасно коригувати ріст культури.

Українські науковці проводять дослідження з визначення найбільш оптимальних методів використання регуляторів росту, їх норм та поєднання з іншими агротехнічними заходами вирощування сільськогосподарських культур.

Дослідження науковців, дали можливість встановити механізм дії нових стимуляторів росту, таких як активаторів та інгібіторів фітогормонів, регуляторів метаболізму та фотосинтезу та інших. Від дії рістстимулюючих речовин відбувається зростання продуктивності на 10-25 %, що при впровадженні у технології вирощування сільськогосподарських культур дає можливість отримати додаткових прибуток приблизно на 6 млрд грн [3].

Науковці Шепілова Т. П., Петренко Д. І., Лещенко С. М., Васильковська К. В. та Ковальов М. М. в своїх дослідження встановили вплив рістрегулюючих речовин на урожайність сої в північному Степу України. Встановлено, що регулятори росту сприяли зростанню висоти та маси рослин сої як у самостійному використанні, так і в поєднанні з мінеральними добривами на 11,3 та 21,9 % відповідно. Урожайність сої збільшувалася на 15,6 % при використанні препарату Мікро-Мінераліс на фоні внесення мінеральних добрив (N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>) [4].

Використання рістрегулюючих речовин при вирощуванні цукрових буряків сприяє зростанню продуктивності та цукристості коренеплодів. Проведенні дослідження застосування регулятору росту встановили, що препарат Біолан покращив схожість насіння на 10,9 %, площа листкової поверхні зросла на 16,2 %, продуктивність підвищилася на 3,8 т/га, а вміст цукру на 0,4% [5].

Стимулятори росту при вирощуванні кукурудзи сприяють видовженню рослин на 3-8 см, кількості листків та їх площі поверхні на 3,5-5,6 % та 5,3-28,3 % відповідно, а також позитивно впливають на вміст хлорофілу. Урожайність від застосування регулятору росту зростала від 0,64 до 18,4 % залежно від препарату та гібриду кукурудзи [6].

Отже, можна зробити висновок, що регулятори росту добре себе зарекомендували при вирощуванні різноманітних сільськогосподарських культур. Вибір способу та методу впливу стимуляторів росту залежить від сортової (гібридної) специфіки культури, фази органогенезу та метеорологічних умов в період вирощування. Поєднання з системами мінерального живлення дозволяє зменшити негативний вплив від абіотичних стресів та підвищити рівень врожайності культури.

## Список використаних джерел

1. Жатов О. Г., Каленська С. М., Мельник А. В. та ін. Технічні культури: навчальний посібник. Суми. 2013. 359 с.
2. Мазур С., Матусевич Г., Бухтик С. Регулятори росту рослин: стан ринку, види та особливості застосування. Пропозиція. URL: <https://propozitsiya.com/articles/ahrokhimiya-rehulyatory-rostu/rehulyatory-rostu-roslyn-stan-rynku-vydy-ta-osoblyvosti>.
3. Ткачук О.О. Екологічна безпека та перспективи застосування регуляторів росту. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2014. № 3. С. 41-44. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/928/927>.
4. Шепілова Т. П., Петренко Д. І., Лещенко С. М., Васильковська К. В., Ковальов М. М. Науково обґрунтована оптимізація агротехніки вирощування сої. Scientific Progress & Innovations. 2023. № 26 (2). С.56-59. URL: <https://journals.pdaa.edu.ua/visnyk/article/view/1761>
5. Кулик Г.А., Трикіна Н.М., Малаховська В.О. Формування продуктивності цукрових буряків при застосуванні регулятора росту Біолан в Центральній Україні. Вісник Полтавської державної аграрної академії. № 1. 2022. С. 55-61. URL: <https://journals.pdaa.edu.ua/visnyk/article/view/1607/2005>
6. Циліорик О. І., Іжболдін О. О., Сологуб І. М. Вплив стимуляторів росту рослин на біометричні показники та урожайність кукурудзи в Північному Степу. Аграрні інновації. 2022. № 15. С. – 59-66. URL: <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/11573>.

## ВИРОЩУВАННЯ ВИНОГРАДУ ВИННИХ СОРТІВ В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

*К. Васильковська, к.т.н., доцент;*

*Д. Борисенко, студентка*

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

В Європі 46° північної широти часто вважають неофіційною межею оптимальних умов виноградарства. Україна розташована між 44° та 52° північної широти, що забезпечує сприятливі географічні умови для розвитку виноробної галузі [1]. Однак умови вирощування в Україні відрізняються від умов в Іспанії, Франції чи Італії через специфічні агрокліматичні фактори. Серед обмежуючих показників, найважливішим є сума середньодобових активних температур повітря вище +10°C протягом вегетаційного періоду та запас продуктивної вологи в ґрунті. Північна частина степової зони України розташована приблизно між 48° і 49° північної широти. Ця межа пролягає через центральні області України (частини Кіровоградської, Дніпропетровської, Запорізької областей) [2].

Для даного регіону характерні чорноземи звичайні та типові, чорноземи малогумусні, а місцями суглинки та лесові породи. Всі ці ґрунти придатні для винограду, мають гарну водопроникність та висока родючість, крім того рН, зазвичай, є нейтральним або слабколужний, що сприятливо для винограду.

Сума активних температур дорівнює 2800–3200°C, що є достатнім для дозрівання ранніх і середніх сортів. Крім того, сухе літо призводить до меншої кількості грибкових хвороб. Але, критичний дефіцит вологи та часті літні посухи – є величезним викликом для виноградарів даного регіону.

Викликом також, є морози взимку до –20...–25°C, а також весняні заморозки, що призводять до загибелі бруньок.

В Північному Степу слід використовувати морозостійкі та ранньостиглі сорти, укриті культури (коли лозу вкривають на зиму) та захищати виноградники від вітрів (лісосмуги).

Можливим захистом від таких викликів є впровадження систем крапельного зрошення, що потребує значних інвестицій. Також, суттєвим ризиком залишаються непередбачувані весняні заморозки та екстремальні температури влітку, які вимагають ретельного підбору підщеп та постійного вдосконалення агротехнічних методів захисту рослин [3].

У Північному Степу України, нажаль, класичних автохтонних винних сортів небагато, але є селекційні українські сорти та адаптовані гібриди, які добре пристосовані до клімату регіону.

Великі перспективи має популяризація локальних сортів, таких як Одеський чорний, Сухолиманський чорний, Тельті-Курук, та Одеський білий Сухолиманський білий які стають «візитною картою» українського виноробства.

Крім того, можливе використання класичних сортів, які добре прижилися в Північному Степу: Ркацителі, Аліготе та Каберне Совіньйон [4]. А їх поєднання буде формувати потенціал для унікального українського вина з локальним характером.

Крім того, використання датчиків вологості ґрунту та систем диференційованого внесення добрив (фертигації) для точного регулювання розвитку лози на кожному етапі вегетації. Завдяки низькій вологості регіону, перспективою є повна відмова від агресивних пестицидів і перехід до біологічних методів захисту рослин, що значно підвищує цінність виноматеріалу [5].

В Північному Степу виноградарство, які і в інших регіонах України, найкраще розвивається на схилах річок. Річки, вздовж яких формуються схили, балки та долини є найкращими для виноградарства. Саме біля річок найчастіше виникають мікрокліматичні умови, які покращують визрівання винограду. Річки Інгул, Інгулець, Синюха, Ятрань та Велика Вись, формують розгалужену систему схилів, як пологих так і не дуже. Тут створюються теплі мікрзони, де лоза краще прогривається. Так, на схилах Синюхі, що має гранітні береги, має багато південних схилів та гарний дренаж ґрунтів. Тому, вирощування винограду у долинах річок створюють умова для розвитку виноградарства у Північному Степу, створюючи локальні винні мікрокліматичні зони, що формують унікальний теруар Степу.

Українське виноробство має значний потенціал завдяки багатим історичним традиціям, сприятливим кліматичним умовам, родючим ґрунтам та наявності ентузіастів, які вірять у свою справу.

Виноградарство в Північному Степу України має розвиватись, тому що із змінами кліматичних умов зони вирощування винограду змістились на північ. Так, в умовах Північного Степу є можливість виробництва якісних сухих вин із помірною кислотністю. Крім того, за рахунок використання місцевих та адаптованих сортів можливо формування унікального теруару, що підвищить інтерес до кротового українського вина. Однак, вирощування винограду в даній місцевості має і певні ризики, такі як нестабільність врожаю через весняні заморозки та літні посухи і вищі витрати на догляд.

### Список використаних джерел

1. Jones, G.V. (2012). Climate, grapes, and wine: structure and suitability in a variable and changing climate. XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on the Effect of Climate Change on Production and Quality of Grapevines and their Products 19-28 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.931.1>.
2. Васильковська К.В., Малаховська В.О. Історія виробництва та проблематика розвитку виноградарства в Україні. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції, 3-4 квітня 2025 р., м. Луцьк. – Луцьк: Луцький НТУ, 2025. С. 29-31. URL: <https://sites.google.com/lntu.edu.ua/conference/публікації?authuser=0>
3. Васильковська К., Кирилов М. Проблематика вирощування винограду в Україні. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції». – Кропивницький: ЦНТУ, 2025. С. 26-28. URL: <https://kntu.kr.ua/file/content/19401/zbirnyk-tez.pdf>
4. Український винний путівник. Eco Viva GmbH & IAK Agrar Consulting GmbH «EU4Business: відновлення, конкурентоспроможність та інтернаціоналізація МСПС». С.160.
5. Goncharuk, A.G., Figurek, A. (2017). How efficient is winemaking in Eastern Europe. NEW MEDIT, 2, pp. 64-72

УДК 631

## МЕХАНІЗАЦІЯ ВИРОЩУВАННЯ КОРМОВИХ КУЛЬТУР: ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ

**І. Сисоліна, к.т.н., доц.,**

**В. Зюзь, гр. АІ-22з-1,**

**О. Усатенко, гр. АІ-23мб-1.1**

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Механізація вирощування кормових культур (трав, силосної кукурудзи, люцерни тощо) є однією з найскладніших ланок агроінженерії, оскільки вона поєднує рослинництво

з потребами тваринництва. Так, якість кормів на 60–70% залежить від дотримання технологічних термінів збирання, що неможливо без високого рівня механізації.

Для цього процесу є необхідність врахування специфіки культур, оскільки передбачає роботи з великими обсягами біомаси, що мають високу вологість та низьку об'ємну щільність.

Ключовими проблемами механізації вирощування кормових культур є енергоємність процесів, технологічна застарілість парку, порушення агротехнічних термінів, втрати при зберіганні тощо.

Висока питома витрата палива супроводжує операції при передпосівній обробці ґрунту (через кількість операцій) та заготівлі силосу і сінажу (через значні транспортні витрати та роботу подрібнювачів).

Використання зношених косарок та підбирачів призводить до великих втрат поживних речовин.

Брак високопродуктивних самохідних комбайнів змушує господарства затягувати збирання, що призводить до огрубіння клітковини та зниження перетравності корму.

Недостатня механізація процесів ущільнення в силосних траншеях спричиняє розвиток небажаної мікрофлори.

Для вирішення наведених проблем можна впровадити, наприклад, технологію No-Till, тобто замість плугів, дискових борон тощо застосовувати ґрунторозпушувачі, що важливо також для збереження структури ґрунту під багаторічними травами.

Іншим кроком є те, що можна автоматизувати логістику, тобто використовувати перевантажувальні причепа-бункери для зменшення ущільнення ґрунту та безперервної роботи комбайнів. Перспективами розвитку механізації вирощування кормових культур є універсалізація та комбінування операцій, цифровізація процесів, а саме точне внесення добрив, впровадження інтелектуальних систем. Перехід до широкозахватних агрегатів, що за один прохід виконують обробіток ґрунту, скошування, плющення та складання у валок (наприклад, комбінації типу «метелик»).

Диференційоване підживлення багаторічних трав на основі вегетаційних індексів (NDVI) для вирівнювання врожайності по полю.

Використання сенсорів на комбайнах для аналізу якості корму (вологість, протеїн, цукор) у режимі реального часу. Автоматичне регулювання довжини різки залежно від вологості маси. Оптимізація маршрутів руху техніки за допомогою GPS-навігації.

Головна перспектива механізації полягає не просто у збільшенні потужності машин, а в подальшому їхній цифровій інтеграції. Майбутнє за агрегатами, які здатні автоматично адаптуватися до мінливих характеристик біомаси, забезпечуючи «аптечну» точність заготівлі енергетично цінних кормів.

УДК 631

## **ВПЛИВ РЕЖИМІВ РОБОТИ МОЛОТИЛЬНОГО АПАРАТА НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КОМБАЙНА**

**І. Сисоліна**, *к.т.н., доц.*,

**А. Соломаха**, *гр. ГМ-24М-1*

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Питання дослідження роботи молотильного апарата комбайна актуальне, воно стоїть на стику біологічних вимог (збереження якості зерна) та техніко-економічних показників (швидкість, пальне, гроші).

Дослідження роботи молотильного апарата зернозбирального комбайна є класичним, але водночас динамічним напрямом у агроінженерній науці, зокрема вітчизняній [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Необхідність розробляти більш адаптивні режими роботи, які дозволяють комбайну зберігати максимальну продуктивність протягом всього світлового дня, виникає оскільки за глобальних змін клімату терміни збирання стають більш стислими, а вологість маси – непередбачуваною.

Зерно є кінцевим продуктом, ціна якого залежить від цілісності оболонки. Неправильні режими (надто високі оберти) можуть призводити до мікротріщин, що знижує схожість насінневого матеріалу та термін зберігання продовольчого зерна.

Якщо оптимізація роботи апарата дозволить знизити рівень дроблення зерна нижче допустимих 1–2%, то це мінімізує втрати та призведе до збільшення врожаю.

Зернозбиральний комбайн є одним із найбільших споживачів палива в господарстві. До 60% енергії, що споживається молотильним апаратом, може витратитися на тертя та деформацію соломи (якщо це не очіс), якщо зазори налаштовані некоректно. Точне регулювання режимів дозволяє зменшити питому витрату палива на тонну зібраного зерна, що підвищить енергоефективність роботи комбайна.

Розуміння фізики впливу режимів на продуктивність може стати фундаментом в подальшому для програмування комбайну як системи, інтелектуальної системи, яка самостійно зможе змінювати проміжок підбарання або швидкість барабана в режимі реального часу.

Частота обертів барабана є головним чинником, що визначає інтенсивність ударної дії на колос. Підвищення обертів збільшує пропускну здатність та якість вимолочування зерна, зокрема важковідокремлюваних культур, але призводить до мікропошкоджень цього зерна (тобто тріщин) та подрібнення соломи. Зниження обертів зменшує травмування зерна, але може призвести до «недомолоту» (коли зерно залишається в колосі), що автоматично знижує загальну продуктивність через втрати.

Молотильний зазор (між барабаном і підбаранням) визначає простір, у якому відбувається процес обмолоту. Оптимальний зазор забезпечує баланс між швидкістю проходження маси та якістю виділення зерна. Звуження зазору підвищує ступінь вилучення зерна, але збільшує енергомісткість процесу та ризик забивання апарата вологою масою. Розширення зазору дозволяє збільшити швидкість подачі маси (продуктивність), але лише до межі, за якою починаються масові втрати недомолотом.

Продуктивність комбайна прямо залежить від того, скільки зернової маси ( $q$ , кг/с) заходить до апарату за одиницю часу. Вплив подачі зернової маси істотний, якщо подача перевищує конструктивну потужність режиму, тоді шар маси стає занадто товстим, погіршуючи сепарацію зерна через підбарання, тобто воно може виноситися разом із соломою. Нерівномірність подачі спричиняє динамічні удари, що порушують стабільність обертів і призводять до втрат потужності двигуна.

Режими роботи необхідно адаптувати до фізико-механічних властивостей зерна. Висока вологість потребує жорсткіших режимів (тобто вищі оберти, менші зазори), що знижує загальну швидкість роботи комбайна. Суха маса може дозволити працювати на високих швидкостях, але вимагає «м'яких» налаштувань, зокрема для запобігання надмірному перебиванню соломи, яка перевантажує систему очистки.

Режим роботи впливає на витрату палива. При неправильному налаштуванні (надто малі зазори або надмірні оберти) до 20-30% енергії може витратитися на марне перетирання соломи, що знижує ККД всього комбайна.

Ідеальний режим роботи - це компроміс, який описується залежністю:

$$P = f(n, \delta, q, w)$$

де  $P$  - продуктивність;  $n$  - частота обертів барабана;  $\delta$  - величина молотильного зазору;  $q$  - величина подачі маси;  $w$  - вологість.

Збільшення пропускну́ї здатності комбайна (q, кг/с) хоча б на 10–15% за рахунок оптимальних режимів дозволяє скоротити кількість необхідної техніки на полі, зменшити ризик потрапляння врожаю під опади, знизити собівартість бункерного зерна.

### Список використаних джерел

1. Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.
2. Кравчук В. І., Кравчук М. П. Зернозбиральні комбайни : навчальний посібник. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2010.
3. Лебедев А. Т. Підвищення ефективності використання зернозбиральних комбайнів : монографія. Харків : Місьдрук, 2011.
4. Сисоліна І. П. Напрями удосконалення молотильних апаратів зернозбиральних комбайнів. Аграрний вісник Причорномор'я : збірник наукових праць. Технічні науки. Одеса, 2013. Вип. 67. С. 121–128.
5. Сисолін П. В., Рибак Т. І., Сало В. М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування : підручник. Кн. 2 : Машини для рільництва. Київ : Урожай, 2002. 364 с.
6. Сисолін П. В., Сало В. М., Свірень М. О. та ін. Сільськогосподарські машини : навчальний посібник / за ред. М. І. Черновола. Кропивницький : Видавець Лисенко В. Ф., 2017. 156 с.

УДК 631

## НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ СОШНИКА ПРОСАПНОЇ СІВАЛКИ

**І. Сисоліна**, *к.т.н., доц.*,  
**Я. Манохин**, *гр. АІ-23мб-1.1*,  
**В. Осадчий**, *гр. АІ-23мб-1.2*

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Удосконалення сошників просапних сівалок є ключовим етапом у переході до технологій Precision Planting (точного висіву), оскільки саме цей вузол відповідає за якість закладання насіння та його контакт із ґрунтом. Проведений аналіз існуючих конструкцій сошників показав їх переваги і недоліки [1, 2, 3]. На базі цього аналізу виявлені основні напрями удосконалення сошників просапних сівалок, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні напрями удосконалення сошників просапних сівалок

Напрями удосконалення	Основні дії	Уточнення
Оптимізація конструкції дискових сошників	Зміна кута входження в ґрунт	Дослідження оптимального кута атаки та кута нахилу дисків для зменшення тягового опору та запобігання надмірному ущільненню стінок насінневого ложа
		Застосування дисків із боровмісних сталей або з нанесенням композитних покриттів для збільшення ресурсу роботи в абразивних середовищах
Покращення умов проростання	Інтеграція прикочувальних пристроїв	Удосконалення конструкції насіннеущільнювачів, які фіксують насінину на дні борозни, виключаючи її «підстрибування»

Напрями удосконалення	Основні дії	Уточнення
Адаптація до технологій No-Till та Mini-Till	Посилення конструкції	Розрахунок рами та вузлів кріплення сошника на підвищені вертикальні навантаження, характерні для прямого посіву в твердий ґрунт

Головною метою подальшого удосконалення сошників просапних сівалок є перехід від статичних налаштувань до адаптивних систем, які самостійно підлаштовуються під зміну польових умов. Це дозволить забезпечити дружність сходів (завдяки однаковій глибині та вологості), зниження енерговитрат (завдяки кращій обтічності сошника), високу продуктивність (через можливість працювати на підвищених швидкостях без втрати якості).

### Список використаних джерел

1. Адамчук В. В., Кравчук М. П. Стан та тенденції розвитку конструкцій зернозбиральних та посівних машин. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2012. Вип. 16. С. 13–24.
2. Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.
3. Сисолін П. В., Рибак Т. І., Сало В. М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування : підручник. Кн. 2 : Машини для рільництва. Київ : Урожай, 2002. 364 с.

УДК 631

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КОТУШКОВОГО АПАРАТА ДЛЯ ВИСІВУ ЗЕРНОВОЮ СІВАЛКОЮ

**І. Сисоліна, к.т.н., доц.,  
В. Сарданов, гр. ГМ-24М-1**

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Питання оптимізації параметрів катушкового апарата для висіву зерною сівалкою є надзвичайно актуальною для вітчизняного агросектору, оскільки обумовлена сучасними вимогами до ресурсозбереження і точного землеробства та напряму пов'язана з продовольчою безпекою та підвищенням конкурентоспроможності сільгоспідприємств.

Дослідженням цих питань займалися і займаються вітчизняні науковці [1, 2, 3, 4].

Потреба у точному висіві насіння зерновими сівалками, зниження пульсації висівного потоку є основними цілями в цьому напрямі, а оптимізація параметрів катушкового висівного апарата є критичним завданням для забезпечення рівномірності розподілу насіння, що безпосередньо впливає на врожайність.

Нерівномірний розподіл насіння в рядку призводить до виникнення «порожніх» зон або, навпаки, загушення посівів. Це створює нерівні умови конкуренції за сонячну енергію, вологу та поживні речовини. Оптимізація апарата дозволяє досягти стабільного кроку висіву, що є фундаментом для максимальної реалізації потенціалу сорту.

Вартість сучасного насіння (особливо елітного та гібридного) постійно зростає. Використання неналаштованих або застарілих катушкових систем призводить до перевитрат або пошкодження зерна.

Оптимізація зазорів та швидкостей дозволяє зберегти цілісність оболонки зерна, що прямо впливає на його польову схожість.

Сьогодні господарства змушені працювати з широким спектром культур - від дрібнонасінних (ріпак) до зернобобових. Оптимізація параметрів катушки дозволяє створити універсальний апарат, який легко переналаштовується, що зменшує витрати на переоснащення парку техніки. Напрями оптимізації параметрів катушкового апарата для висіву зерновою сівалкою наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Напрями оптимізації параметрів катушкового апарата для висіву зерновою сівалкою

№	Напрями	Результати	Сутність
1	Вплив робочої довжини катушки	Регулювання норми висіву	Зміна активної робочої довжини катушки є основним способом налаштування витрат насіння
		Мінімальна довжина	Необхідно враховувати, що за надто малої робочої довжини збільшується нерівномірність висіву («пульсація»), оскільки насіння подається окремими порціями між жолобками
2	Швидкість обертання та кінематичний режим	Уникнення пошкоджень	Збільшення частоти обертання катушки дозволяє зменшити її робочу довжину для тієї ж норми, але це підвищує ризик механічного травмування зерна
		Лінійна швидкість	Оптимальною вважається швидкість, при якій відцентрові сили не перешкоджають заповненню жолобків насінням
		Передаточне відношення	Вибір правильного передаточного числа редуктора дозволяє катушці працювати в діапазоні середніх обертів, що мінімізує пульсацію потоку
3	Геометрія жолобків катушки	Об'єм жолобка	Параметри жолобка мають відповідати фракційному складу насіння (довжина, ширина, глибина), щоб уникнути защемлення зернин
4	Налаштування зазору клапана (скидача)	Запобігання дробленню	Зазор між нижнім краєм катушки та клапаном має бути встановлений відповідно до розміру насіння
5	Фізико-механічні властивості насіння	Сипучість та вологість	Оптимізація параметрів повинна враховувати кут природного укусу та коефіцієнт тертя насіння об матеріал катушки (полімер або чавун)
		Заповнюваність	Ефективність висіву залежить від того, наскільки повно насіння заповнює міжжолобковий простір під дією гравітації

Для досягнення найкращого результату важливо використовувати таку цільову функцію: мінімізація травмування зерна (не більше 0.5–1%), максимальна рівномірність висіву (відхилення між окремими апаратами сівалки не більше 3%), стабільність норми висіву незалежно від швидкості руху агрегату (в межах агротехнічних вимог).

### Список використаних джерел

1. Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.
2. Голуб Л., Довгиш І., Гур'євська О. та ін. Зерновий висівний апарат з незсувною катушкою. Техніка і технології у аграрному виробництві : матеріали II Міжнар. студ. інтернет-конф. (м. Кропивницький, 24 верес. 2020 р.). Кропивницький, 2020. С. 20–22.

3. Сисолін П. В. Звичайні підходи по створенню універсальних вітчизняних сівалок для сівби зернових культур. Кіровоград : КОД, 2008. 84 с.
4. Сисолін П. В., Сисоліна І. П. Сучасна методологія створення сільськогосподарської техніки (на прикладі висівного апарата) : монографія. Кіровоград : Видавець Лисенко В. Ф., 2014. 120 с.

УДК 631

## ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОСІВНОЇ ТЕХНІКИ

**І. Сисоліна, к.т.н., доц.,**  
**С. Пластун, гр. АІ-223-1,**  
**М. Смиженко, гр. АІ-22-1**

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Розвиток посівної техніки є визначальним фактором у сучасному агробізнесі, оскільки саме на етапі посіву закладається до 30–40% успіху майбутнього врожаю.

При цьому кожна культура вимагає певного підходу при її вирощуванні. Так, вирощування гречки має свої особливості, оскільки це культура пізнього строку висіву, вона чутлива до глибини загортання насіння та вимагає рівномірного розподілу рослин на площі для оптимального розгалуження. Осимий ячмінь вимагає особливої уваги до рівномірності глибини загортання та своєчасного внесення стартових добрив для успішної перезимівлі.

Ключовими проблемами сучасної посівної техніки є низька якість дотримання глибини, проблема «двійників» та пропусків, надмірне ущільнення ґрунту, вплив рослинних решток.

На нерівних полях або ґрунтах із різною щільністю механічні системи не встигають адаптуватися, що призводить до нерівномірних сходів.

При збільшенні швидкості висіву точність дозування насіння класичними апаратами падає, що спричиняє перевитрату матеріалу або незасіяні площі.

Велика маса сучасних широкозахватних комплексів створює «плужну підшву», що перешкоджає розвитку кореневої системи рослин.

При роботі за технологіями No-Till або Mini-Till сошники часто забиваються або неякісно прорізають ґрунт, затакуючи солому в борозну.

Головним завданням стає створення ідеальних умов для кожної окремої насінини, що дозволяє суттєво зменшити витрати ресурсів та підвищити стійкість агроценозів до кліматичних змін.

До перспектив розвитку посівної техніки можна віднести диференційований висів, інтегрований ґрунтовий аналіз тощо.

Автоматична зміна норми висіву в межах одного поля на основі електронних карт завдань може оптимізує густоту стояння рослин залежно від родючості ділянки.

Встановлення сенсорів, які прямо під час посіву вимірюють вологість, температуру, вміст гумусу та чистоту борозни, сприятиме оптимізації управління процесом.

Отже, оскільки сьогодні галузь перебуває на зламі між класичною механізацією та цифровою трансформацією, то в майбутньому всі агропідприємства зможуть скористатися повною передачею даних про якість посіву (сингуляція, крок, вологість) у «хмару» для миттєвого аналізу агрономом, це дасть змогу вчасно відреагувати на негативні показники.

## УДОСКОНАЛЕННЯ СТРІЛЧАСТОЇ ЛАПИ КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ МІЖРЯДНОГО ОБРОБІТКУ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР

**Б.С. Вербицький**, здобувач, гр. ГМ-24М-1

**П.Г. Лузан**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький*

**Постановка проблеми.** Сучасні технології вирощування просапних культур передбачають підвищення врожайності при одночасному зниженні енерговитрат і собівартості виробництва. Однією з ключових операцій є міжрядний обробіток ґрунту, який забезпечує знищення бур'янів, розпушування та покращення водно-повітряного режиму.

Однак серійні культиватори не завжди забезпечують стабільну глибину обробітку, повне підрізання бур'янів, мінімальне переміщення ґрунту в захисну зону рядка.

Це призводить до підвищення тягового опору, перевитрати пального та пошкодження культурних рослин. Основною причиною є недосконалість геометричних параметрів стрілочастих лап.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження в галузі ґрунтообробних машин показують, що ефективність роботи стрілочастих лап визначається: кутом різання, кутом кришіння, шириною захвату, фізико-механічними властивостями ґрунту.

Відомі роботи [1-7] встановлюють залежність тягового опору від цих параметрів та умов взаємодії лапи з ґрунтом. Разом з тим, недостатньо дослідженим залишається питання комплексної оптимізації параметрів лапи саме для умов міжрядного обробітку з урахуванням енергоємності процесу, збереження захисної зони рядка, різних фаз розвитку культури.

**Метою роботи** є підвищення ефективності міжрядного обробітку просапних культур шляхом удосконалення конструкції стрілочастої лапи, обґрунтування її раціональних геометричних параметрів, які забезпечують зниження тягового опору при заданій якості підрізання бур'янів і мінімальному переміщенні ґрунту.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Процес взаємодії лапи (рис. 1) з ґрунтом описано моделлю ґрунтового клина, що базується на умовах рівноваги сил. Враховано силу різання ґрунту, силу деформації та переміщення, сили тертя.

Отримано аналітичну залежність тягового опору

$$R = R_p + R_d + R_t, \quad (1)$$

де  $R_p$  – опір різанню;  $R_d$  – опір деформації ґрунту;  $R_t$  – опір тертя.

Встановлено, що тяговий опір прямо пропорційний ширині лапи та глибині обробітку, суттєво залежить від кута різання та кутів тертя.

На рис. 2 наведено залежність нормованого тягового опору стрілочастої лапи від кута різання. Аналіз графіка показує, що зі збільшенням кута різання спостерігається нелінійне зростання тягового опору, що пояснюється збільшенням деформаційної та тертьової складових опору. У діапазоні малих кутів різання інтенсивність зростання є незначною, що відповідає більш енергоефективному режиму роботи лапи. Раціональний кут різання визначається як компроміс між мінімальним опором, якістю підрізання бур'янів.

Введено якісний показник бокового виносу ґрунту

$$\eta = f(\beta, \alpha), \quad (2)$$

де  $\beta$  – кут кришіння;  $\alpha$  – кут різання.

Встановлено, що зі збільшенням кутів  $\alpha$  і  $\beta$  різко зростає переміщення ґрунту до рядка, а це є критичним для ранніх фаз розвитку рослин.

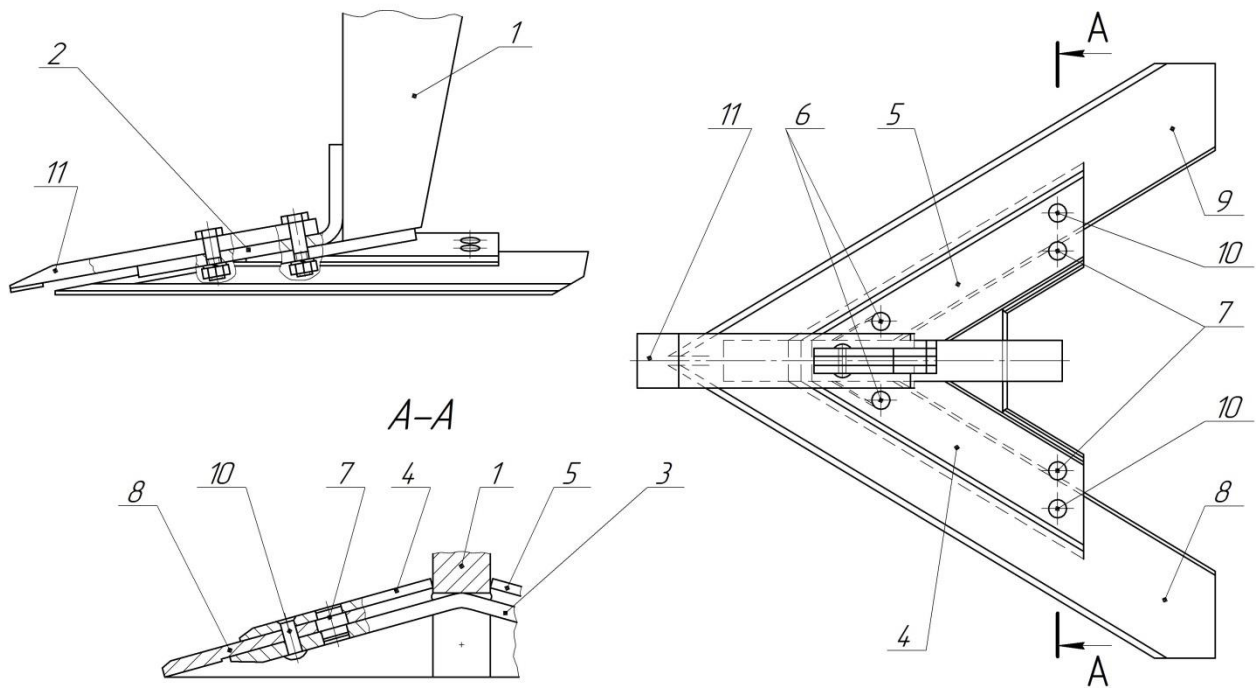


Рис. 1. Запропонована конструкція стрілочасті лапи: 1 – стояк; 2 – основа лапи; 3 – підшва; 4, 5 – ліва і права накладки; 6, 7 – упори; 8, 9 – леза; 10 – кріпильний елемент; 11 – долото

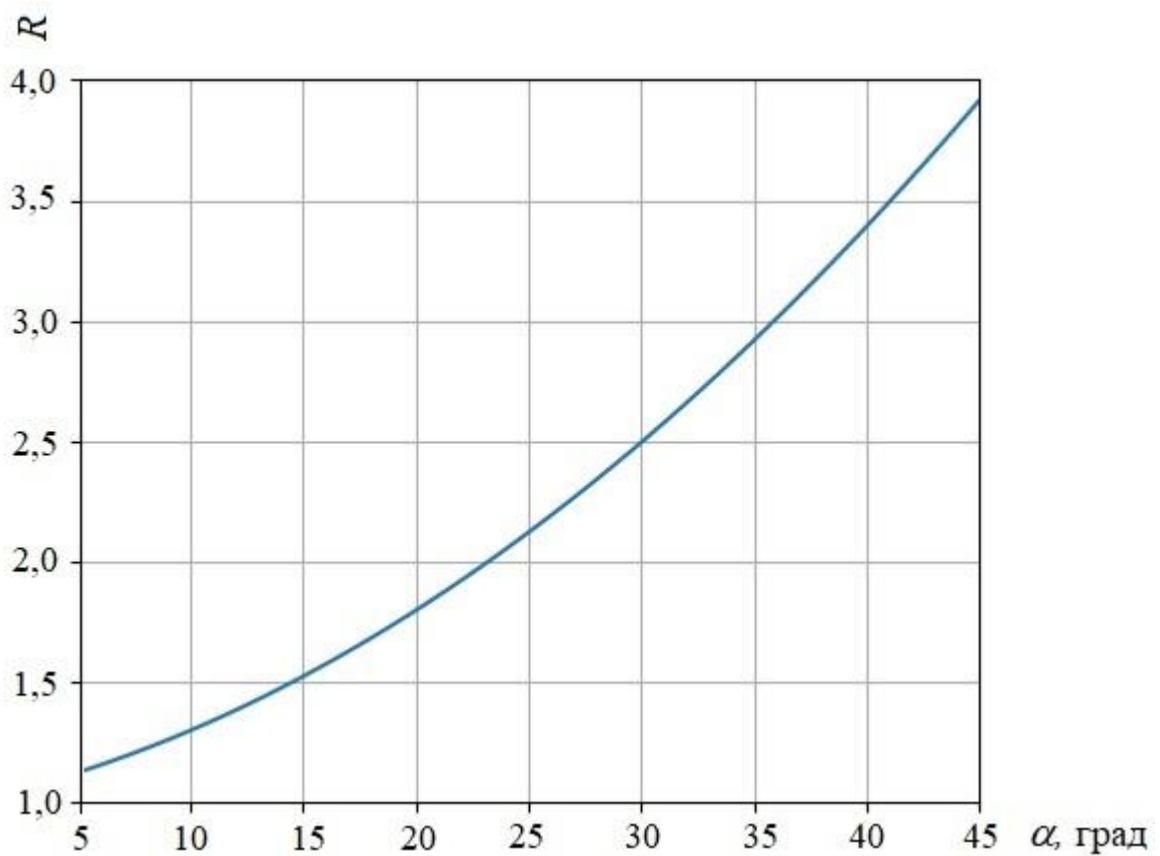


Рис. 2. Залежність нормованого тягового опору стрілочасті лапи від кута різання

Для оптимізації параметрів запропоновано компромісний критерій

$$K = a \cdot R + b \cdot \eta, \quad (3)$$

що враховує енергоємність процесу і збереження захисної зони

Для ранніх фаз розвитку доцільні менші кути різання, а для пізніх – допускається їх збільшення.

#### **Висновки:**

1. Встановлено, що основним фактором енергоємності міжрядного обробітку є геометрія стрілчастої лапи.

2. Отримано аналітичну залежність тягового опору з урахуванням параметрів лапи та властивостей ґрунту.

3. Доведено нелінійний вплив кута різання на тяговий опір та якість обробітку.

4. Визначено закономірності бокового переміщення ґрунту та умови збереження захисної зони рядка.

5. Запропоновано компромісний критерій оптимізації параметрів лапи для різних фаз розвитку культури.

#### **Список використаних джерел**

- 1 Васильковська К.В. Аналіз створення рівномірного потоку насіння до борозни. Сільськогосподарські машини. 2025. Вип. 51. С. 24–33. DOI: 10.36910/acm.vi51.1890.
- 2 Войтюк Д.Г., Барановський В.М., Булгаков В.М. та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку. За ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.
- 3 Загортаючі робочі органи для прямої сівби зернових культур: монографія / Сало В.М., Лузан О.Р., Лузан П.Г., Мачок Ю.В. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В. Ф., 2012. 164 с. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/5473> (дата звернення: 15.01.2026).
- 4 Лузан П.Г., Лузан О.Р. Напрями вдосконалення технічного забезпечення для раціонального використання земельних ресурсів. Раціональне використання ресурсів в умовах екологічно стабільних територій: колективна монографія. Полтава: ТОВ НВП «Укрпромторгсервіс», 2018. С.28-36.
- 5 Машини для сівби, садіння та догляду за посівами: навчальний посібник / Сало В., Лещенко С., Лузан П., Сало Л. Кропивницький: Видавець Лисенко В. Ф., 2022. 220 с.
- 6 Проектування сільськогосподарських машин. Навчальний посібник для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму 6.100202 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» / І.М. Бандера, А.В. Рудь, Я.В. Козій та ін. / за редакцією І.М. Бандери. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2011. 640 с.
- 7 Шмат С.І., Лузан П.Г., Сало В.М. Оригінальні способи і засоби обробітку ґрунту та сівби сільськогосподарських культур. Харків: Мачулін, 2018. 236 с.

УДК 631.362.3

### **ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КАСКАДНОГО ЩІЛИННОГО РЕШЕТА ЗЕРНООЧИСНОЇ МАШИНИ**

*П.Г. Лузан, доц., канд. техн. наук*

*В.Л. Долянчук, здобувач, гр. ГМ-24М-1*

*О.С. Чучупака, здобувач, гр. ГМ-25М-1*

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький*

**Постановка проблеми.** Зерноочистка є ключовою операцією післязбиральної обробки зерна, що визначає його якість, придатність до зберігання та подальшої переробки. Основним робочим органом зерноочисних машин є решето, параметри якого безпосередньо впливають на продуктивність і повноту сепарації.

Разом з тим, традиційні конструкції щілинних решіт характеризуються рядом суттєвих недоліків: нерівномірністю розшарування зернової суміші, зниженням

інтенсивності просіювання по довжині робочої поверхні та нестабільністю геометричних параметрів отворів внаслідок коливань стержнів. Це обмежує ефективність процесу сепарації і потребує удосконалення конструкції робочих органів зерноочисних машин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз сучасних досліджень показує, що підвищення ефективності сепарації зернових сумішей досягається шляхом удосконалення конструкцій решіт, оптимізації їх геометричних параметрів та режимів роботи.

Відомі конструкції щілинних решіт (з паралельних та профільних стержнів) забезпечують ефективне розділення за товщиною частинок, однак мають обмеження: коливання довгих стержнів і нестабільність ширини щілин; зниження інтенсивності сепарації по довжині решета; відсутність умов для послідовного розділення матеріалу; складність або висока вартість окремих конструктивних рішень.

Невирішеною частиною проблеми є забезпечення одночасно інтенсивного розшарування зернової суміші, стабільності геометрії отворів, рівномірної ефективності сепарації по всій довжині решета.

**Метою роботи** є підвищення ефективності процесу сепарації зернових сумішей шляхом удосконалення конструкції щілинного решета зерноочисної машини та обґрунтування його раціональних конструктивно-технологічних параметрів.

**Виклад основного матеріалу.** У роботі запропоновано конструкцію каскадного щілинного решета, яке складається з послідовно розташованих ділянок (каскадів) із різною довжиною та кутами нахилу, рис. 1.

Особливістю конструкції є ступінчаста зміна ширини щілин, розподіл процесу сепарації на окремі зони, жорстке з'єднання стержнів у кінці кожного каскаду для зменшення їх коливань; інтенсифікація розшарування зернового матеріалу при переході між каскадами.

Рух частинки зернового матеріалу по похилій поверхні решета можна розглядати з урахуванням сили тяжіння, реакції опори та сили тертя. Сила тяжіння визначається

$$G = mg, \quad (1)$$

де  $m$  – маса частинки, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Складова сили тяжіння вздовж поверхні решета

$$G_t = mg \cdot \sin \alpha. \quad (2)$$

а нормальна реакція поверхні

$$N = mg \cdot \cos \alpha. \quad (3)$$

Сила тертя, що перешкоджає переміщенню зернового матеріалу

$$F = fmg \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя зерна по поверхні решета;  $\alpha$  – кут нахилу робочої поверхні.

Тоді рівняння руху частинки вздовж поверхні решета має вигляд

$$ma = mg \cdot \sin \alpha - fmg \cdot \cos \alpha. \quad (5)$$

Звідси прискорення переміщення зернового матеріалу

$$a = g(\sin \alpha - f \cos \alpha). \quad (6)$$

Швидкість руху матеріалу на окремому каскаді можна визначити за залежністю

$$V_i = \sqrt{2gL_i(\sin \alpha_i - f \cos \alpha_i)}. \quad (7)$$

де  $L_i$  – довжина  $i$ -го каскаду, м;  $\alpha_i$  – кут нахилу  $i$ -го каскаду.

Час перебування зернового матеріалу на каскаді:

$$t_i = \frac{L_i}{V_i}. \quad (8)$$

Загальний час перебування матеріалу на робочій поверхні каскадного решета

$$T = \sum_{i=1}^n t_i. \quad (9)$$

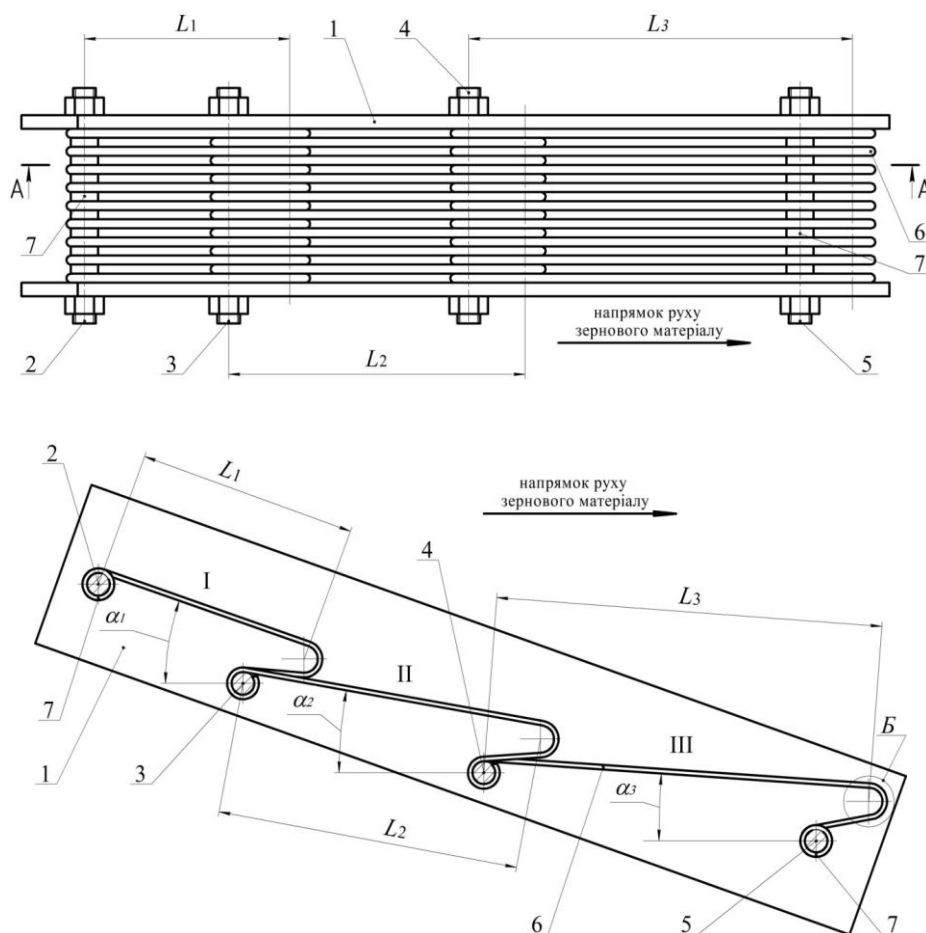


Рисунок 1 – Конструктивно-технологічна схема каскадного решета зерноочисної машини: 1 – рама; 2, 3, 4, 5 – поперечні елементи; 6 – поздовжні стержні; 7 – калібрувальні шайби

Для забезпечення більш рівномірної сепарації по довжині решета доцільно виконувати умови

$$L_1 < L_2 < L_3. \quad (10)$$

$$\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3. \quad (11)$$

Отримано аналітичні залежності, що описують рух зернового матеріалу по поверхні решета, час перебування частинок у зоні сепарації, вплив геометричних і кінематичних параметрів на ефективність процесу. У роботі рекомендовано орієнтовні параметри  $L_1 = 0,5 \dots 0,7$  м,  $L_2 = 0,9 \dots 1,2$  м,  $L_3 = 1,3 \dots 1,6$  м, кути нахилу відповідно  $\alpha_1 = 28^\circ \dots 32^\circ$ ,  $\alpha_2 = 24^\circ \dots 28^\circ$ .

Встановлено, що найбільш інтенсивне просіювання відбувається на початкових ділянках, тому каскадна структура дозволяє повторно активізувати процес розшарування на кожному етапі.

**Висновки.** У результаті дослідження встановлено, що ефективність сепарації визначається умовами розшарування та стабільністю геометрії щілин. Традиційні решета не забезпечують рівномірної інтенсивності процесу по довжині. Запропоноване каскадне щілинне решето дозволяє підвищити продуктивність та якість очищення за рахунок поетапного розділення матеріалу.

### Список використаних джерел

1. Алієв Е.Б., Яропуд В.М. Техніко-технологічне забезпечення прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшника. Вібрації в техніці та технологіях. Всеукраїнський науково-технічний журнал. 2019. Вип. 1 (92). С. 40-47.
2. Бредихін В.В. Теоретичні основи вібропневмовідцентрового розділення насінневих матеріалів за густиною насіння: монографія. Харків, 2017. 81 с.
3. Думич В., Ролько Т. Сучасні зерноочисні машини. Пропозиція - Головний журнал з питань агробізнесу: веб-сайт. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/8931-suchasni-zernoochysni-mashyny.html> (дата звернення 20.10.2017).
4. Задорожній О., Мороз С.М., Васильковський О.М. Аналіз конструкцій очисних пристроїв гравітаційних решіт з коливальним рухом решітного стану зерноочисних машин загального призначення. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2023. Вип. 53. С. 237-246. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.237-246>
5. Котов Б.І., Деревенько І.А., Степаненко С.П. Теоретичні аспекти сепарації зернових матеріалів на ступінчатоконачному решеті вібровідцентрових машин. Вібрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський науково-технічний журнал. 2016. Вип. 3. С. 175-180.
6. Лузан П.Г. Кісільов Р.В., Лузан О.Р. Обґрунтування параметрів решета з щілинами непостійного розміру. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2019. Вип. 49. С. 147-154. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2019.49.147-154>
7. Сало В., Лузан П., Богатирьов Д. Технічне забезпечення підготовки зерна до зберігання: монографія. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2014, 148 с.
8. Сало В.М., Лузан П.Г., Богатирьов Д.В. Наукові основи сепарації зерна на решетах з клиноподібною формою отворів: монографія. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2013. 148 с.

УДК 631.316.022

## ВПЛИВ ДИНАМІКИ РУХУ КУЛЬТИВАТОРА НА ЯКІСТЬ ОБРОБІТКУ

**О.Р. Лузан**, канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький*

**Постановка проблеми.** Якість міжрядного обробітку просапних культур значною мірою залежить не лише від конструкції робочих органів культиватора, а й від характеру його руху по полю. Під час роботи агрегат взаємодіє з нерівною поверхнею ґрунту, рослинними рештками, грудками та ущільненими ділянками, що спричиняє вертикальні коливання рами і робочих секцій.

Такі коливання призводять до відхилення фактичної глибини обробітку від заданої, нерівномірного розпушування ґрунту, зростання тягового опору, підвищеного зношування робочих органів і можливого пошкодження культурних рослин. У завантаженій магістерській роботі тема пов'язана з механізацією вирощування кукурудзи та обґрунтуванням параметрів просапного культиватора, зокрема з аналізом динаміки руху культиватора по полю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У дослідженнях з механізації міжрядного обробітку значну увагу приділяють удосконаленню конструкцій культиваторів, підвищенню стабільності глибини ходу робочих органів, зменшенню тягового опору та

покращенню копіювання рельєфу поля. Сучасні просапні культиватори обладнують паралелограмними підвісками, копіювальними колесами, захисними дисками, змінними лапами та системами локального внесення добрив.

Водночас недостатньо повно розглянутим залишається питання взаємозв'язку між швидкістю руху агрегату, параметрами підвіски робочої секції та амплітудою її вертикальних коливань. Саме ці чинники визначають стабільність глибини обробітку і рівномірність розпушування ґрунту.

**Метою роботи** є встановлення впливу динаміки руху просапного культиватора на якість міжрядного обробітку ґрунту та обґрунтування раціональних параметрів роботи агрегату, які забезпечують стабільну глибину ходу робочих органів.

**Виклад основного матеріалу.** Під час руху культиватора по полю на його робочі органи діють змінні сили опору ґрунту, вертикальні реакції, сили інерції та коливальні навантаження. З метою оцінки впливу динаміки руху культиватора на якість обробітку було розглянуто залежність амплітуди вертикальних коливань робочої секції від швидкості руху агрегату.

У спрощеному вигляді вертикальні коливання секції культиватора можна описати рівнянням

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = F(t), \quad (1)$$

де  $m$  – маса секції;  $c$  – коефіцієнт демпфування;  $k$  – жорсткість підвіски;  $F(t)$  – збурююча сила від нерівностей ґрунту.

При русі культиватора по нерівній поверхні збурення має періодичний характер, а його частота визначається швидкістю руху

$$\omega = \frac{2\pi V}{L}, \quad (2)$$

де  $V$  – швидкість руху,  $L$  – довжина хвилі нерівностей. Відносна амплітуда коливань визначається залежністю

$$\frac{A}{A_0} = \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\xi r)^2}}, \quad (3)$$

де  $r$  – відносна частота,  $\xi$  – коефіцієнт демпфування.

На основі цієї моделі побудовано графік залежності амплітуди коливань від швидкості руху культиватора (рис. 1).

Аналіз графіка показує, що зі збільшенням швидкості руху культиватора зростає частота збурення, що призводить до збільшення амплітуди коливань робочих секцій.

У діапазоні швидкостей 6–8 км/год амплітуда коливань залишається відносно невеликою, що забезпечує стабільну глибину обробітку та високу якість розпушування ґрунту.

При подальшому збільшенні швидкості (понад 9 км/год) спостерігається різке зростання амплітуди коливань, що свідчить про наближення системи до резонансного режиму. Це призводить до нестабільної глибини обробітку, нерівномірного підрізання бур'янів, зростання тягового опору, підвищеного зношування робочих органів.

Отже, динамічні характеристики культиватора безпосередньо визначають якість технологічного процесу, а вибір раціональної швидкості руху є ключовим фактором ефективної роботи агрегату.

Найнебезпечнішим є режим, коли частота збурення наближається до власної частоти системи. У цьому випадку виникає резонанс, амплітуда коливань секції різко зростає, що призводить до нестабільної глибини обробітку.

Якісна робота культиватора можлива за умови, що робочі секції швидко реагують на зміну мікрорельєфу, але не переходять у режим надмірних коливань. Для цього необхідно узгодити масу секції, жорсткість підвіски, демпфування та швидкість руху агрегату.

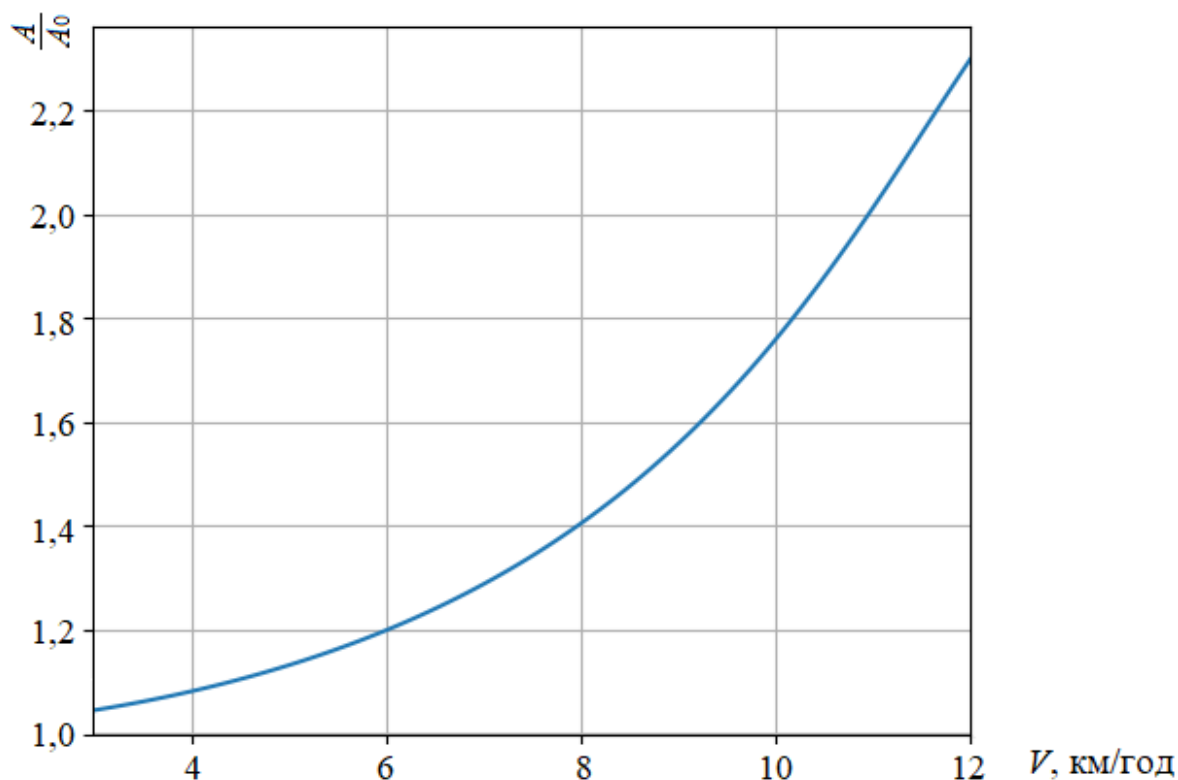


Рис. 1. Залежність відносної амплітуди коливань секції культиватора від швидкості руху

З аналізу динаміки руху встановлено, що при збільшенні швидкості руху зростає частота збурення, а отже, і амплітуда коливань робочих органів. За надмірної швидкості лапи періодично заглиблюються або виходять із ґрунту, що спричиняє нерівномірне розпушування та появу необроблених ділянок.

Раціональним є діапазон швидкості 6–8 км/год. За таких умов забезпечується достатня продуктивність агрегату, стабільність глибини ходу стрілочастих лап і зменшення динамічних навантажень на секції культиватора. Перевищення швидкості понад 9 км/год може призвести до різкого збільшення амплітуди коливань і погіршення якості обробітку.

**Висновки.** Динаміка руху культиватора є одним із визначальних чинників якості міжрядного обробітку ґрунту. Вертикальні коливання робочих секцій впливають на стабільність глибини, рівномірність розпушування, тяговий опір і довговічність робочих органів.

Для забезпечення якісного обробітку необхідно уникати резонансних режимів, підбирати раціональну швидкість руху та забезпечувати оптимальне демпфування секцій. Найдоцільнішим для просапного культиватора є робочий діапазон швидкості 6–8 км/год.

Перспективою подальших досліджень є експериментальна перевірка отриманих теоретичних залежностей у польових умовах, уточнення параметрів підвіски секцій та оцінювання впливу різних типів робочих органів на стабільність глибини обробітку.

### Список використаних джерел

1. Войтюк Д.Г., Барановський В.М., Булгаков В.М. та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку. За ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.
2. Лузан П.Г., Лузан О.Р. Напрями вдосконалення технічного забезпечення для раціонального використання земельних ресурсів. Раціональне використання ресурсів в умовах екологічно стабільних територій: колективна монографія. Полтава: ТОВ НВП «Укрпромторгсервіс», 2018. С.28-36.

3. Лузан П.Г. Перспективні технології вирощування сільськогосподарських культур. Perspective trends in scientific research 2015. Materials of International scientific and practical conference. Volume 2. October, 17-22, 2015, Bratislava, Slovak Republic. С.167-168.
4. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей / Сало В.М., Лещенко С.М., Лузан П.Г. та ін. Харків: Мачулін, 2016. 244 с.
5. Міжрядний просапний культиватор з підживленням УСМК-5,4: Уманьферммаш. URL: <https://fermmash.in.ua/katalog/kulytyvatory/mezhdurya/dovuj-prosapnoj-kultivator-s-podpitkoj-usmk-5-4/> (дата звернення 20.03.2026).
6. Сало В., Лещенко С., Лузан П., Сало Л. Машини для сівби, садіння та догляду за посівами: навчальний посібник. Кропивницький: Видав. Лисенко В.Ф., 2022. 220 с.
7. Сало В.М., Лузан П.Г. Напрями вдосконалення технічного забезпечення новітніх технологій прямої сівби зернових культур. Техніка і технології АПК, №9(60), 2014. С. 14-17.
8. Шмат С.І., Лузан П.Г., Сало В.М. Оригінальні способи і засоби обробітку ґрунту та сівби сільськогосподарських культур. Навчальний посібник для студентів технічних спеціальностей. Харків: Мачулін, 2018. 236 с.

УДК 631.362.3

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КАСКАДНОГО СТЕРЖНЬОВОГО РЕШЕТА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ**

**А.Є. Грінчук**, аспірант

**П.Г. Лузан**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький*

**Постановка проблеми.** Післязбиральна обробка зерна є важливим етапом технологічного циклу агропромислового виробництва, оскільки якість очищення безпосередньо впливає на зберігання, транспортування та переробку зернової продукції.

Основним робочим органом зерноочисних машин є решітна система, яка забезпечує сепарацію матеріалу за геометричними ознаками. Однак традиційні решета (перфоровані та щілинні) мають суттєві недоліки: забивання отворів при роботі з вологим ворохом, обмежена ефективність багатофракційного розділення, нерівномірне використання робочої площі.

Це знижує продуктивність машин і якість очищення зерна. Тому актуальним є створення нових конструкцій решіт, які забезпечують інтенсифікацію процесу сепарації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз існуючих конструкцій показує, що перфоровані решета прості, але схильні до забивання, щілинні решета мають більшу пропускну здатність, але обмежені функціонально; стержньові решета менш забиваються, але мають постійну ширину щілин.

Перспективним напрямом є застосування решіт зі змінною шириною щілин, з каскадною структурою і ефектом самоочищення.

Проте недостатньо дослідженим залишається питання обґрунтування раціональних параметрів таких решіт (ширини щілин, довжини каскадів, режимів руху матеріалу).

Метою роботи є обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів каскадного стержньового решета, що забезпечують підвищення ефективності очищення зернової суміші.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Запропоноване решето має каскадну будову і складається з повздовжніх стержнів різного діаметру  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ , (рис. 1). Ширина щілин  $a$ ,  $b$ ,  $c$  збільшується вздовж руху матеріалу: 1-й каскад – дрібна фракція, 2-й каскад – середня фракція, 3 – й каскад – крупна фракція, сход – залишок матеріалу. Під дією ваги оброблюваного матеріалу повздовжні стержні, з яких складається решето, здійснюють

незначні пружні деформації в місці згину  $B$ , завдяки чому його щілини дещо розширюються в напрямку руху матеріалу і воно самоочищається. Такий підхід дозволяє здійснювати багатофракційне розділення на одному робочому органі.

Одним із ключових параметрів решета є площа його робочої поверхні, яка визначає пропускну здатність та ефективність сепарації зернової суміші. Недостатня площа призводить до перевантаження шару матеріалу, а надлишкова – до нераціонального використання конструкції.

Продуктивність решета визначається як масова витрата матеріалу через його робочу поверхню

$$Q = \rho \cdot F \cdot h \cdot v, \quad (1)$$

де  $\rho$  – насипна густина зерна,  $\text{кг/м}^3$ ;  $F$  – площа робочої поверхні решета,  $\text{м}^2$ ;  $h$  – товщина шару зернової суміш,  $\text{м}$ ;  $v$  – швидкість переміщення матеріалу по решету,  $\text{м/с}$ . Звідси площа робочої поверхні

$$F = \frac{Q}{\rho \cdot h \cdot v}. \quad (2)$$

Ця формула відображає фізичний зміст процесу:  $\rho \cdot h$  – маса шару на одиницю площі;  $v$  – швидкість переміщення матеріалу по решету;  $F$  – необхідна площа для забезпечення заданого потоку.

Проходження часток зернової суміші через щілини решета має імовірнісний характер, тому зі збільшенням часу їх перебування на робочій поверхні зростає ймовірність їх проходження крізь отвори.

Введемо коефіцієнт інтенсивності просіювання  $k$  – узагальнений параметр, що характеризує частоту реалізації проходження часток крізь щілини решета та враховує їх орієнтацію, взаємодію з робочою поверхнею і ступінь розпушення зернового шару. Тоді частина часток, що пройшли через решето за час  $t$ , описується формулою

$$\eta(t) = 1 - e^{-kt}. \quad (3)$$

де  $\eta$  – ефективність очищення зернової суміші;  $k$  – коефіцієнт інтенсивності просіювання;  $t$  – час перебування на решеті.

Формули (1)–(2) описують пропускну здатність решета, однак не враховують ефективність просіювання. Реальний потік матеріалу, що проходить через щілини, визначається з урахуванням імовірнісного характеру процесу

$$Q_{\text{эф}} = \rho \cdot F \cdot h \cdot v \cdot \eta(t). \quad (4)$$

Таким чином, ефективність очищення безпосередньо впливає на необхідну площу решета. З урахуванням  $t = L/v$  встановлено, що швидкість руху матеріалу одночасно визначає як продуктивність, так і якість розділення, що обумовлює необхідність її оптимізації. Графічна інтерпретація залежності ефективності очищення від часу перебування матеріалу на решеті наведена на рис. 2.

З графіка видно, що ефективність очищення зернової суміші зростає зі збільшенням часу перебування матеріалу на решеті за експоненціальним законом. Найбільш інтенсивне зростання спостерігається в інтервалі 1–3 с, після чого процес виходить на режим насичення. Це підтверджує доцільність вибору часу перебування матеріалу на рівні 3–3,5 с.

У результаті проведених досліджень встановлено, що застосування каскадного стержньового решета зі змінною шириною щілин дозволяє підвищити ефективність процесу очищення зернового вороху за рахунок інтенсифікації просіювання та реалізації багатофракційного розділення на одному робочому органі.

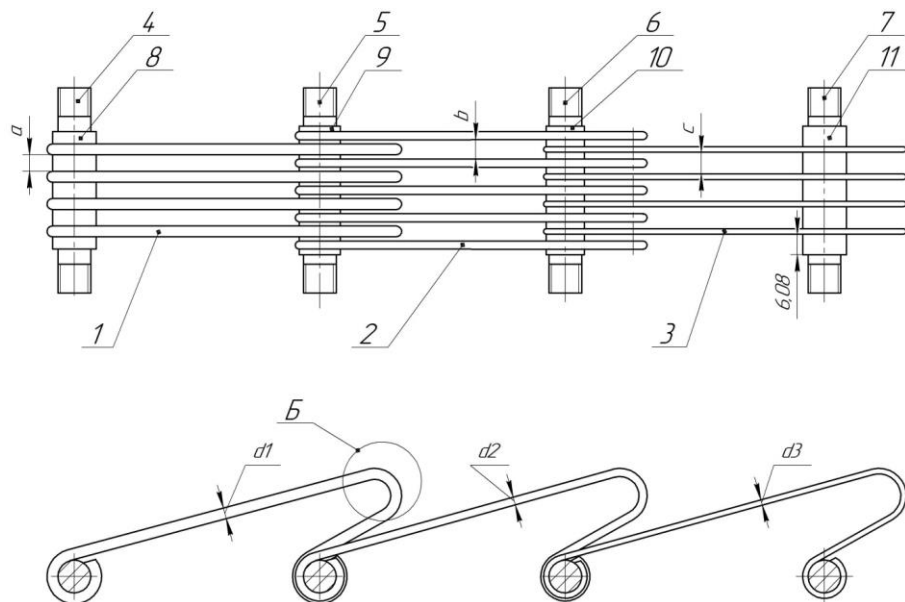


Рисунок 1 – Конструкція каскадного стержньового решета: 1, 2, 3 – поєздовжні стержні; 4, 5, 6, 7 – поперечні осі; 8, 9, 10, 11 – калібруючі шайби

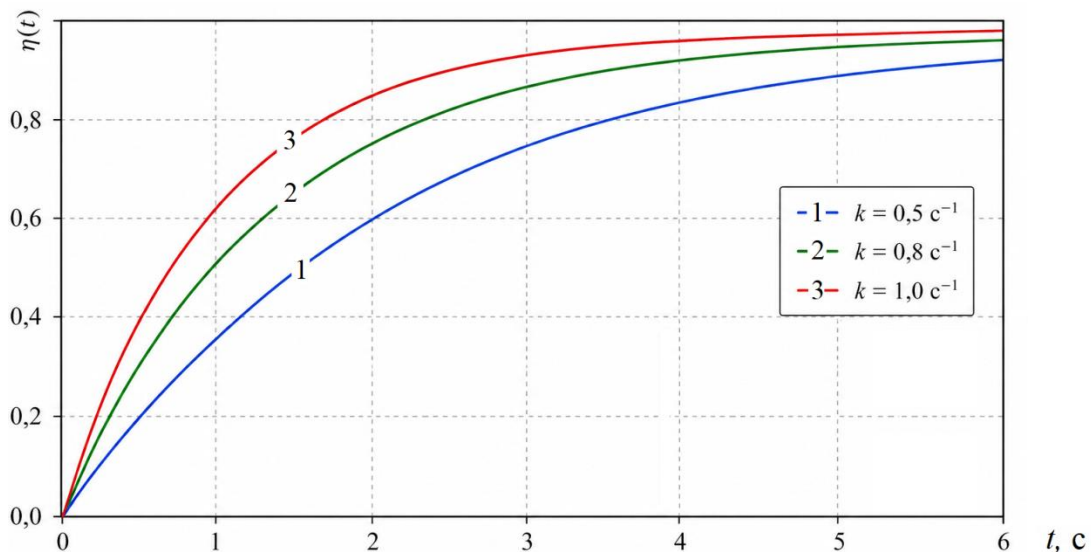


Рисунок 2 – Залежність ефективності очищення зернової суміші від часу перебування матеріалу на решеті для різних значень коефіцієнта інтенсивності просіювання  $k$

Обґрунтовано основні параметри решета та встановлено, що ефективність очищення зернової суміші залежить від часу перебування матеріалу на робочій поверхні за експоненційним законом. Раціональний час перебування становить 3,0–3,5 с, що забезпечує ефективність очищення на рівні 90–95%.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на експериментальну перевірку отриманих залежностей та оптимізацію конструктивних параметрів решета для різних культур.

### Список використаних джерел

1. Сало В., Лузан П., Богатирьов Д. Технічне забезпечення підготовки зерна до зберігання: монографія. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2014, 148 с.
2. Тіщенко Л., Харченко С., Василенко О. Нові можливості сепарації та калібрування зерна. Пропозиція - Головний журнал з питань агробізнесу: веб-сайт. URL: <https://propozitsiya.com/ua/novi-mozhливosti-separaciyi-ta-kalibruvannya-zerna> (дата звернення 09.11.2015).
3. Задорожній О., Мороз С.М., Васильковський О.М. Аналіз конструкцій очисних пристроїв гравітаційних решіт з коливальним рухом решітного стану зерноочисних машин загального призначення. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2023. Вип. 53. С. 237-246. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.237-246>.

4. Котов Б.І., Деревенько І.А., Степаненко С.П. Теоретичні аспекти сепарації зернових матеріалів на ступінчатоконачному решеті вібровідцентрових машин. Вібрації в техніці та технологіях: Всеукраїнський науково-технічний журнал. 2016. Вип. 3. С. 175-180.
5. Алієв Е.Б., Яропуд В.М. Техніко-технологічне забезпечення прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшника. Вібрації в техніці та технологіях. Всеукраїнський науково-технічний журнал. 2019. Вип. 1 (92). С. 40-47.
6. Бредихін В.В. Теоретичні основи вібропневмовідцентрового розділення насіннєвих матеріалів за густиною насіння: монографія. Харків, 2017. 81 с.
7. Сало В.М., Лузан П.Г., Богатирьов Д.В. Наукові основи сепарації зерна на решетах з клиноподібною формою отворів: монографія. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2013. 148 с.

УДК 631.632

### УДОСКОНАЛЕННЯ ТУРБІННОГО ПНЕВМОСЕПАРАТОРА З ОБҐРУНТУВАННЯМ ЙОГО ПАРАМЕТРІВ

*А. Бондар, студент гр. ГМ-24М-1*

*Д. Петренко, к.т.н., доцент*

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Сучасний агропромисловий комплекс постає перед викликом забезпечення максимальної якості насіннєвого матеріалу в умовах зростання вартості енергоресурсів та посилення екологічних стандартів. Зернова маса, що надходить від комбайнів, є складною полідисперсною системою. Саме етап первинного очищення та калібрування визначає подальшу стійкість збіжжя під час зберігання та його ринкову вартість.

Можливості традиційних машин з вертикальними пневмоканалами сьогодні практично вичерпані. Основною проблемою залишається недостатній час контакту суміші з повітрям та виникнення «зон затінення», де легкі домішки, перебуваючи всередині щільного шару, не встигають сепаруватися [1-5].

Перспективним шляхом інтенсифікації сепарації є не нарощування потужності вентиляторів, а оптимізація геометрії робочої зони [1, 2, 5-10]. Запропонований перехід до зигзагоподібної форми кільцевого пневмоканалу (рис. 1) дозволяє реалізувати принцип багаторазового перерозподілу зернового шару [2]. Кожен злам каналу виступає точкою динамічного розпушення, де вектори сили тяжіння та аеродинамічного опору змінюють свій кут.

В процесі дослідження кільцевого пневмоканалу зигзагоподібної форми розроблена диференціальна модель руху, яка враховує сили тяжіння, аеродинамічного опору, силу Магнуса, силу Бассе та вплив приєднаних мас.

Ключовими результатами теоретичного аналізу є наступні (рис. 2). Легкі домішки (низьке число Стокса) миттєво адаптуються до зміни вектора швидкості повітря. Важкі зерна під дією інерції відхиляються від лінії току, що призводить до їх циклічних зіткнень зі стінками. Це створює передумови для чіткого розділення потоків.

У зигзагоподібному каналі важке зерно за інерцією взаємодіє зі стінками, що спричиняє механічне розпушення шару. Це дозволяє повітрю підхопити легку домішку, яка в прямому каналі була б «затінена» зернинами.

Зигзаги працюють як турбулізатори, вирівнюючи поле швидкостей повітря по всьому перерізу, що нівелює недоліки прямих кільцевих каналів.

Шляхом моделювання встановлено раціональні конструктивні параметри, зокрема кут нахилу сегментів  $\alpha$  (рис. 2), оптимальний діапазон якого становить  $22...25^\circ$ . При  $\alpha < 15^\circ$  ефект розпушення нівелюється. При  $\alpha > 30^\circ$  різко зростають гідравлічні втрати, що

загрожує винесенням повноцінного зерна у відходи.

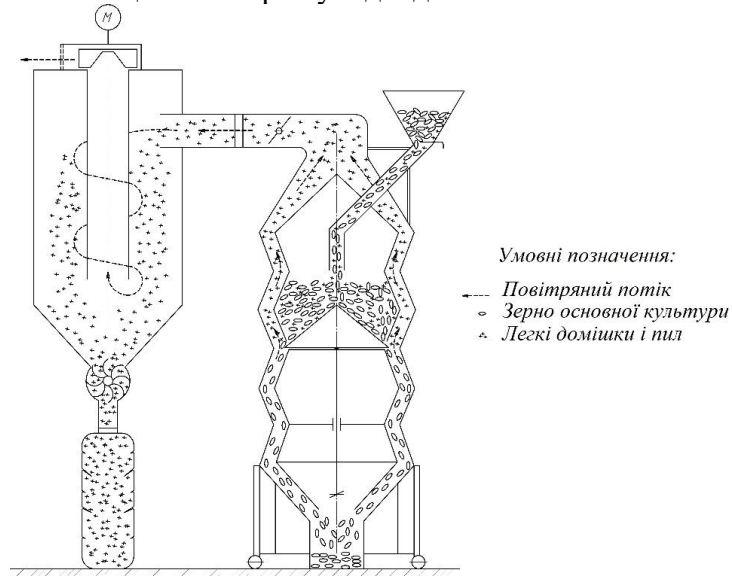


Рис. 1. Схема сепаратора, що має зигзагоподібну форму кільцевого пневмоканалу

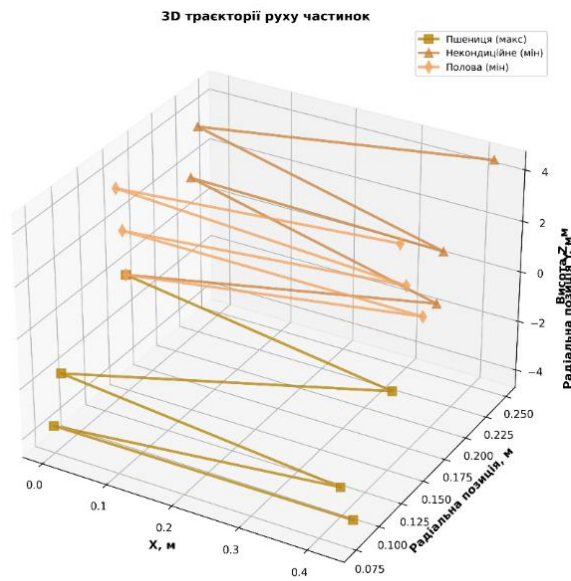


Рис. 2. 3-D візуалізація траєкторій часток у зигзагоподіпному пневмоканалі

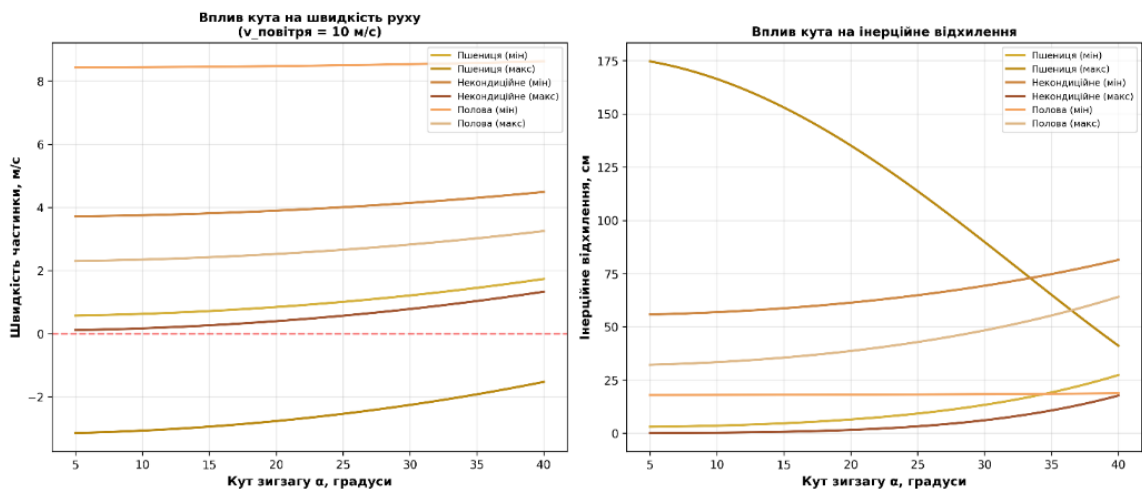


Рис. 3. Результати дослідження впливу кута нахилу сегментів

Кількість сегментів  $n = 4$  (рис. 4) сприяє зменшенню нерівномірності розподілу часток у 4 рази, оскільки геометрія зигзага збільшує шлях і час контакту часток з повітрям на 15...18%.

Таким чином, застосування зигзагоподібної конфігурації пневмосепаруючого каналу забезпечує (рис. 5) приріст ефективності очищення зерноsumіші на 12...18% порівняно з базовими вертикальними каналами, стабільність енергетичних витрат за рахунок відсутності необхідності збільшення швидкості повітряного потоку, підвищення чистоти кінцевого продукту завдяки руйнуванню «зон затінення» на кожному перегині каналу.

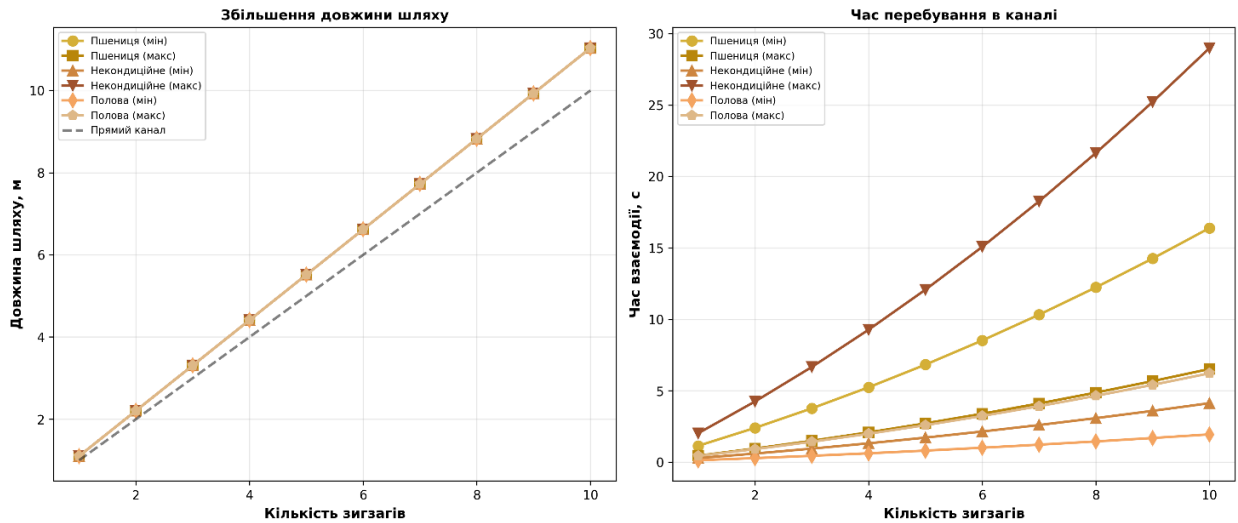


Рис. 4. Результати дослідження впливу кількості сегментів

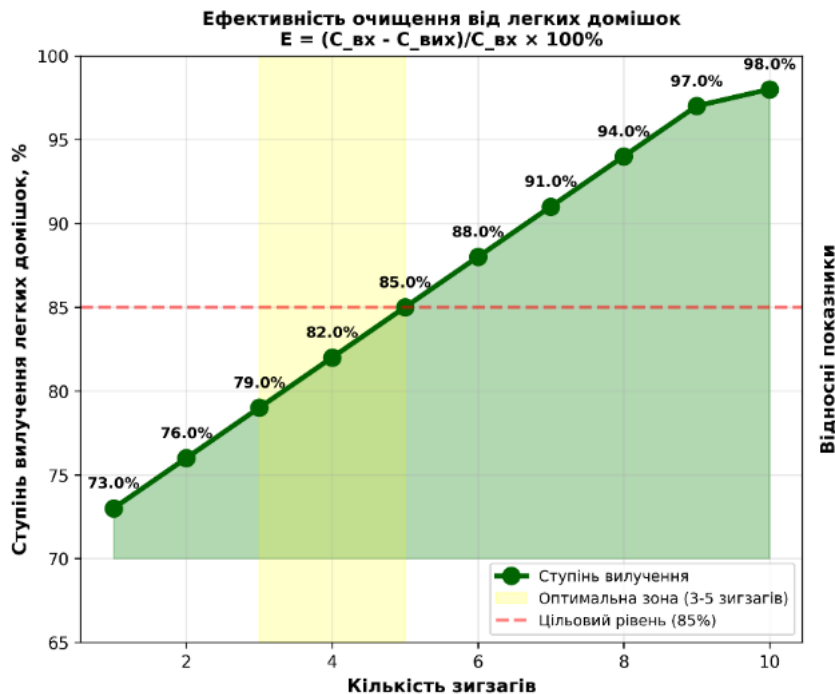


Рис. 5. Результати дослідження ефективності сепарації у зигзагоподіпному пневмоканалі

### Список використаних джерел

1. Ефективність розділення зернового матеріалу на фракції турбінним сепаратором / Д. І. Петренко, О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, О. В. Нестеренко. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Вип. 43. Ч. 2. 2013. С. 230-236.

2. Степаненко С.П. Дослідження процесу пневматичної сепарації насіння в кільцевому зигзагоподібному сепараторі / С.П. Степаненко // Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – С. 59 - 65.
3. Степаненко С. П., Котов Б. І. Основні концептуальні положення пневматичного фракціонування зернових матеріалів. Механізація та електрифікація сільського господарства : загальнодерж. зб. 2018. Вип. № 8 (107). С. 80-88.
4. Нестеренко О.В., Лещенко С.М., Васильковський О.М., Петренко Д.І. Оцінка рівномірності розподілу та засміченості зерна при його багаторівневому введенні в пневмосепаруючий канал. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кропивницький : ЦНТУ. Вип. 51. 2021. С. 111-116. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.111-116>.
5. Nesterenko, O. V., Leshchenko, S. M., Vasylovskiy, O. M., & Petrenko, D. I. (2017). Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding. INMATEH – Agricultural Engineering, 53(3), 65-70.
6. Каталог продукції фірми Tornum AB. Air Aspirator Damas Pulco. URL: <https://www2.tornum.com/product/damas-pulco/>.
7. Каталог продукції фірми Kongskilde. Aspirators – KF. URL: <https://kongskilde-industries.com/grain/usa/product/aspirators-kf/>.
8. Каталог продукції компанії ТОВ «ОЛІС». Повітряний сепаратор СВО-1. URL: <https://olis.com.ua/oborudovanie/ochischennya-zerna/povityrany-separator-svo-1/>.
9. Stepanenko, S. P., Kotov, B. I. Theoretical research of separation process grain mixtures. Machinery & Energetics. 2019. 10 (4). P. 137-143.
10. Недельський Д.С., Петренко Д.І. Мехатронні принципи керування зерноочисними сепараторами. Вісник Степу. Науковий збірник ІСГС НААН. Вип. 22. Вінниця : НІЛАН-ЛТД, 2025. С. 84-86.

УДК 631.632

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СКАЛЬПЕРАТОРНОГО СЕПАРАТОРА З ОБҐРУНТУВАННЯМ ЙОГО ПАРАМЕТРІВ**

**Є. Мельник**, студент гр. ГМ-24М-1

**Д. Петренко**, к.т.н., доцент

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Сільськогосподарське машинобудування сьогодні є фундаментом продовольчої безпеки, трансформуючи традиційне землеробство у високотехнологічну індустрію. Впровадження інноваційної техніки дозволяє не лише нарощувати обсяги виробництва, а й радикально знижувати витрати на робочу силу та мінімізувати втрати врожаю. У цьому контексті обладнання для очищення зерна стає критичним елементом, що визначає якість та подальшу ринкову долю агропродукції.

Видалення сторонніх домішок, каміння та битого зерна – це не просто агротехнічна вимога, а стратегічний інструмент підвищення ліквідності. Очищене зерно, що відповідає міжнародним стандартам, перетворюється із сировини на дорогий актив. Проте сучасні барабанні сепаратори часто демонструють невідповідність між задекларованою продуктивністю та реальною якістю очищення [1].

Ефективність скальператора залежить від точності його налаштувань. Сучасні умови вимагають переходу від емпіричних методів до наукового обґрунтування параметрів. Оптимізація кінематики, геометрії робочих органів та динаміки решітного сепарування є ключем до створення машин нового покоління. Глибокий аналіз взаємодії зернового потоку з робочими поверхнями дозволяє трансформувати процес очищення з випадкового у прогнозований.

Дослідження тенденцій світового машинобудування [2-9] виявило два основні вектори розвитку:

- спеціалізовані скальператори (наприклад, Bühler LAKA, OBC-355), орієнтовані на високу потужність і грубу очистку за рахунок спрощеної кінематики;
- універсальні системи («ЛУЧ» ЗСО, MYSiLO серії Т), які поєднують повітряну аспірацію та багатосекційні барабани для комплексного циклу підготовки.

Найбільш раціональною схемою визначено одинарний п'ятисекційний барабан (рис. 1). Він поєднує надійність скальператорів із гнучкістю універсальних машин, реалізуючи складну траєкторію руху фракцій та поетапний відбір домішок за один прохід.

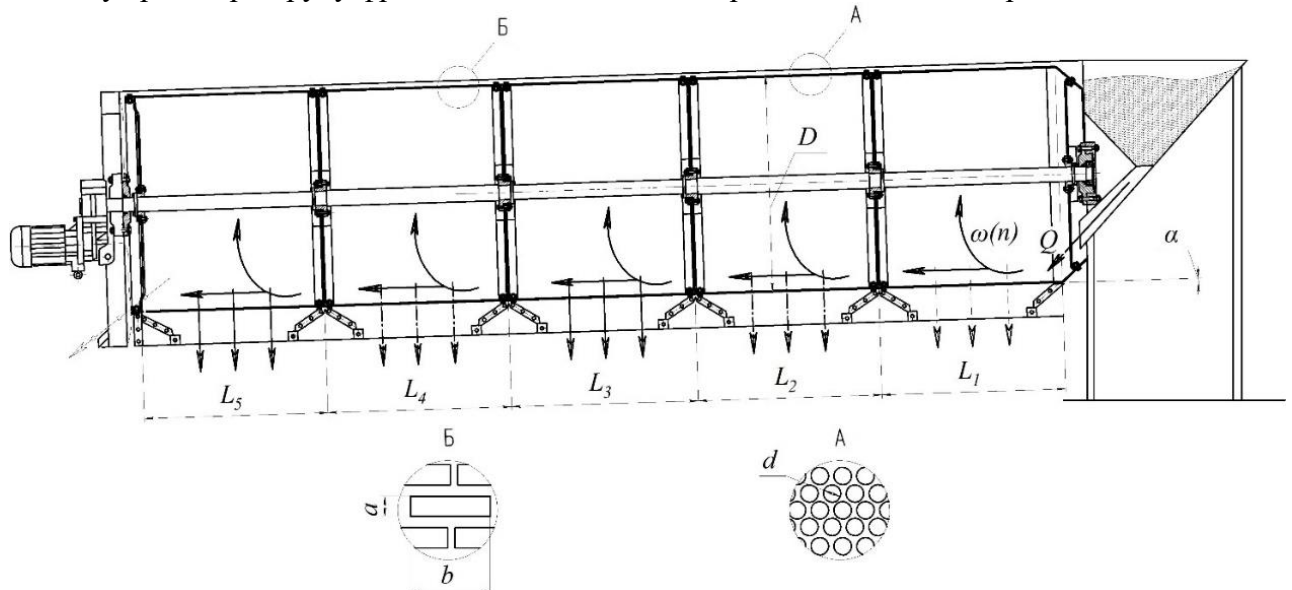
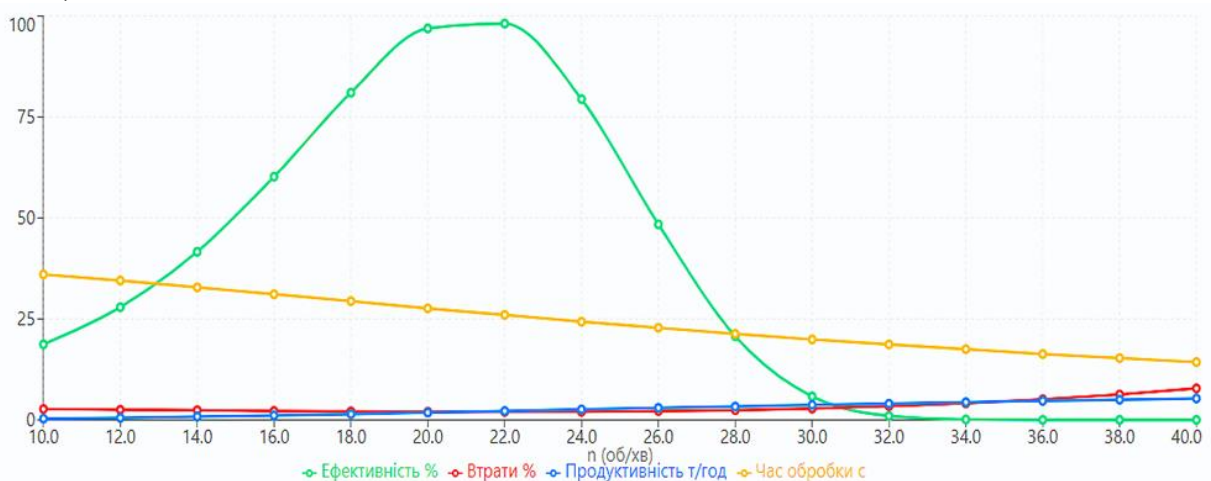


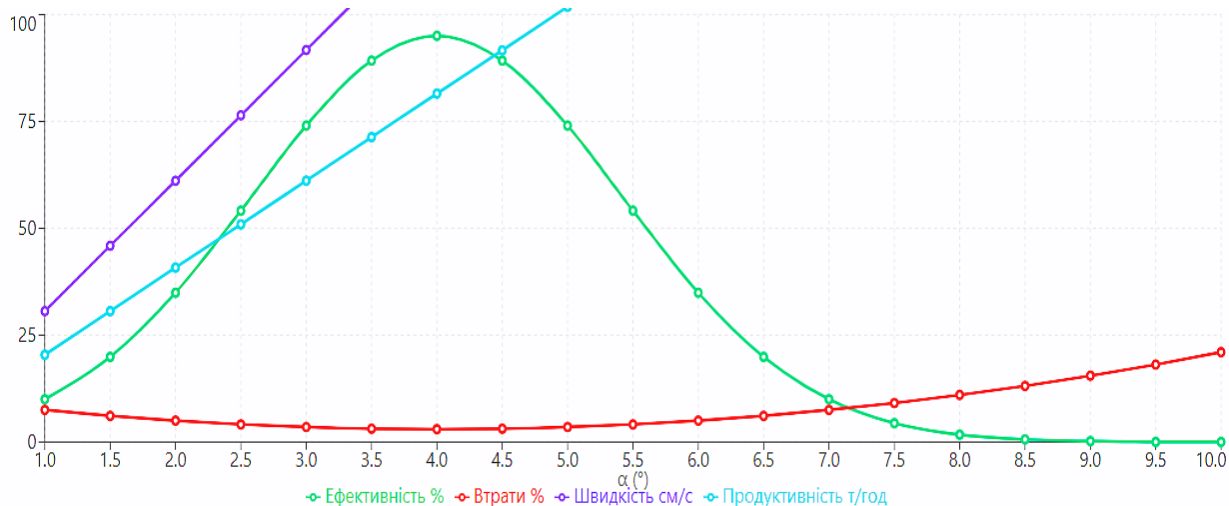
Рис. 1. Схема об'єкта досліджень

Метою теоретичних досліджень стало створення алгоритму для автоматичного підбору кута нахилу  $\alpha$ , швидкості обертання  $n$  та конфігурації решіт залежно від вологості й засміченості вхідної сировини. Серед ключових технічних параметрів для решітного барабана радіусом  $R = 0,5$  м шляхом математичного моделювання встановлено: оптимальний діапазон частот обертання становить 18...24 об/хв (рис. 2), при цьому кінематичний показник встановлено на рівні 0,5...0,6 для кращого розшарування вороху; кут нахилу осі  $\alpha$  (рис. 3): на пшениці 1,5°...2,5°, на соняшнику – 2,5°...4,0°, кукурудзі – 3,0°...5,0°.



Висновок: Оптимум при  $n = 20-26$  об/хв

Рис. 2. Залежність ефективності сепарації від частоти обертання решета



Висновок: Оптимум  $\alpha = 3-5^\circ$

Рис. 3. Залежність ефективності сепарації від кута нахилу барабана

Встановлено, що без розпушуючих лопатей ефективність очищення знижується на 30...40%. Застосування активних лопатей-розпушувачів нівелює цей вплив, обмежуючи падіння ефективності лише до 10...15% (рис. 4).

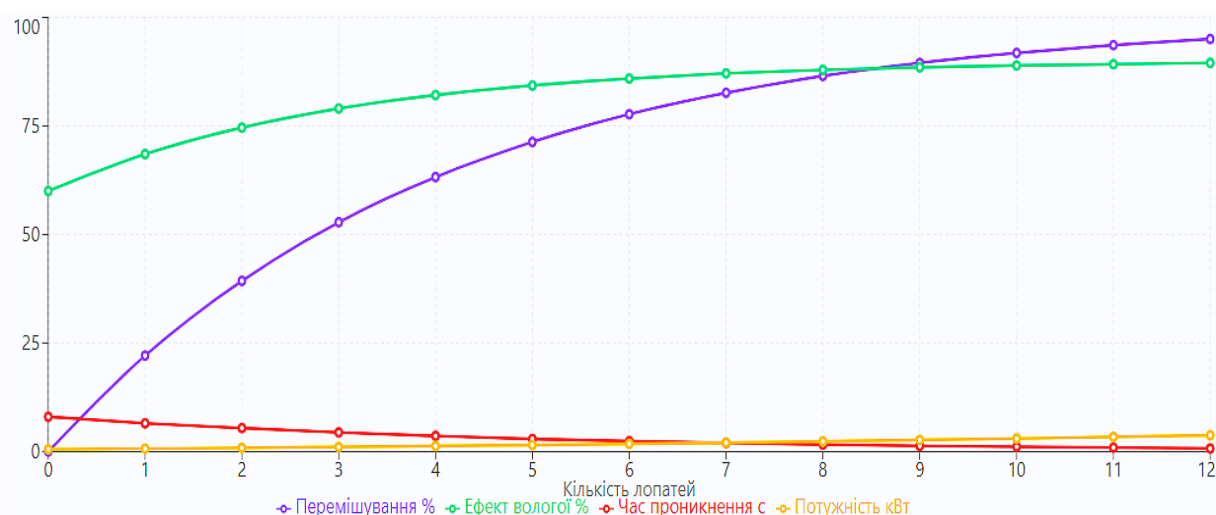


Рис. 4. Залежність ефективності сепарації від додаткових лопатей

Для барабана діаметром  $D = 1,0$  м та загальною довжиною  $L = 4,0$  м обґрунтовано наступну диференціацію секцій:

- секції №1 та №2 ( $L = 0,8$  м) забезпечують інтенсивне виведення дрібних домішок;
- секція №3 ( $L = 0,9$  м) – контрольне очищення важковідокремлюваних частинок;
- секція №4 ( $L = 0,9$  м) – фінішне калібрування (досягнення 99% чистоти);
- секція №5 ( $L = 0,6$  м) – скальперація (видалення великих домішок «сходом»).

Оптимальна частка живого перерізу решіт становить 0,20...0,30.

Таким чином, збільшення діаметра до 1,0 м розширило активну площу сита на 25%, а оптимізоване співвідношення  $L/D = 4,0$  забезпечило жорсткість вала та компактність установки. При завантаженні 100 т/год можливо досягнути загальної ефективності 98,5%, зокрема видалення 98% крупних домішок та 95% дрібного сміття.

Отже, застосування п'ятисекційної схеми з адаптивною кінематикою та активними розпушувачами дозволяє вітчизняному агросектору вийти на новий рівень технологічної досконалості, забезпечуючи стабільно високу якість очищення зерна (98,5%...99,2%).

## Список використаних джерел

1. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів / Б. І. Котов, С. П. Степаненко, М. Г. Пастушенко. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кіровоград. 2003. Вип. 33. С. 53-61.
2. Каталог продукції фірми Bühler. Drum sieve. URL: [https://www.buhlergroup.com/global/en/products/drum\\_sieve.html](https://www.buhlergroup.com/global/en/products/drum_sieve.html).
3. Каталог продукції компанії «Olis». Зерноочисне обладнання. URL: <https://www.olis.com.ua/>.
4. Каталог продукції Хорольського механічного заводу. Сепаратори зерноочишувальні. URL: <https://mehzavod.com.ua/ua/>.
5. Каталог продукції компанії «MYSiLO». Обладнання для очищення зерна. URL: <https://mysilo.com.ua/>.
6. Каталог продукції компанії «Grain Cleaning Solution». GCS-1400 Rotary Drum Grain Cleaner. URL: [https://gcsgraincleaner.com/gcs\\_products/gcs-1400-drum-cleaner/](https://gcsgraincleaner.com/gcs_products/gcs-1400-drum-cleaner/).
7. Каталог техніки компанії «ЗСМ ВІМ». Універсальна багатофункціональна зерноочисна машина ОВС-355. URL: <https://bim-agritech.com/uk/bagatofunkcionalnyu-zernoochysnyu-separator-ovs-355>.
8. Каталог продукції «3S Company». Барабанні очисники GCU. URL: <https://com3s.com/uk/barabannye-ochistiteli-gcu/>.
9. Каталог продукції фірми Kongskilde. Dual Cleaners – KDC PLUS. URL: <https://kongskilde-industries.com/grain/usa/product/dual-cleaners-kdc-plus/>.
10. The mathematical modeling of changes in grain moisture and heat loss on adsorption drying from parameters of grain dryer / I.L. Rogovskii, S.P. Stepanenko, A.V. Novitskii, V.I. Rebenko. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 13. pp.1-7.
11. Алієв Е.Б. Чисельне моделювання процесів агропромислового виробництва : підручник. Київ : Аграрна наука, 2023. 340 с. DOI: 10.31073/978-966-540-584-9.
12. Підручник дослідника : навч. посіб. для студ. агротехн. спец. / О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, К. В. Васильковська, Д. І. Петренко. Кіровоград : Мачулін, 2016. 204 с.
13. Васильковський О., Лещенко С., Васильковська К., Петренко Д. Основи наукових досліджень. Перші наукові кроки. : навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. Харків : Мачулін, 2019. 164 с.

УДК 631.362:620.9

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КАСКАДНО-РЕШІТНОГО СЕПАРАТОРА З ОБҐРУНТУВАННЯМ ЙОГО ПАРАМЕТРІВ

**Т. Шепілова**, *к.с.-г.н., доцент*

**Д. Петренко**, *к.т.н., доцент*

*Центральньоукраїнський національний технічний університет*

Сучасний агропромисловий комплекс України потребує впровадження енергоефективних технологій післязбиральної обробки зерна. Основним викликом є забезпечення високої якості очищення при мінімізації травмування насінневого матеріалу та зниженні питомих енерговитрат. Традиційні вібраційні сепаратори часто є металомісткими та енергозатратними, що зумовлює пошук альтернативних конструктивних рішень.

Перспективним напрямком є використання сепараторів каскадного типу, що працюють на принципі використання потенційної енергії гравітаційного поля [1, 2, 6]. Для подолання проблеми низької адаптивності до вологого зерна запропоновано інтеграцію дугоподібних пруткових решіт (рис. 1).

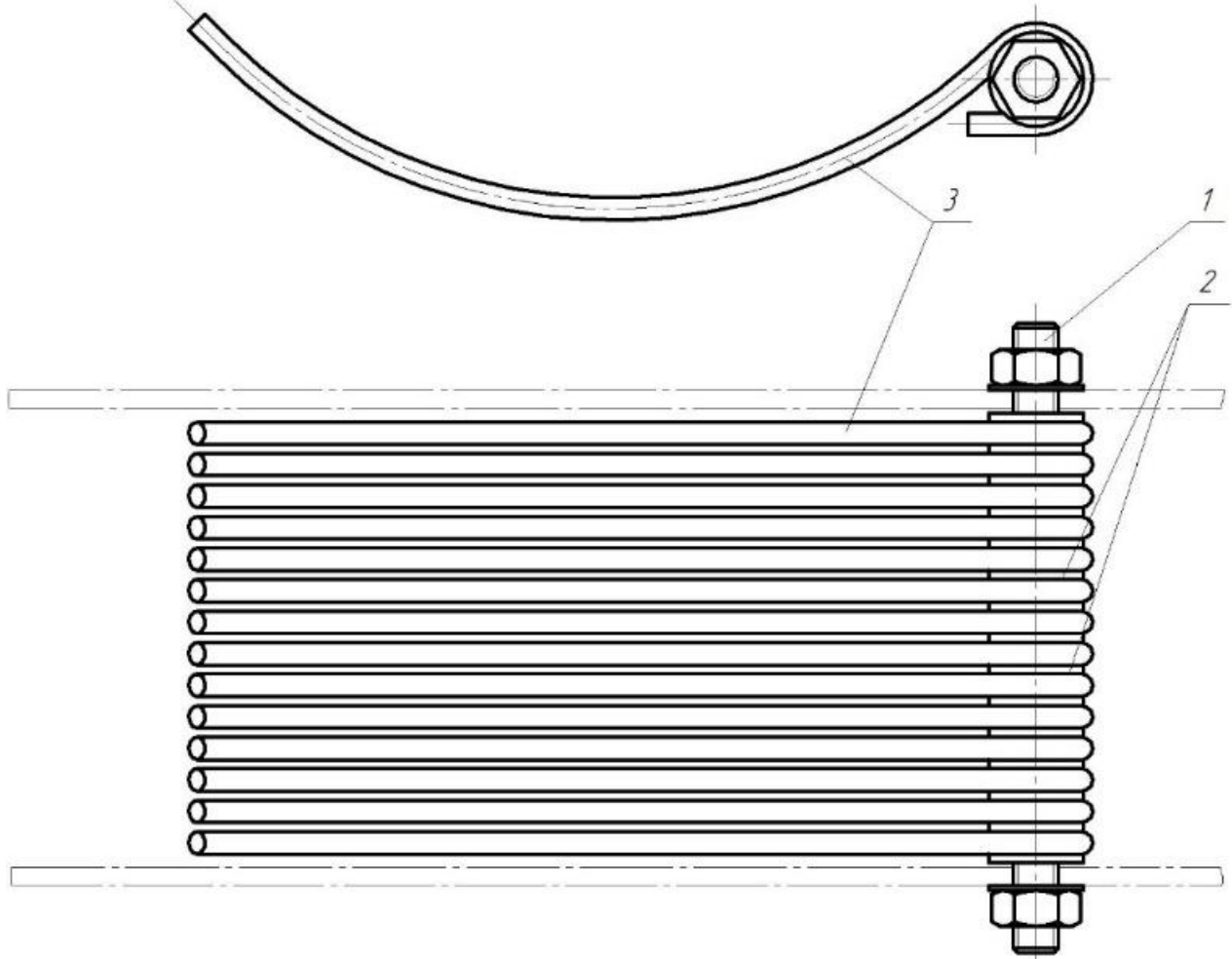
Така конструкція забезпечує відсутність поперечних перетинків, що збільшує «живий» переріз; виникнення додаткових інерційних сил при русі зерна за криволінійною траєкторією; ефект самоочищення робочих поверхонь [3-6].

Кінетика процесу сепарації на даному типі решіт описується експоненціальним законом. Ймовірність  $P$  проходження частинки діаметром  $d$  крізь отвір шириною  $b$  за період  $T$  корелює з площею відносного руху та відносною швидкістю  $v$ .

У ході математичного моделювання встановлено, що загальна ефективність системи  $\eta$  зростає експоненціально, проте внесок кожного наступного каскаду підпорядковується закону спадної геометричної прогресії. Доведено (рис. 2), що встановлення 6 каскадів є раціональним максимумом. Це забезпечує чистоту виходу на рівні 99,59%.

Після 6-го ярусу приріст якості не перевищує 2% (рис. 3), що не виправдовує збільшення габаритів та металомісткості установки.

Оцінка показника енергетичної ефективності  $E$  (відношення якості до витрат) підтвердила (рис. 4), що після шостого каскаду питомі витрати на вилучення залишків домішок зростають непропорційно до отриманого ефекту.



1 – вісь решета; 2 – регулювальні шайби; 3 – прутки радіусні

Рис. 1. Дугоподібний сепарувальний елемент пруткового перерізу

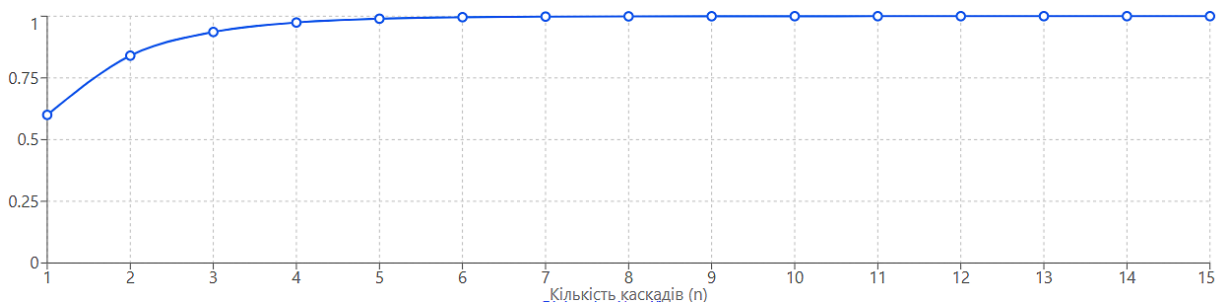


Рис. 2. Вплив чисельності каскадів  $n$  на загальну ефективність

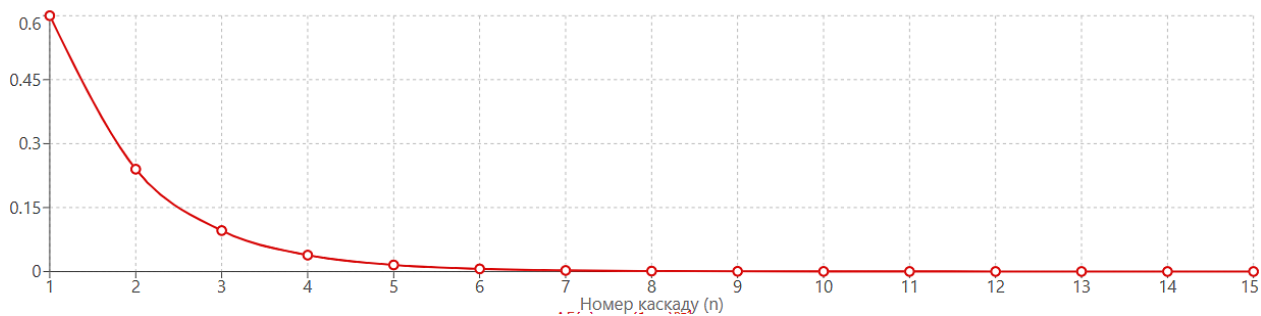


Рис. 3. Вплив чисельності каскадів  $n$  на приріст ефективності

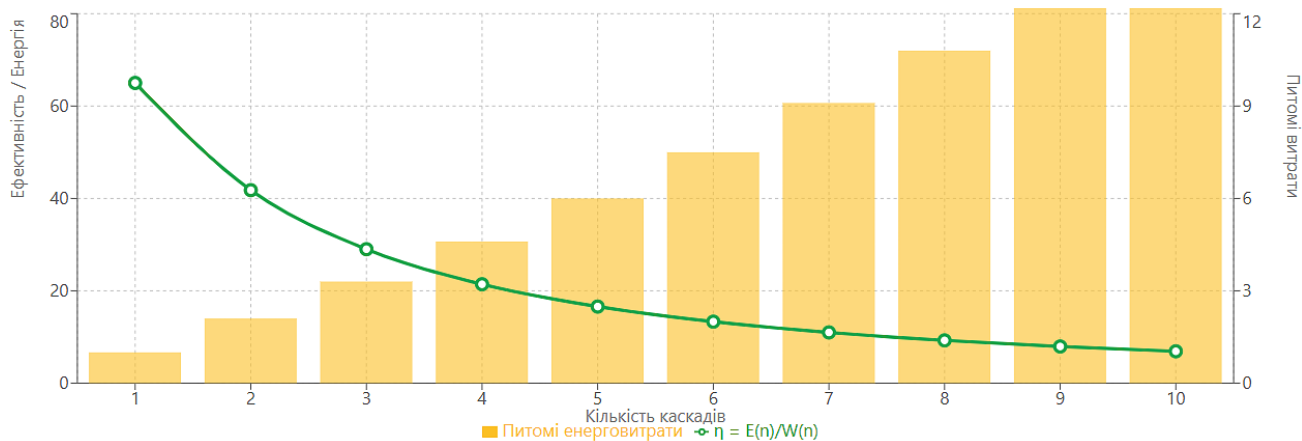


Рис. 4. Вплив чисельності каскадів  $n$  на енергетичну ефективність

За результатами теоретичних досліджень доведено ефективність поєднання гравітаційного принципу з дугоподібними прутковими поверхнями для сепарації важковідокремлюваних сумішей.

Визначено оптимальну кількість каскадів ( $n = 6$ ), що забезпечує баланс між чистотою зерна та компактністю обладнання. Розрахункова продуктивність становить 11,34 т/год при ширині захвату 300 мм, що підтверджує високу питому пропускну здатність безприводної конструкції.

Таким чином, розроблена триканальна схема (центральний колосовий та два бічних підсвічних канали) дозволяє поєднати первинне та вторинне очищення в одному циклі. Використання дугоподібної конфігурації решіт з кутом охоплення  $91,7^\circ$  дозволило спроектувати установку висотою лише 2,2 м, що є унікальним показником для даного класу продуктивності.

### Список використаних джерел

1. Dudarev I., Zabrodotska L., Satsiuk V., Taraymovich I., Olkhovskiy V. Research on seed separation process on a gravity-cascade separator. INMATEH – Agricultural engineering. Vol. 62, No. 3. 2020. Pp. 173-180.
2. Стаценко Д.І. Куянов Ю.Ю., Кошулько В.С., Олексієнко В.О. Сепарування зернових сумішей з використанням сил гравітації. Збірник наукових праць магістрантів та студентів. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. С. 69-70.
3. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Мороз С.М., Нестеренко О.В., Молокост Л.А. До створення концепції «ідеального» решета зернового сепаратора. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Вип. 50, 2020. – Кропивницький: ЦНТУ. – С. 52-58. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.52-58>.
4. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Петренко Д.І., Мороз С.М., Нестеренко О.В. Попередні дослідження пасивного струнного решета. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 2022 вип. 52. С. 73-80. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.73-80>.
5. Васильковський О. М. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів відцентрового решітного сепаратора зерна: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Кіровоград, 2001. 18 с.
6. Петренко, Д. І., Сало, В. М., & Недельський, Д. С. (2026). Аналіз ефективності роботи каскадного решітного сепаратора зернових сумішей. Центральнотуркранський науковий вісник. Технічні науки, (13(44)), 250–260. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.13\(44\).250-260](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.13(44).250-260).

## АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ОЧИСНИКІВ ПОВІТРЯ ДЛЯ АСПІРАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Юрченко М.О., студент;**

**Кобан Є.М., аспірант;**

**Васильковський О.М., к.т.н, професор**

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Інтенсифікація зернового виробництва закономірно супроводжується зростанням обсягів переробки зернової маси на стаціонарних зерноочисних комплексах. Разом з тим підвищення питомих навантажень на обладнання загострює проблему, яка традиційно лишається на периферії конструкторської уваги: накопичення дрібнодисперсного пилу у робочих зонах машин та його викид у довкілля.

Пилова фракція зернового вороху є продуктом подвійного походження. З одного боку, вона присутня у вихідному матеріалі як природна складова – залишки оболонки, частки ґрунту, фрагменти рослинних тканин. З іншого – додатково генерується безпосередньо у процесі механічної обробки: при транспортуванні, ударах об робочі поверхні та взаємному терті зернівок. Сукупна концентрація зваженого пилу у повітрі аспіраційної системи зерноочисної машини може досягати рівнів, критичних одразу за трьома параметрами: санітарно-гігієнічним (гранично допустима концентрація для зернового пилу – 4 мг/м<sup>3</sup>), вибухопожежним (нижня межа вибухонебезпечності зернового пилу – 20–60 г/м<sup>3</sup>) та екологічним (нормативи викидів у атмосферне повітря).

У цьому контексті вибір пиловловлювача для аспіраційної системи перестає бути питанням другорядного значення і набуває статусу проектного рішення, що безпосередньо визначає безпеку виробництва та екологічні показники підприємства.

Існує кілька способів очищення відпрацьованого повітря (рис. 1).

Жалюзійний пиловловлювач (рис. 1а) є стандартним елементом аспіраційної системи більшості зерноочисних машин [1]. Принцип його дії ґрунтується на примусовій зміні напрямку запиленого повітряного потоку: тверді частинки, рухаючись за інерцією, не встигають відхилитися разом з повітрям при обтіканні жалюзійних пластин і осідають у накопичувальному бункері. У локальних вихрових зонах за пластинами формуються зони зниженого тиску, що посилюють осадження частинок із проміжними аеродинамічними характеристиками.

Сумарна ефективність очищення у реальних умовах роботи знаходиться в межах 60–85 % – значення, недостатнє для відповідності санітарним і екологічним нормативам. Водночас конструктивна простота, відсутність рухомих елементів і мінімальний гідравлічний опір роблять жалюзійний пиловловлювач технологічно зручним і надійним у сервісному відношенні.

Циклон (рис. 1б) реалізує принципово інший механізм відокремлення – відцентровий [2]. Запилений повітряний потік вводиться тангенційно у циліндричний корпус, набуваючи обертального руху. Під дією відцентрових сил тверді частинки відкидаються до периферії, гальмуються при контакті зі стінками і сповзають у конічну частину корпусу для подальшого відведення. Очищене повітря формує висхідний внутрішній вихор і виводиться крізь вихлопну трубу.

Сумарний показник очищення для типового зернового пилу знаходиться у діапазоні 70–95 % і суттєво перевищує можливості жалюзійного аналога. При цьому циклон зберігає конструктивну простоту та відсутність рухомих деталей, а єдиним його практичним недоліком є більші – порівняно з жалюзійним пристроєм – габаритні розміри та маса.

Циклофен (рис. 1в) – поєднання нагрівального і активного циклонного робочого органу [3]. Машина високої ефективності навіть з вологим матеріалом, однак специфічність і великі енерговитрати знижують загальний ефект при попередньому очищенні зернових.

Організація замкнутого повітряного контуру (рис. 1г) є системним підходом, який радикально скорочує пилові викиди в навколишнє середовище: очищене повітря не відводиться назовні, а повертається у технологічний процес [4-16]. Додатковий ефект – зниження витрат на нагрів припливного повітря, що особливо актуально для агрегатів, суміщених із зерносушарками. Однак реалізація замкнутої схеми пов'язана зі значним ускладненням конструювання машини та зростанням її габаритно-масових показників, що обмежує її застосування у стандартних комплектаціях.

Порівняльний аналіз засвідчує, що циклонний пиловловлювач є оптимальним вибором для модернізації аспіраційних систем зерноочисних машин загального призначення, типу ОВС-25 за сукупністю критеріїв. Перевага над жалюзійним аналогом – підвищення ефективності уловлювання дрібнодисперсного пилу при збереженні конструктивної простоти і мінімальних вимог до обслуговування. Перевага над замкнутою системою – значно менша конструктивна складність і можливість дообладнання існуючих машин без їх корінної переробки.

Додатковим аргументом на користь циклону є сумісність його аеродинамічного опору з напором штатного вентилятора ОВС-25. За результатами попереднього розрахунку, опір циклону з діаметром корпусу  $D = 1,10$  м при витраті  $Q = 10\ 000$  м<sup>3</sup>/год становить близько 796 Па – значення, яке вентилятор машини здатний подолати без заміни або переналагодження. Це усуває необхідність переоснащення приводного блоку і суттєво спрощує процедуру модернізації.

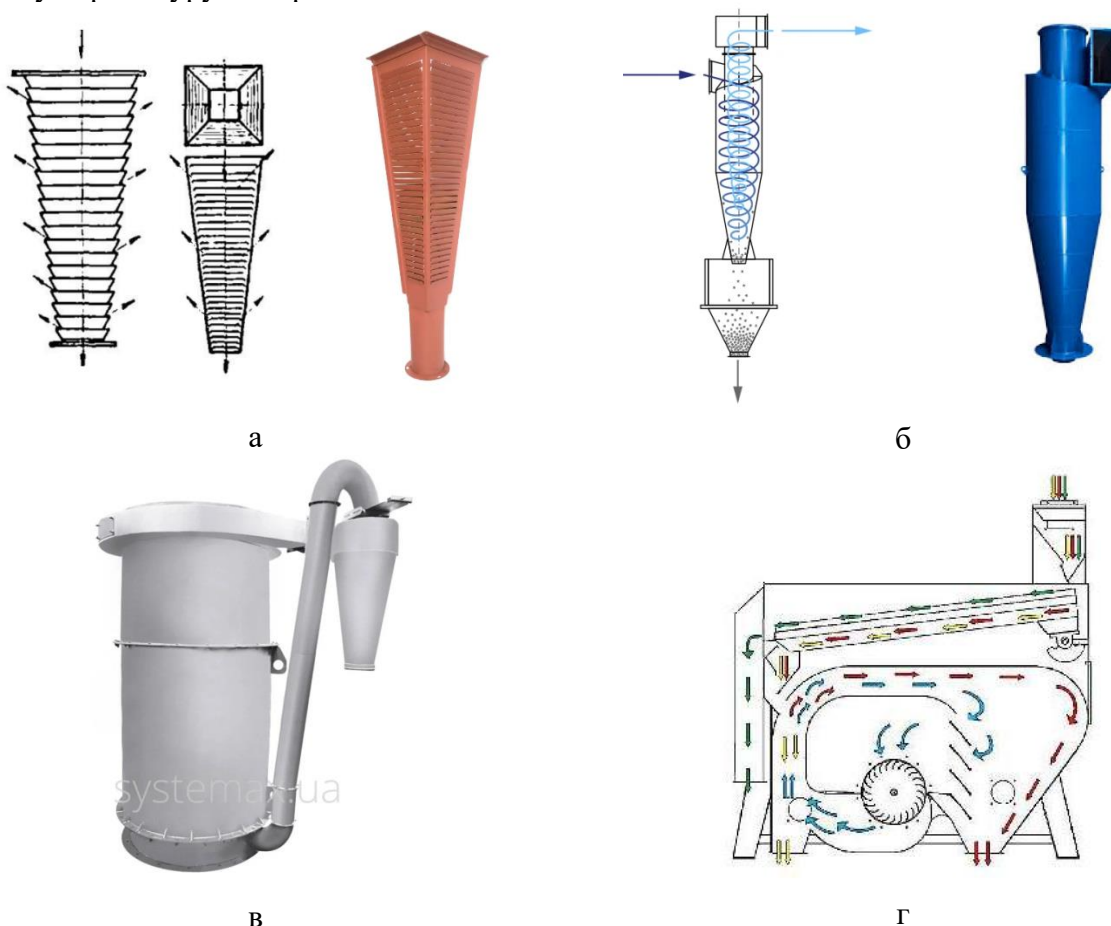


Рис. 1. Засоби очищення відпрацьованого повітря у системах аспірації: а- жалюзійний пиловловлювач, б- циклон, в- циклофен, г- замкнена система аспірації

Таким чином встановлено, що штатний жалюзійний пиловловлювач ОВС-25 забезпечує ефективність уловлювання 60–85 %, що є недостатнім для виконання санітарно-гігієнічних та екологічних нормативів при роботі з дрібнодисперсними пиловими фракціями зернового вороху.

За результатами порівняльного аналізу пиловловлюючого обладнання обґрунтовано вибір циклонного апарата як технічно та економічно доцільного заміника: він перевищує жалюзійний сепаратор за ефективністю уловлювання дрібного пилу при незмінній конструктивній простоті та сумісності з наявним вентилятором машини.

## Список використаних джерел

1. Сисолін П. В., Петренко М.М., Свірень М.О. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння. Кн.3. К.: Фенікс. 2007. 364 с.
2. [https://alexfan.com.ua/ru/universalnyy-ciklon-cn-11-250?gclid=CjwKCAjw5NvPBhAoEiwA\\_2egfjtE3cIdNhj1vIa-MSwFKyEjNH-wtMuv40R3hKwBoPjPvNvjeb0TehC-xQQAxD\\_BwE](https://alexfan.com.ua/ru/universalnyy-ciklon-cn-11-250?gclid=CjwKCAjw5NvPBhAoEiwA_2egfjtE3cIdNhj1vIa-MSwFKyEjNH-wtMuv40R3hKwBoPjPvNvjeb0TehC-xQQAxD_BwE)
3. [https://systemax.ua/ua/ciklony/pileulavlivajushhie-agregati/cyklofen/?srsltid=AfmBOopmcmwHJXJaxzEucvXZqLnklKE\\_lxBb7Y-oldt24lq533gMzET](https://systemax.ua/ua/ciklony/pileulavlivajushhie-agregati/cyklofen/?srsltid=AfmBOopmcmwHJXJaxzEucvXZqLnklKE_lxBb7Y-oldt24lq533gMzET)
4. <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1302-suchasni-zernoochysni-mashyny.html>
5. Nesterenko O.V., Leshchenko S.M., Vasylovskiy O.M., Petrenko D.I. (2017) Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding. INMATEH - Agricultural Engineering, 53(3). 65-70. (DOI: <https://inmateh.eu/volumes/old-volume/volume-53-no-3-2017/article/analytical-assessment-of-the-pneumatic-separation>)
6. Аналіз сучасного стану повітряної сепарації зерна / М.І. Васильковський, С.Я. Гончарова, С.М. Лещенко, [та ін.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 36. - Кіровоград: КНТУ, 2006. - С. 111-114.
7. Антоновський В., Васильковський О. Удосконалення аспірації зерноочисної машини ОВС-25. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції». – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. С. 64-65. URL: <http://www.kntu.kr.ua/doc/science/zahody/vikl/2023/2-tez.pdf>
8. Васильковський М.І. Теоретичні основи процесів очищення зерна в пневмосепаруючих каналах / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2018. – Вип. 45. – С. 14-21.
9. Васильковський О.М. Енергетичний та економічний аналіз використання зерноочисних машин / Пропозиція №1 01/2017. – 2017. – К.: видавництво. С. 150-152.
10. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Нестеренко О.В., Петренко Д.І., Якименко С.М. Обґрунтування конструктивної схеми пневморешітного сепаратора зерна. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 51. 2021. С. 104-110.
11. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Нестеренко О.В., Петренко Д.І., Якименко С.М. Обґрунтування конструктивної схеми пневморешітного сепаратора зерна. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 51. 2021. С. 104-110. (DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.104-110>)
12. Кобан Є., Олексієнко Д., Васильковський О. Удосконалення аспірації зерноочисної машини. Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Прикладні науково-технічні дослідження», Івано-Франківськ: АТНУ, 2024. С. 34-36. URL: <https://ukrtsa.org.ua/wp-content/uploads/2024/05/conf2024.pdf>
13. Нестеренко О. В. Перспективний напрямок інтенсифікації повітряної сепарації зерна./ О.В. Нестеренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко, Д.В. Богатирьов // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація . - 2012. - Вип. 25(1). - С. 49-53.
14. Петренко Д.І. Ефективність розділення зернового матеріалу на фракції турбінним сепаратором / Д.І. Петренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, О.В. Нестеренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград. - 2013. - Вип. 43 (2). - С. 230-237.
15. Петренко, Д. І. Дослідження якості роботи інерційної пневматичної зерноочисної машини [Текст] / Д. І. Петренко, О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, О. В. Нестеренко // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти - Запоріжжя: НВК Інтер-М. - 2015. - Вип. 3. - С. 123-131.
16. Шеремет М., Васильковський О. Удосконалення зерноочисної машини ЗОМ-1. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції». – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. С. 55-57. URL: <http://www.kntu.kr.ua/doc/science/zahody/vikl/2023/2-tez.pdf>

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИКОЧУЮЧОГО КОТКА СЕКЦІЇ ОВОЧЕВОЇ СІВАЛКИ

В.М. Незамай, здобувач

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький*

**Вступ.** Сучасні технології вирощування овочевих культур висувають підвищені вимоги до точності виконання агротехнічних операцій, серед яких вирішальне місце займає посів. Саме на цьому етапі формується потенціал майбутньої врожайності та якості продукції. В умовах необхідності підвищення ефективності аграрного виробництва і оптимального використання ресурсів особливої актуальності набуває вдосконалення технічних засобів, здатних забезпечити оптимальні умови для проростання насіння. Визначальну роль у забезпеченні необхідних параметрів посіву, стабілізації глибини загорання та правильного ступеня ущільнення ґрунту в зоні насінневого ложа відіграють прикочуючі котки.

**Постановка проблеми.** Недостатня досконалість конструкції існуючих прикочуючих котків або невідповідність їх геометричних і кінематичних параметрів агротехнічним вимогам призводять до порушення процесу посіву, зниження польової схожості, неоднорідності сходів і, як наслідок, до втрат урожаю [1-3]. Детальний аналіз існуючих рішень показує низку суттєвих недоліків. Зокрема, найбільш розповсюджені широкі циліндричні металеві котки схильні до налипання ґрунту, надмірного ущільнення посівного шару та утворення ґрунтової кірки. Конусні металеві котки мають високу вартість та ущільнюють ґрунт нерівномірно на полях з неоднорідною структурою. Котки з гумовими шинами зазвичай мають циліндричну або еліптичну форму та велику ширину з високою вертикальною дією на ґрунт, що створює високий опір коченню, а металеві сітчасті котки можуть забиватися рослинними рештками. Оскільки конструкція більшості сучасних котків складається з простих елементів, їх універсальність значно знижується [4-6]. Відповідно, розробка комбінованих конструкцій, які б поєднували переваги існуючих варіантів і нівелювали їх недоліки, є актуальним науково-технічним завданням.

**Метою роботи** є підвищення ефективності роботи секції овочевої сівалки шляхом розробки нової конструкції прикочуючого котка комбінованого типу та наукового обґрунтування його конструктивно-технологічних параметрів.

**Розв'язання проблеми.** Для вирішення поставлених завдань було розроблено удосконалену конструкцію прикочуючого котка (рис. 1), який має шину атмосферного тиску з комбінованою геометрією робочої поверхні. Середня частина шини має циліндричний профіль, ширина якого перевищує ширину борозни, і призначена для загорання та вирівнювання ґрунту. Бічні частини шини мають конічний профіль і призначені для ущільнення ґрунту з обох боків рядка з метою ефективного підтягування капілярної вологи до насіння.

Головною особливістю запропонованої конструкції є змінна товщина стінок шини, яка забезпечує мінімальну жорсткість в центральній частині та підвищену - на конічних ділянках. Під час руху середня частина шини вертикально діє на рядок, формуючи шар незначного ущільнення безпосередньо над насінням, тоді як бічні конічні частини занурюються в ґрунт, утворюючи зони підвищеної щільності. Додатковою перевагою такого рішення є ефект демпфування та самоочищення шини.

Для оптимізації конструктивних параметрів було розроблено математичну модель взаємодії котка з ґрунтом. Ця модель враховує як пластичну деформацію ґрунту, так і пружну деформацію шини, дозволяючи аналітично визначати розподіл вертикального та бокового тиску. За результатами аналітичних досліджень епюра розподілу щільності ґрунту

має симетричний характер і чітко поділяється на три зони (рис. 2).

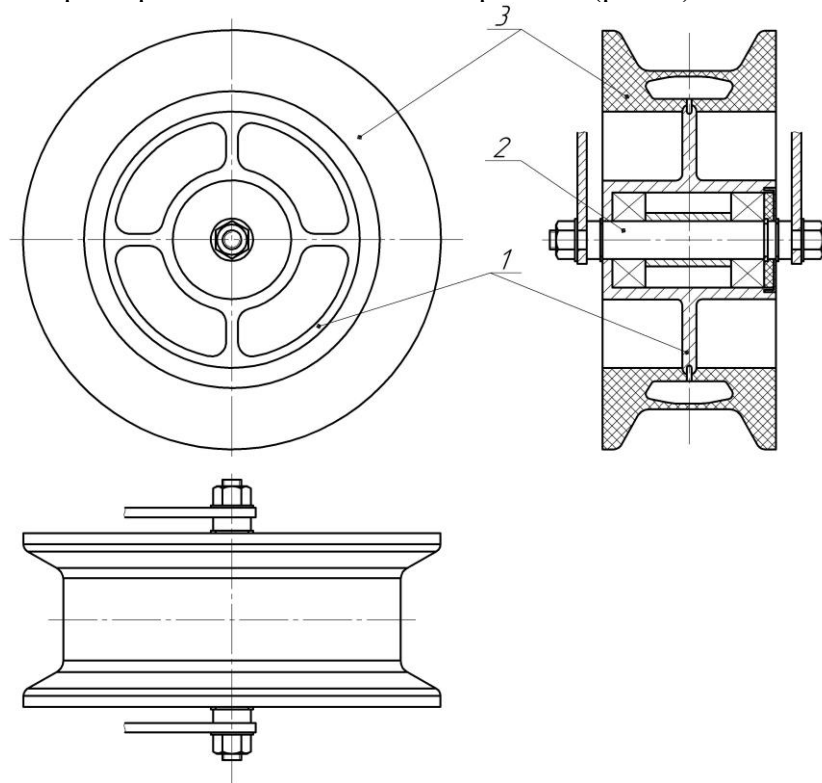


Рисунок 1 – Удосконалений коток овочевої сівалки:  
1 – ступиця; 2 – вісь; 3 – шина атмосферного тиску

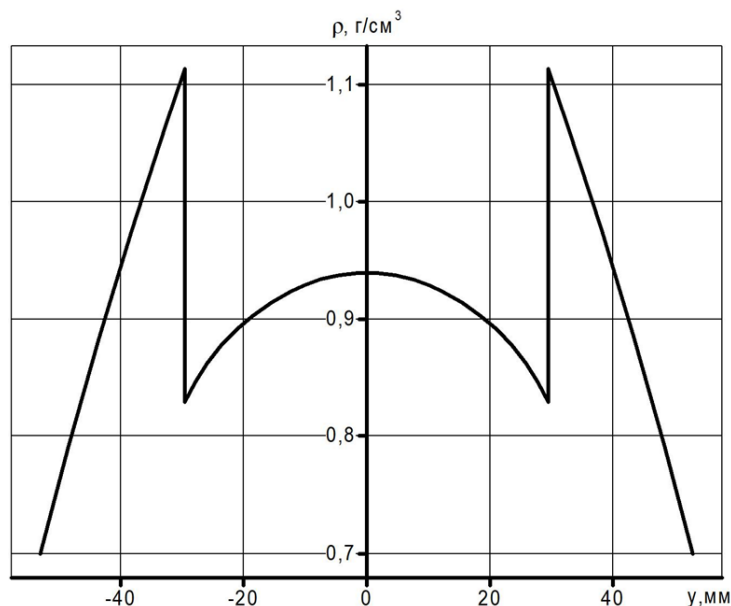


Рис. 2 - Залежність розподілу щільності ґрунту по ширині захвату котка

Встановлено, що в зоні безпосередньо над насінням формується оптимальна щільність 0,8 - 0,9 г/см<sup>3</sup>, що забезпечує добрий контакт з ґрунтом та зберігає його повітропроникність. У бічних зонах активного ущільнення під дією конічних поверхонь щільність зростає до 1,0 - 1,1 г/см<sup>3</sup>. Також було визначено, що оптимальний діапазон кута розхилу конічної частини котка для швидкості руху 2,0 м/с на середньо суглинковому ґрунті становить 10 - 15°.

**Висновки:**

1. На основі аналізу недоліків існуючих робочих органів запропоновано нову конструкцію прикочуючого котка з комбінованою геометрією шини.

2. Розроблена математична модель показала, що мінімальна жорсткість по центру передає деформацію переважно на шину, а підвищена жорсткість з боків гарантує ефективне бокове ущільнення ґрунту.

3. Запропоноване технічне рішення формує агротехнічно обґрунтований розподіл щільності: 0,8 - 0,9 г/см<sup>3</sup> над насінням для безперешкодного росту та 1,0 - 1,1 г/см<sup>3</sup> по краях для стабілізації рядка і збереження вологи.

4. Інтеграція розробленого комбінованого котка до секції овочевої сівалки покращить технологічні показники посіву без суттєвого ускладнення конструкції та збільшення маси агрегату.

5. Застосування модернізованого робочого органу буде мати значний економічний ефект, що виражається у зменшенні потреби у післяпосівному догляді та загальному підвищенні врожайності овочевих культур.

### Список використаних джерел

1. Сисолін П.В. та інш. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування, Кн. 1: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропивний – К.: Урожай, 2001. – 384 с.
2. Артеменко Д.Ю., Онопа В.А., Скриннік С.С. Обґрунтування конструкції комбінованого прикочуючого котка просапної сівалки. Scientific Journal «ScienceRise» №11 (28) 2016. – С. 25-29. URL: <http://journals.urau.ua/sciencerrise/article/view/80814>
3. Артеменко Д.Ю., Настоящий В.А. Обґрунтування робочої поверхні конусного прикочуючого котка просапної сівалки. Scientific Journal «ScienceRise». №5/2(34)2017. – С. 18-22. URL: <http://journals.urau.ua/sciencerrise/article/view/101960>
4. Артеменко Д.Ю., Магопєць О.С., Ауліна Т.М., Семенова Д.А. Результати експериментальних досліджень розподілу полів деформацій в ґрунті від дії прикочуючих котків бурякових сівалок. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / КНТУ, 2007, випуск 37, 1 – С. 286 – 290.
5. Артеменко Д.Ю. Теоретичне дослідження процесу взаємодії конусного котка просапної сівалки з ґрунтом. Вісник аграрної науки Причорномор'я: науково-теоретичний фаховий журнал / В. С. Шебанін (гол. ред.) та ін. – Миколаїв, 2012. Вип. 1 (65). – С. 171 – 177.
6. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії і розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2005. С. 141 – 142. URL: <https://studfiles.net/preview/5063474/page:25/>

УДК 631.314:631.331

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОГО ЗАГОРТАЧА ПРОСАПНОЇ СІВАЛКИ

**К.Д. Коломієць**, здобувач

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький*

**Вступ.** Вирощування просапних культур є однією з провідних і найбільш економічно значущих галузей сучасного землеробства. Формування високого рівня врожайності цих культур безпосередньо залежить від якості виконання базової технологічної операції - сівби. Визначальним фактором, що гарантує отримання дружніх, рівномірних і повноцінних сходів, є створення оптимального ґрунтового мікроклімату в зоні залягання насіння. Це вимагає точного дотримання глибини висіву, розміщення насіння на ущільненому вологому ложі та диференційованого ущільнення ґрунту (високого з боків і помірного зверху) для збереження капілярної вологи [1,2].

**Постановка проблеми.** Провівши аналіз існуючих загортачів просапних сівалок можна сказати, що для підвищення ефективності їх роботи доцільно розділити процес загортання насіння на два послідовні етапи, спочатку слід сформувати навколо насіння шар

вологого ґрунту, а вже потім засипати сухішими верхніми шарами [3-5]. Існуючі пасивні загортачі не здатні повною мірою реалізувати цей алгоритм, що призводить до осипання сухого верхнього шару безпосередньо в зону залягання насіння, розриву капілярного зв'язку та пересихання насіннєвого матеріалу. В результаті проведених досліджень [4-6] встановлено, що найбільш перспективним напрямом є використання загортачів коткового типу з вертикальним впливом на ґрунт. Проте потребують розробки та математичного обґрунтування конструкції, які б забезпечували диференційоване ущільнення насіннєвого ложа (високе з боків і помірно зверху) та мали б властивості самоочищення.

**Метою роботи** є підвищення якості виконання технологічного процесу сівби просапних культур та покращення умов його проростання шляхом розробки і математичного обґрунтування параметрів удосконаленого комбінованого загортача коткового типу для просапної сівалки.

**Розв'язання проблеми.** На основі проведеного аналізу конструкцій загортаючих систем нами був розроблений удосконалений комбінований загортач просапної сівалки коткового типу, який має двокомпонентну структуру (рис. 1). Його зовнішня частина виконана у вигляді вертикального однобічно загостреного в середину диска, а в внутрішній частині розташовано котковий загортальний елемент. Цей елемент складається з металевого каркасу диска на якому змонтована шина атмосферного тиску конічно-циліндричного профілю.

Запропонована конструкція забезпечує ефективну взаємодію робочих елементів з ґрунтом. Принцип дії полягає в тому, що під час руху агрегату диски загортача розміщуються безпосередньо за щоками сошника, запобігаючи потраплянню сухого верхнього шару ґрунту в борозну. Одночасно диск здійснює підрізання шарів ґрунту в міждисківому просторі і, обертаючись, спрямовує їх під робочу поверхню шини атмосферного тиску. Вертикальний однобічно загострений диск розрізає ґрунт з обох боків від рядка на задану глибину, відокремлюючи шар ґрунту в міждисківому просторі полегшуючи роботу внутрішнього коткового елемента. Завдяки своїй конічно-циліндричній формі в горизонтальній і вертикальній площинах цей елемент створює вертикальний тиск на відокремлений шар ґрунту, переміщуючи його до центру борозни, де розташоване насіння. Завдяки конічно-циліндричному профілю шини ґрунт переміщується від дії конічної частини в бік до центру борозни в зону знаходження насіння і закриває її, а від дії циліндричної частини вниз для уникнення пристінного ефекту в місці прилягання шини і диска. Для аналітичного опису процесу взаємодії була розроблена математична модель. В процесі роботи загортача на його конструктивні поверхні діють наступні сили: навантаження на загортач  $Q$ , сила від дії конічної частини шини  $F_{z,k}$ , сила від циліндричної частини  $F_{z,u}$ , та сила від дії диску  $F_{z,d}$ . Рівняння вертикальної рівноваги для всієї системи має вигляд:

$$Q = 2 \cdot F_{z,d} + F_{z,k} + F_{z,u}, \quad (1)$$

де  $F_{z,d}$  - вертикальна реакція ґрунту на диск;

$F_{z,k}$  - вертикальна реакція на конічну частину шини;

$F_{z,u}$  - вертикальна реакція на циліндричну частину шини.

Симетричне розташування обох частин загортача забезпечує рівномірне переміщення ґрунту з двох боків рядка, завдяки чому насіння не тільки покривається шаром ґрунту, а і притискається з обох боків вологими шарами ґрунту нижніх горизонтів. Це створює епюру напружень, де максимуми локалізовані з боків від насінини. Відстань між внутрішніми елементами загортача підібрано так, щоб забезпечити підвищене ущільнення ґрунту з обох боків насінини, але менший тиск безпосередньо над нею, що створює оптимальні умови для проростання.

Особливістю розробленого пристрою є шина атмосферного тиску, яка має внутрішню конструкцію змінної товщини, в верхній частині конічного профілю шини товщина стінки менша в нижній більша. За рахунок внутрішньої будови шини атмосферного тиску коткової частини загортача навантаження в ґрунті розподіляється плавно з низу доверху. Максимальні значення формуються в нижній частині профілю шини за рахунок більшої товщини стінки і максимального занурення в шар ґрунту, а менші в верхній частині за рахунок меншої товщини стінки та меншого занурення в шар ґрунту. Шина атмосферного тиску за рахунок різних товщин профілю має властивість деформуватися при перевищенні навантаження, створюючи ефект демпфування. При підвищенні навантаження чи збільшені реакції ґрунту на дію коткової частини за рахунок різниці товщин стінок відбувається ефект демпфування шини, що також сприяє її самоочищенню. Це сприяє більш плавному розподілу тиску по поверхні ґрунту, зменшує прилипання вологих частинок і покращує самоочищення робочої поверхні.

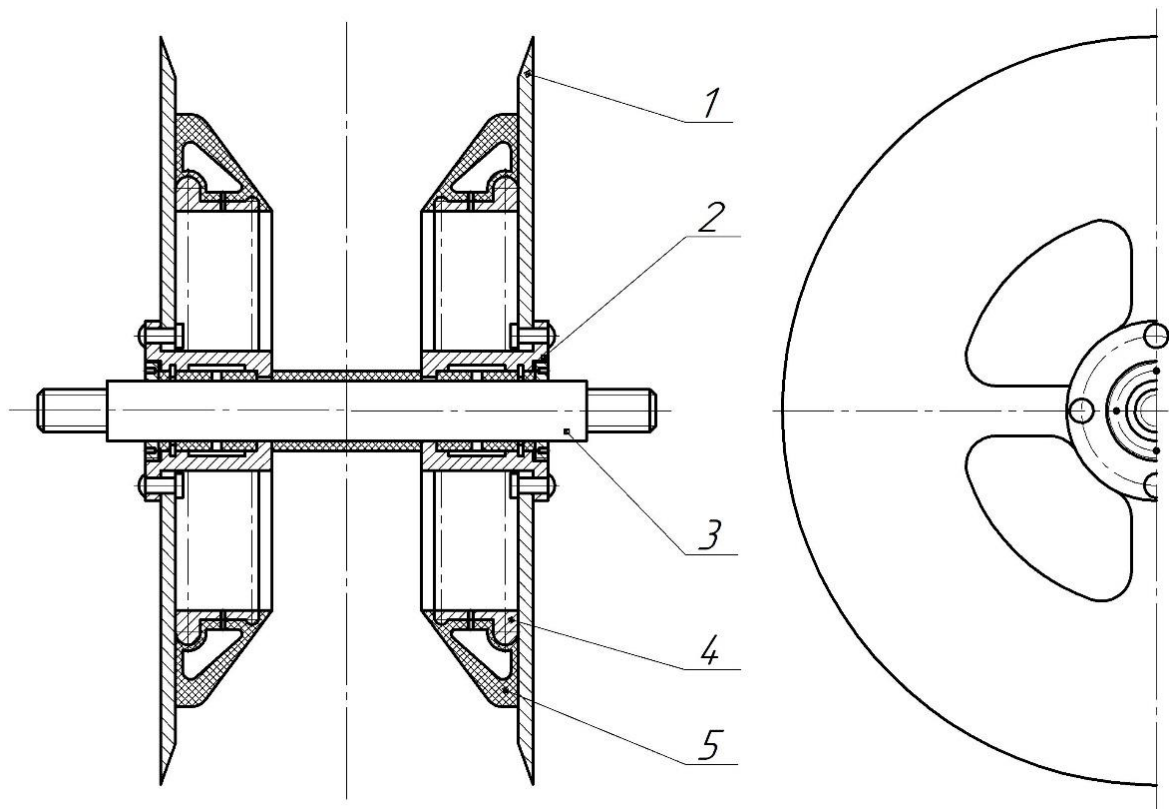


Рисунок 1 – Запропонований загортач коткового типу:

1 – диск; 2 – ступиця; 3 – вісь; 4 – каркас; 5 – шина

Додаткова стабілізація забезпечується механізмом навіски - загортач кріпиться до секції робочих органів через підвіску, на яку діє важільний кронштейн, що натягується пружиною тиску. Під час роботи пружина стабілізує рух загортача, підтримує постійне навантаження і забезпечує його самоочищення від налиплого ґрунту та рослинних решток. Для розрахунку раціональних параметрів в математичній моделі використовуються такі ключові геометричні характеристики: діаметр шини  $D$ , діаметр диску  $D_d$ , товщина диска  $t_d$ , кут розхилу конічних поверхонь  $\gamma$ , ширина між дисками  $B_d$ , та ширина між котковими елементами  $B_k$ . Математична модель дозволяє мінімізувати сумарний тяговий опір агрегату шляхом оптимізації кута розхилу конічних поверхонь шини  $\gamma$  та діаметрів робочих дисків відповідно до фізико-механічних властивостей ґрунту під час весняної

посівної кампанії. Така конструкція має низку переваг, які безпосередньо усувають більшість недоліків, властивих існуючим рішенням.

#### **Висновки:**

1. Диски загортача встановлені безпосередньо за сошником, що унеможливило потрапляння сухого поверхневого більш сухого шару ґрунту в борозну. Завдяки цьому нижні, більш вологі шари спрямовуються під робочу поверхню загортача, забезпечуючи якісне укріття насіння вологим шарами ґрунту.

2. Геометрія шини атмосферного тиску кокової частини загортача розрахована таким чином, щоб створювати підвищене ущільнення ґрунту з боків насінини при одночасному зменшенні тиску над нею. Це сприяє оптимальному мікроклімату для проростання та утриманню вологи в зоні розміщення насіння.

3. Шина атмосферного тиску з внутрішньою порожниною змінної товщини стінок має здатність деформуватися під дією надмірного навантаження, створюючи ефект демпфування. Така особливість забезпечує рівномірний розподіл тиску від поверхні шини, зменшує налипання вологих частинок і покращує її самоочищення.

4. Пружинна підвіска забезпечує постійний контакт загортача з поверхнею ґрунту, стабілізує його рух і сприяє ефективному очищенню від налиплого ґрунту та рослинних решток під час роботи. Розроблена математична модель взаємодії робочих органів дозволяє виконувати розрахунок раціональних геометричних параметрів на етапі проектування сучасних посівних машин.

#### **Список використаних джерел**

1. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 1, частина 2. Машини для сівби та садіння. – Харків: Око, 2002. – 452 с.
2. Артеменко Д.Ю., Магопєць О.С., Ауліна Т.М., Семенова Д.А. Результати експериментальних досліджень розподілу полів деформацій в ґрунті від дії прикочуючих котків бурякових сівалок. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / КНТУ, 2007, випуск 37, 1 – С. 286 – 290.
3. Артеменко Д.Ю. Теоретичне дослідження процесу взаємодії конусного котка просапної сівалки з ґрунтом. Вісник аграрної науки Причорномор'я: науково-теоретичний фаховий журнал / В. С. Шєбанін (гол. ред.) та ін. – Миколаїв, 2012. Вип. 1 (65). – С. 171 – 177.
4. Артеменко Д.Ю., Онопа В.А., Скриннік С.С. Обґрунтування конструкції комбінованого прикочуючого котка просапної сівалки. Scientific Journal «ScienceRise» №11 (28) 2016. – С. 25-29. URL: <http://journals.uran.ua/sciencerrise/article/view/80814>
5. Артеменко Д.Ю., Настоящий В.А. Обґрунтування робочої поверхні конусного прикочуючого котка просапної сівалки. Scientific Journal «ScienceRise». №5/2(34)2017. – С. 18-22. URL: <http://journals.uran.ua/sciencerrise/article/view/101960>
6. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії і розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2005. С. 141 – 142. URL: <https://studfiles.net/preview/5063474/page:25/>

УДК 631.33.024.2

### **ТЕОРЕТИЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ТЯГОВОГО ОПОРУ УДОСКОНАЛЕНОГО СОШНИКА ПРОСАПНОЇ СІВАЛКИ**

**В.В. Гарькавий**, здобувач

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький*

**Вступ.** Підвищення ефективності аграрного виробництва нерозривно пов'язане з оптимізацією енерговитрат при виконанні основних технологічних операцій, серед яких посів займає провідне місце. Якість формування насінневого ложа та дотримання заданої

глибини загортання насіння безпосередньо впливають на рівномірність сходів та майбутню врожайність сільськогосподарських культур [1,2]. Традиційні конструкції сошників часто характеризуються значним тяговим опором через великі площі тертя робочих поверхонь об ґрунт, що призводить до перевитрати палива тракторними агрегатами та загального зниження продуктивності посівних комплексів [3-5]. Впровадження інноваційних геометричних рішень в конструкцію наральникових сошників дозволяє радикально переглянути енергетику їх взаємодії з ґрунтовим середовищем.

**Постановка проблеми.** Основним чинником, що обмежує швидкість та енергоефективність посіву, є гідродинамічний та фрикційний опір переміщенню робочого органу в ґрунті. В класичних клинових сошниках значна частка енергії витрачається на подолання тертя бокових стінок (щік) об незрушений масив ґрунту та затирання нижньої частини носка об дно борозни. Наявні математичні моделі тягового опору сільськогосподарських машин, як правило, засновані на класичній теорії клину В.П. Горячкіна [6]. Проте вони часто не повною мірою враховують вплив складних просторових геометричних параметрів: радіального заокруглення ріжучої кромки, кутів розвантаження (затилювання) та диференційованих кутів розхилу в горизонтальній площині. Необхідним є розроблення комплексної математичної моделі, яка б дозволила теоретично обґрунтувати енергетичні переваги удосконаленої конструкції сошника.

**Метою роботи** є розробка та аналіз структурної математичної моделі взаємодії удосконаленого сошника з ґрунтом для теоретичного обґрунтування зменшення його тягового опору на основі оптимізації геометричних параметрів носка, наральника та п'яти в процесі роботи.

**Розв'язання проблеми.** Для мінімізації тягового опору було розроблено та досліджено удосконалену конструкцію сошника (рис. 1). Одним із ключових нововведень є те, що ширина носка  $B$  на 10% перевищує товщину корпусу сошника  $b$  (тобто  $B = 1,1b$ ). Таке конструктивне рішення створює позаду носка зону, що дозволяє практично нівелювати тертя бокових щік сошника об незрушені стінки борозни. Загальний тяговий опір агрегату  $R_{\Sigma}$  в межах побудованої математичної моделі представлено як векторну суму складових:

$$R_{\Sigma} = R_H + R_{\Pi} + R_{Щ}, \quad (1)$$

де -  $R_H$  - опір носка (руйнування, деформація, інерція ґрунту, тертя кромки);

$R_{\Pi}$  - опір п'яти (формування і ущільнення насіннєвого ложа);

$R_{Щ}$  - опір тертя бокових стінок (наральника та щік).

Найбільш енергоємним робочим елементом конструкції є комбінований носок, він працює з прямим кутом входу в вертикальній площині ( $\alpha = 90^\circ$ ). Лобовий опір різанню та зминанню ґрунту передньою гранню описується наступним рівнянням:

$$R_{\Pi} = k \cdot B \cdot h + \sigma_{зм} \cdot B \cdot R, \quad (2)$$

де  $k$  – питомий опір ґрунту (опір різанню та деформації), [Па];

$B$  – товщина верхньої частини носка;

$h$  – глибина руху носка;

$\sigma_{зм}$  - опір ґрунту зминанню на кромці, [Па];

$R$  - радіус заокруглення нижньої кромки.

Використання радіуса заокруглення  $R$  в нижній частині носка є критично важливим, оскільки це дозволяє ефективно компенсувати пікові напруження, що неминуче виникають при прямому куті входу на великих глибинах обробітку.

Наступним вагомим аспектом моделі є врахування кута розвантаження (затилювання)  $\varepsilon$ . Цей кут конструктивно спрямований вгору від радіуса  $R$  у задню частину носка. Його наявність забезпечує миттєвий відрив задньої робочої поверхні носка від дна

борозни, зменшуючи площу тертя до мінімальної вузької дуги. Сила тертя нижньої частини сошника розраховується за такою залежністю:

$$F_H = f \cdot q_d \cdot B_1 \cdot R \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \varepsilon \right), \quad (3)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя;

$B_1$  - товщина нижньої частини носка;

$q_d$  - твердість дна борозни (реакція опори).

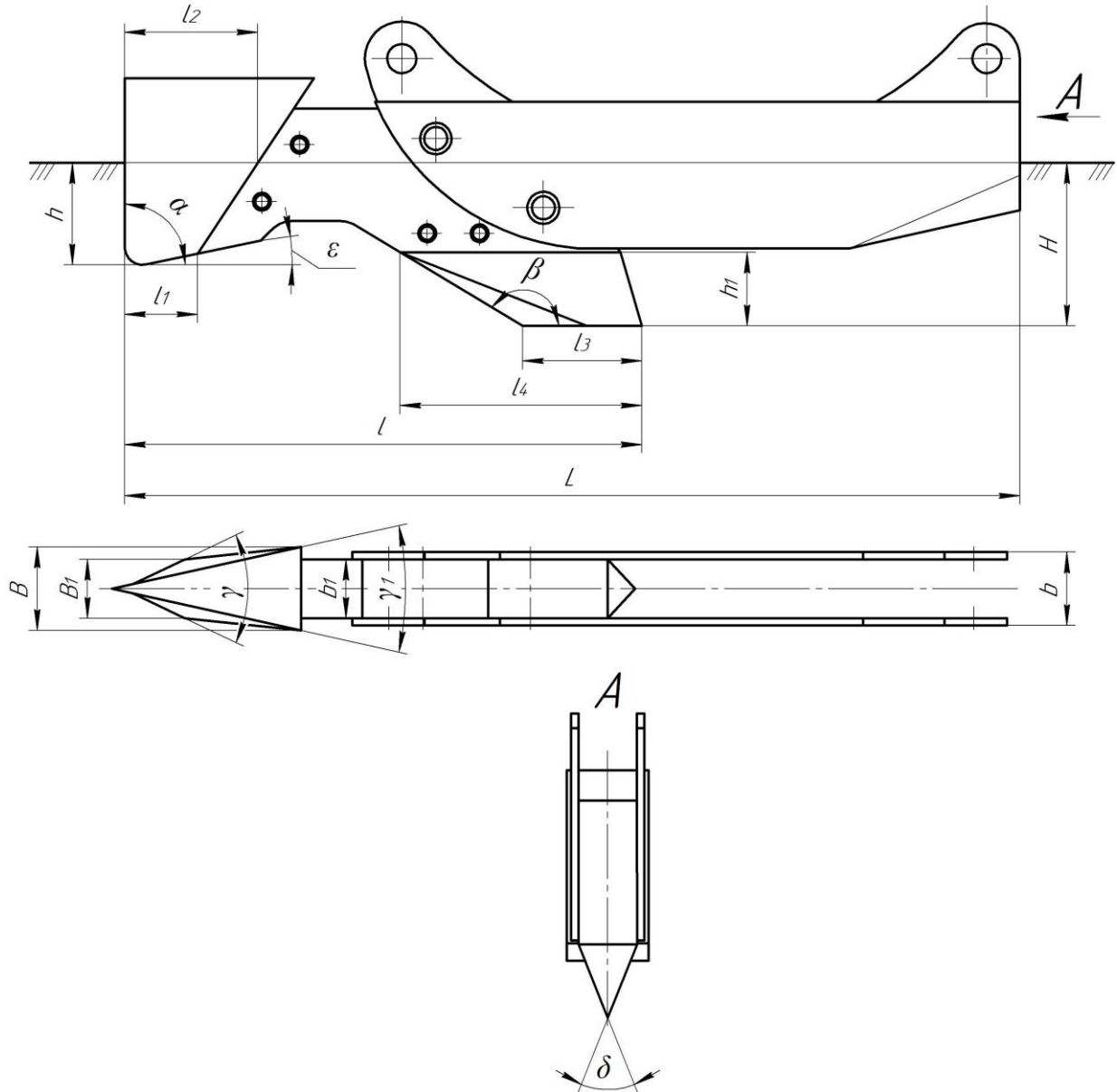


Рисунок 1 – Геометричні параметри розробленого сошника які впливають на його тяговий опір

Динамічна складова тягового опору в моделі враховує просторове розсування ґрунту в сторони. Носок виконаний із диференційованими кутами розхилу: кут нижньої частини в 1,5 рази більший за кут верхньої. Це змушує верхні, як правило, більш сухі шари ґрунту, відводитися значно далі від зони формування борозни. Динамічний опір інерційного відкидання ґрунту масою  $m$  визначається формулою:

$$R_d = \rho \cdot B \cdot V^2 \cdot [h_s \cdot \sin^2(\gamma_1) + h_n \cdot \sin^2(1,5\gamma_1)]. \quad (4)$$

Після проходження носка, ущільнення дна борозни здійснюється клиновою п'ятою, яка розміщена у задній частині наральника. П'ята має свій кут атаки  $\beta$  і відповідає за формування фінального насінневого ложа. Її технологічний опір:

$$R_{II} = q_{ущ} \cdot b_1 \cdot l_3 \cdot \sin(\beta), \quad (5)$$

де  $q_{ущ}$  – опір ґрунту ущільненню, [Па];

$b_1$  – ширина наральника, яка дорівнює ширині п'яти;

$l_3$  – довжина частини п'яти для утворення насінневого ложа;

$\beta$  – кут атаки п'яти сошника.

При цьому, оскільки щок сошника рухаються у розширеному носком просторі, опір щік в математичній моделі приймається рівним нулю (або наближеним до мінімальних значень обсіпання), що є головним джерелом зниження загальної енергоємності конструкції.

### Висновки

1. Розроблена комплексна математична модель дозволяє достовірно та кількісно оцінити тяговий опір удосконаленого сошника з детальним врахуванням складних просторових геометричних параметрів. Встановлено, що конструктивне розширення носка на 10% дозволяє практично повністю усунути додатковий опір тертя щік сошника об стінки борозни.

2. В роботі теоретично обґрунтовано фундаментальну роль кута розвантаження  $\varepsilon$  та радіуса заокруглення нижньої кромки в поєднанні вони забезпечують мінімізацію площі фізичного контакту сошника з дном борозни. Це радикально знижує сили тертя та адгезії, що особливо актуально при роботі на перезволожених та важких за механічним складом ґрунтах.

3. Доведено, що просторова оптимізація кутів розхилу в горизонтальній площині (збільшення кута нижньої частини носка в 1,5 рази порівняно з верхньою) сприяє більш раціональному та ефективному розподілу ґрунтових потоків. Це не лише знижує динамічний опір, але й підвищує стабільність ходу агрегату на заданій технологічній глибині загортання насіння.

4. Представлена математична модель має високу прикладну цінність і може бути безпосередньо використана як база для інженерних розрахунків при проектуванні нових поколінь робочих органів посівних машин з метою зниження питомих витрат пального при незмінно високій агротехнічній якості посіву.

### Список використаних джерел

5. Сисолін П.В. та інш. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Кн. 1: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний; за ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2001. – 384 с.

6. Дмитро Артеменко. Дослідження конструкційних параметрів елементів сошника для посіву просапних культур. Науково-технічні дослідження у галузі механічної інженерії та транспорту: колективна монографія; за заг. ред. А.А. Кашканова. Академія технічних наук України. Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М. 2023. С. 72-110. URL: [https://ukrtsa.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/mech\\_transport.pdf](https://ukrtsa.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/mech_transport.pdf)

7. Артеменко Д.Ю. Обґрунтування і дослідження конструкції наральникового сошника просапної сівалки із зменшеним тяговим опором. Innovative Technical Solutions for the Sustainable Development of Ukraine and EU Countries: Scientific monograph. Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2026. Vol. 1. С. 134 – 162. URL: <http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/book/696>

8. Artemenko, D., S. Leshchenko, V. Onopa, V. Majara, and V. Deikun. 2022. Analysis of the combined coulter point of the precision seed drill. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 24(4): 57-71. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/7435/3947>

9. Артеменко Д.Ю., Лузан П.Г., Лузан О.Р., Ковбаса В.П. Обґрунтування конструкції комбінованого наральника сошника просапної сівалки. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / ЦНТУ, Вип. 55, 2025. С. 121 – 133. URL: <https://zbirniksgm.kntu.kr.ua/pdf/55/13.pdf>

УДК 631.354.2:633.15:621.93

## ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО КУТА ВСТАНОВЛЕННЯ НОЖІВ ПОДРІБНЮВАЛЬНОГО БАРАБАНА КУКУРУДЗОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

**В.В. Геращенко**, *ст. гр. ГМ-24М-1,*  
**Ю.В. Мачок**, *доц., канд. техн. наук*  
*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Кукурудза є однією з основних сільськогосподарських культур України та має важливе значення як для продовольчого забезпечення, так і для кормовиробництва. Ефективність її збирання значною мірою залежить від технічного рівня кукурудзозбиральних машин, зокрема від якості роботи подрібнювальних апаратів [1]. Особливо актуальним це питання є для комбайна КСКУ-6, який забезпечує не лише збирання качанів, а й подрібнення листостеблової маси для подальшого використання на силос [4].

Одним із головних елементів подрібнювального апарата є барабан із жорстко закріпленими ножами. Якість подрібнення та енергоємність процесу значною мірою визначаються кутом встановлення ножів. Нераціональне значення цього параметра призводить або до збільшення енергетичних витрат, або до погіршення фракційного складу різки [3,4,5,6].

Метою роботи є підвищення ефективності роботи подрібнювача комбайна КСКУ-6 шляхом теоретичного обґрунтування раціонального кута встановлення ножів подрібнювального барабана.

За результатами проведеного аналізу сучасних конструкцій кукурудзозбиральних машин та подрібнювачів листостеблової маси встановлено, що найбільш перспективними для умов збирання кукурудзи є барабанні ножові подрібнювачі з жорстким кріпленням ножів. На відміну від молоткових апаратів, вони забезпечують різальний характер взаємодії з матеріалом, що дозволяє знизити питомі витрати енергії до **10 – 16 кВт · год/т** та отримати більш рівномірну довжину різки [3,4,5,6].

Основну увагу приділено дослідженню впливу кута встановлення ножів на силові та енергетичні показники процесу різання. Встановлено, що при похилому різанні виникає ефект ковзання леза по поверхні стебла, завдяки чому зменшується необхідне зусилля різання. Аналітично доведено, що зусилля різання залежить від кута встановлення ножа  $\varphi$  за виразом:

$$P(\varphi) = P_0 \cdot \cos(\varphi) \quad (1)$$

де  $P_0$  – зусилля різання без ковзання (при  $\varphi = 0^\circ$ ), Н;  $\varphi$  – кут встановлення ножа, рад.

Отримана залежність свідчить, що зі збільшенням кута встановлення ножів зусилля різання монотонно зменшується. Так, при збільшенні кута від  $0^\circ$  до  $45^\circ$  зусилля різання зменшується майже на **30 %**.

Питома енергоємність процесу подрібнення визначається сумою двох складових: енергії безпосереднього різання та енергії тертя леза об матеріал. Для опису цього процесу отримано залежність

$$E(\varphi) = C_1 \cdot \cos^2(\varphi) + C_2 \cdot \sin(2\varphi) \quad (2)$$

де  $C_1 = P_0 \cdot v / \eta$ ,  $C_2 = \mu \cdot \frac{C_1}{2}$  – сталі;  $\eta$  – ККД приводу;  $v$  – швидкість ножа;  $\mu$  – коефіцієнт тертя стебла кукурудзи по сталі ( $\mu = 0,55 - 0,65$ ) [2].

Перша складова зі збільшенням кута зменшується, тоді як друга – зростає через підвищення сил тертя. У результаті функція має виражений мінімум, що дозволило аналітично визначити оптимальний кут встановлення ножів:

$$\varphi_{\text{опт}} = (1/2) \cdot \arctg(2\mu) \quad (3)$$

Для коефіцієнта тертя стебла кукурудзи по сталі  $\mu = 0,60$  отримано значення  $\varphi_{\text{опт}} \approx 25^\circ$ .

Дослідження показали, що саме в межах  $20 - 25^\circ$  забезпечується оптимальне поєднання низької енергоємності та високої якості подрібнення. При менших кутах спостерігається ударний характер різання, що викликає нерівномірність довжини різки, а при більших – посилюється зминання та розщеплення стебел.

Отже, у результаті проведених досліджень теоретично та практично обґрунтовано раціональний кут встановлення ножів подрібнювального барабана комбайна КСКУ-6.

### Список використаних джерел

1. Іванов І.І., Петренко О.О. Дослідження процесу подрібнення листостеблової маси кукурудзи. Техніка і технології АПК. 2019. № 3. С. 15–20.
2. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник [Текст] / [О. М. Царенко, Д. Г. Войтюк, В. М. Швайко та ін.], Київ: Мета – 2003. 448 с.
3. Павленко Р.А., Ю.В. Мачок Обґрунтування діаметру протягувальних вальців. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції». Кропивницький: ЦНТУ. 2019. С. 23-25.
4. Пастухов В. І. Машини для заготівлі кормів : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2010. 350 с.
5. Сільськогосподарські машини : навч. посіб. / Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Волянський М.С. , Мартишко В.М. , Гуменюк Ю.О. Київ : «Агроосвіта», 2017. 180 с.
6. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: підручник / П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.М. Сало ; за ред. М.І. Черновола. Київ: Урожай, 2002. Кн.2 : Машини для рільництва. 2002. 364 с.

УДК 631.356.2:631.363.2:631.3

## ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОТОРНОГО ОЧИСНИКА КОПАЧА ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

**А.В. Місюра**, *ст. гр. ГМ-24М-1,*  
**Ю.В. Мачок**, *доц., канд. техн. наук*  
*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Цукрові буряки залишаються однією з провідних технічних культур України, а ефективність їх збирання значною мірою визначає економічні показники функціонування цукрової галузі. Водночас значна частина бурякозбиральної техніки, що експлуатується у господарствах, є фізично та морально застарілою. Використання сучасних самохідних комбайнів закордонного виробництва для більшості агропідприємств є економічно недоступним, тому актуальним напрямом залишається модернізація наявних начипних чи причіпних машин із мінімальними капіталовкладеннями [3].

Одним із найбільш проблемних вузлів бурякозбиральних агрегатів є підбирально-очисний механізм. Недостатня ефективність очищення призводить до підвищення засміченості вороху, збільшення втрат цукристої маси та пошкодження коренеплодів. Особливу увагу привертають роторні (турбінні) очисники, які забезпечують інтенсивне відділення ґрунту та рослинних домішок, однак можуть викликати травмування коренеплодів за неправильного вибору режимів роботи.

Метою дослідження є обґрунтування параметрів роторного очисника начіпного копача цукрових буряків для зменшення пошкодження коренеплодів при забезпеченні необхідної якості очищення.

Об'єктом дослідження є технологічний процес очищення коренеплодів цукрових буряків у роторному підбирачі-очиснику. Предметом дослідження є конструктивні та кінематичні параметри турбінного очисника.

У роботі проведено аналіз конструкцій сучасних бурякозбиральних машин та встановлено, що турбінні очисники мають найвищу інтенсивність сепарації, особливо на важких ґрунтах. Водночас головним недоліком є підвищене механічне навантаження на коренеплоди.

Основну увагу приділено теоретичному дослідженню впливу частоти обертання турбінних коліс на процес очищення та пошкодження буряків [1,3].

Для серійного копача при діаметрі турбінних коліс роторного очисника **1,3 м** та частоті обертання **67,5 об/хв** швидкість периферії становить **4,6 м/с**, а ефективна швидкість взаємодії з коренеплодом – лише **0,828 м/с**.

Доведено, що питома кінетична енергія удару прутка по коренеплоду зростає пропорційно квадрату частоти обертання:

$$E_k = 0,5 \cdot k^2 \cdot \pi^2 \cdot D^2 \cdot n^2 / 3600 \propto n^2,$$

де  $k$  – коефіцієнт передачі швидкості;  
 $D$  – діаметр турбінного колеса, м;  
 $n$  – частота обертання, об/хв.

Розрахунки показали, що при штатній частоті обертання 67,5 об/хв питома енергія удару становить лише **0,343 Дж/кг**, що майже у 20 разів менше від порогу виникнення мікропошкоджень коренеплодів. Це забезпечує практично повну відсутність травмування, однак ступінь очищення при цьому складає лише **13,1 %**, що не відповідає агротехнічним вимогам.

Установлено, що необхідний рівень очищення вороху  $\eta_{оч} \geq 80\%$  [2] досягається при частоті обертання турбін **240 – 260 об/хв**. У цьому діапазоні коефіцієнт пошкодження не перевищує допустимого значення **5%**, а ступінь очищення становить **80 – 85 %**. Таким чином, визначено раціональний режим роботи роторного очисника, який забезпечує компроміс між інтенсивністю очищення та збереженням коренеплодів.

Крім того, виконано кінематичний та силовий аналіз приводу серійного копача. Встановлено, що існуючий механізм передач забезпечує частоту обертання турбін лише **67,5 об/хв**, тобто орієнтована переважно на дбайливе підбирання коренеплодів, а не на ефективне очищення. Це підтверджує доцільність модернізації конструкції та режимів роботи машини.

Отримані результати можуть бути використані при вдосконаленні начіпних чи причіпних бурякозбиральних машин і сприятимуть підвищенню якості цукрової сировини та ефективності механізованого збирання цукрових буряків.

## Список використаних джерел

1. Булгаков В.М. Теорія бурякозбиральних машин. Київ: Видавничий центр НАУ, 2005. 245 с.
2. Буряки цукрові. Збирання. Показники якості та методи їх визначання: ДСТУ 7062:2009. - [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. – 9 с. – (Національний стандарт України).

3. Волоха М.Н. Технологічний комплекс машин для виробництва буряків цукрових: ширина міжрядь. Теорія, моделювання, результати випробувань [монографія]. Київ: Центр учбової літератури, 2015. 220 с.

УДК 621.867.42:631.362

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОВШОВОЇ НОРІЇ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ЇЇ ТРАНСПОРТУЮЧОГО ОРГАНУ

**В.О. Нечиталюк**, *ст. гр. ГМ-24М-1,*  
**Ю.В. Мачок**, *доц., канд. техн. наук*  
*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Зернові норії є базовими елементами транспортних систем елеваторів, зерноочисних комплексів і комбикормових підприємств. Від ефективності їх роботи значною мірою залежить рівень механічного пошкодження зерна, енерговитрати технологічної лінії та довговічність обладнання [2,3]. Практика експлуатації свідчить, що найбільш суттєвими недоліками традиційних норій є травмування зернівок у процесі зачерпування та вивантаження, інтенсивне зношування тягового органу, а також підвищена запиленість робочої зони [3,4,6].

Метою дослідження є підвищення ефективності роботи ковшової норії НЛК-Ф-10 шляхом модернізації її транспортуючого органу та зниження механічного пошкодження зерна під час вертикального транспортування.

Аналіз сучасних конструкцій зернових норій показав, що основною причиною пошкодження зерна є ударна взаємодія зернівок із металевими ковшами. Особливо небезпечним є контакт із гострою передньою кромкою ковша, яка при швидкостях стрічки понад 2,5 м/с діє за принципом «ножа», викликаючи розколювання ендосперму та пошкодження оболонок насіння [6].

Для теоретичного обґрунтування процесу травмування зерна використано положення механіки деформованого твердого тіла та контактну модель Герца [3,6]. Встановлено, що характер руйнування зернівки визначається величиною контактних напружень і жорсткістю матеріалу ковша. Визначальним параметром є зведений модуль пружності контактної пари «зернівка – ківш». Проведені розрахунки показали, що для пари «зернівка – сталь» його значення майже у 100 разів перевищує відповідний показник для контакту з поліуретаном. Це призводить до значного збільшення локального тиску у зоні удару та підвищення ймовірності виникнення мікротріщин.

Досліджено вплив вологості зерна на механічні властивості зернівок. Встановлено, що при вологості 10–12% зерно характеризується найбільшою крихкістю та найнижчою пороговою швидкістю руйнування. Зі збільшенням вологості модуль пружності зернівки зменшується, а її пластичність зростає, що підвищує стійкість до ударних навантажень.

У результаті порівняльного аналізу матеріалів ковшів встановлено переваги поліуретану над сталлю. Використання поліуретанових ковшів забезпечує підвищення порогової швидкості пошкодження зернівок приблизно на 30% порівняно зі сталевими аналогами. Крім того, полімерний матеріал характеризується меншою питомою масою, високими демпфувальними властивостями, відсутністю іскроутворення та підвищеною абразивною стійкістю.

На основі проведених досліджень обґрунтовано раціональні геометричні параметри ковша норії. Встановлено, що оптимальний кут нахилу лобової стінки становить 40–45°, оскільки саме в цьому діапазоні забезпечується зменшення нормальної складової ударної швидкості без погіршення процесу зачерпування матеріалу. Для зниження концентрації

напружень рекомендовано використовувати заокруглену передню кромку ковша.

Практична реалізація запропонованих рішень дозволяє знизити пошкодження зерна на 10–15%, підвищити ресурс тягового органу у 1,5–2 рази та зменшити енерговитрати приводу завдяки зниженню маси ковшів. Отримані результати можуть бути використані при модернізації існуючих зернових норій та проектуванні нових транспортних систем для агропромислових підприємств.

### Список використаних джерел

1. Гевко Б.М. Транспортуючі машини : підручник. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 232 с.
2. Гевко Р. Б., Вітровий А. О., Пік А. І. Підвищення технічного рівня елеваторних конвеєрів: монографія. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2012. 188 с.
3. Дідур В.А., Кононенко А. Ф., Панченко С. В. та ін. Наукові основи мінімізації травмування насіння при збиранні та зберіганні: монографія. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 340 с.
4. Коробко А.І. Порівняльна характеристика експлуатаційних властивостей сталевих та полімерних ковшів для зернових норій. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Вінниця, 2018. Вип. 10. С. 45–52.
5. Тіщенко Л. М. Теорія і розрахунок зерноочисних машин та елеваторів: монографія. Харків: Міськдруку, 2011. 480 с.
6. Тіщенко Л. М., Ольшанський В. П., Котенко О. В. Математична модель ударної взаємодії зернини з кромкою ковша норії. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. Київ, 2019. Вип. 210. С. 14–22.

УДК 631.362

## ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОРОХУ СОНЯШНИКУ

**Крячко А.М., студент;**

**Кобан Є.М., аспірант;**

**Васильковський О.М., к.т.н, професор**

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Соняшник посідає провідне місце серед олійних культур, які культивуються як в Україні, так і у світовому масштабі [1]. Україна стабільно утримує позиції одного з головних виробників і експортерів олії соняшнику, що надає особливої ваги питанню забезпечення високої якості насіннєвого матеріалу. Якісні характеристики соняшникового насіння після комбайнування визначаються ефективністю технологічних операцій післязбиральної обробки, передусім процедур очищення та фракціонування. Присутність сторонніх легких домішок у насіннєвій масі призводить до зниження олійності, створює несприятливі умови для зберігання та негативно впливає на посівні властивості матеріалу. Таким чином створення високоефективного сепараційного устаткування становить важливе завдання для підприємств машинобудівної галузі.

Повітряна сепарація знайшла широке застосування у процесах підготовки зернових і насіннєвих матеріалів завдяки порівняно нескладній конструкції та спроможності поділяти компоненти суміші на основі їхніх аеродинамічних характеристик [2, 4, 5, 7]. Робота таких установок ґрунтується на відмінностях аеродинамічної поведінки основної фракції насіння та сторонніх домішок, що забезпечує можливість їх ефективного розмежування у повітряному середовищі [3, 6]. Водночас наявні пневмосепаруючі системи не завжди досягають необхідного рівня продуктивності під час обробки матеріалу із специфічними фізико-механічними параметрами – низькою насипною густиною та різною геометрією, що ускладнює

технологію сепарування [8, 11]. Тож в процесі проведення експериментальних досліджень повітряних сепараторів важливе місце займає отримання інформації про фракційний вміст компонентів зернового вороху та їх основні фізико-механічні властивості.

Для проведення лабораторних досліджень нами визначено основні фізико-механічні властивості післякомбайнового вороху соняшнику. Вимірювання вологості здійснювали за допомогою лабораторного вологоміра WILE 55 (рис. 1а), що здійснює вимірювання вологовмісту олійних – 5,0...25,0%  $\pm$ 0,5%.

Результати вимірювання вологості зернового матеріалу наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Вологість вороху соняшнику

Вологість вороху за повторністю W, %					Середня вологість, %	Похибка $\Delta$ , %
I	II	III	IV	V		
14,2	14,3	14,1	13,5	14,1	14,04	2,8

Процес визначення вологості соняшникового вороху показав, що досліджуваний природний післякомбайновий матеріал містив 14,04% вологи, при цьому найбільша статична похибка становила 2,8%.

Вміст легких домішок у складі зернового матеріалу визначали за допомогою розробленого на кафедрі сільськогосподарського машинобудування парусного класифікатора (рис. 1б) [9, 10]. Результати аналізу наведено у таблиці 2.



а)



б)

Рис. 1. Лабораторне обладнання:  
а – вологомір WILE 55, б – парусний класифікатор.

В результаті визначення засміченості зернового матеріалу легкими домішками встановлено середній їх середній вміст на рівні 5,24%, при цьому найбільша статична похибка складає 2,4 %.

Результаті вимірювання натуре вороху наведено у таблиці 3.

Таблиця 2

Вміст легких домішок у воросі соняшнику

Вміст легких домішок за повторністю, %					Середній вміст легких домішок, %	Похибка $\Delta$ , %
I	II	III	IV	V		
5,6	5,3	4,7	5,1	5,5	5,24	2,4

Таблиця 3

Об'ємна маса вороху соняшнику

Натура вороху соняшнику, $\gamma$ , г/дм <sup>3</sup>					Середнє значення, г/дм <sup>3</sup>	Похибка, $\Delta$ %
I	II	III	IV	V		
376	382	385	391	388	384	8,7

Таким чином, в результаті визначення натуре вороху соняшнику встановлено її середнє значення – 384 кг/м<sup>3</sup>, при найбільшій статичній похибці – 8,7 %.

Результаті визначення фракційного складу вороху соняшника за аеродинамічними характеристиками наведено на рис. 3.

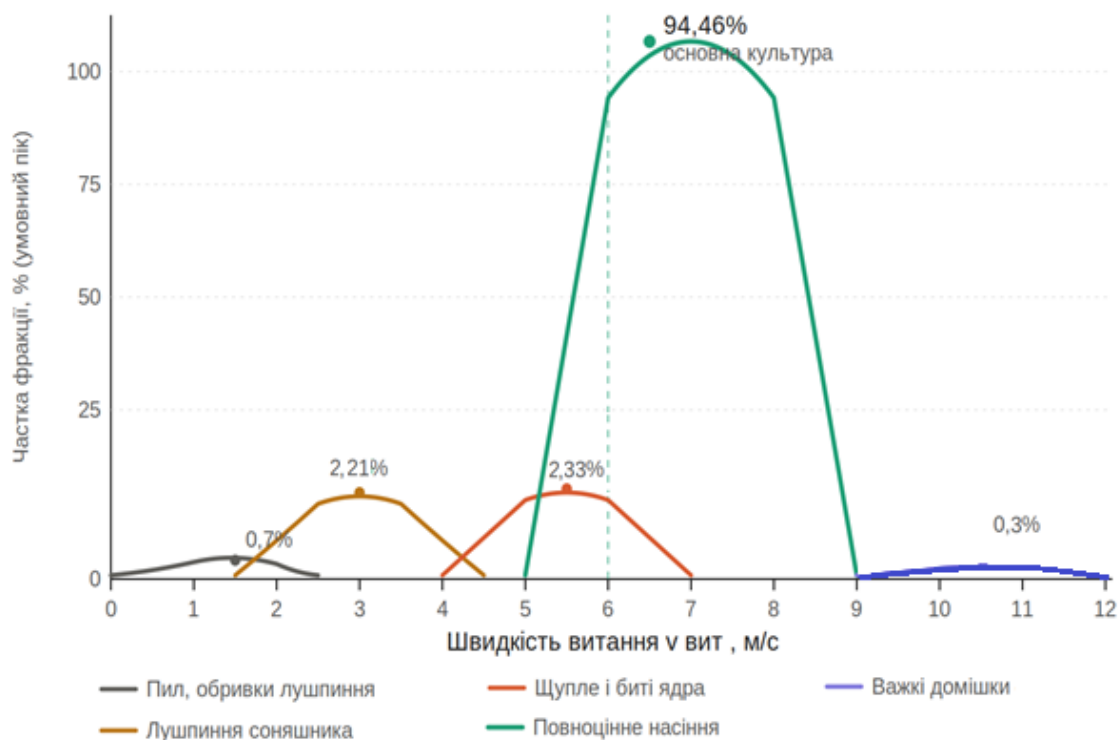


Рис. 3. Фракційний склад вороху соняшнику за швидкістю витання

Розподіл фракцій за швидкістю витання: легкі домішки – 0,5-4,5 м/с, повноцінне насіння – 5,5-9,5 м/с, важкі домішки – понад 9 м/с. Зони перекриття між фракціями унеможливають повне розділення лише повітряним потоком, однак при очищенні для продовольчих цілей, необхідно встановлювати швидкість повітря у каналі – 5,3...6 м/с.

## Список використаних джерел

1. Vasytkovska, K. Researches of pneumatic sowing machine with peripheral cells location and inertial superfluous seeds extraction [Text] / K. Vasytkovska, O. Vasytkovskyu, O. Anisimov, N. Trykina // ECONTECHMOD: an international quarterly journal on economics of technology and modelling processes. – Lublin; Rzeszow. Vol. 4. No. 4. 2015, 85-89.
2. Аналіз сучасного стану повітряної сепарації зерна / М.І. Васильковський, С.Я. Гончарова, С.М. Лещенко, [та ін.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 36. - Кіровоград: КНТУ, 2006. - С. 111-114.
3. Антоновський В., Васильковський О. Удосконалення аспірації зерноочисної машини ОВС-25. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції». – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. С. 64-65.
4. Васильковський М.І. Теоретичні основи процесів очищення зерна в пневмосепаруючих каналах / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2018. – Вип. 45. – С. 14-21.
5. Васильковський О.М. Енергетичний та економічний аналіз використання зерноочисних машин / Пропозиція №1 01/2017. – 2017. – К.: видавництво. С. 150-152.
6. Васильковський О.М., Васильковський М.І., Осипов І.М. Обґрунтування конструктивних параметрів інерційного прямоточного сепаратора зерна. -Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. –Вип. 29, 1999.
7. Кобан Є., Олексієнко Д., Васильковський О. Удосконалення аспірації зерноочисної машини. Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Прикладні науково-технічні дослідження», Івано-Франківськ: АТНУ, 2024. С. 34-36.
8. Нестеренко О. В. Перспективний напрямок інтенсифікації повітряної сепарації зерна./ О.В. Нестеренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко, Д.В. Богатирьов // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація . - 2012. - Вип. 25(1). - С. 49-53.
9. Петренко Д.І. Ефективність розділення зернового матеріалу на фракції турбінним сепаратором / Д.І. Петренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, О.В. Нестеренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград. - 2013. - Вип. 43 (2). - С. 230-237.
10. Петренко, Д. І. Дослідження якості роботи інерційної пневматичної зерноочисної машини [Текст] / Д. І. Петренко, О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, О. В. Нестеренко // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти - Запоріжжя: НВК Інтер-М. - 2015. - Вип. 3. С. 123-131.
11. Шеремет М., Васильковський О. Удосконалення зерноочисної машини ЗОМ-1. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції». Кропивницький: ЦНТУ, 2023. С. 55-57.

УДК 631.316.022, 631.33.022

## ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПРОСАПНОГО КУЛЬТИВАТОРА

**Кобрин М.М.**, здобувач вищої освіти, гр. ГМ-24М-1,  
**Лещенко С.М.**, к.т.н., доцент  
Центральноукраїнський національний технічний університет

Якість міжрядного обробітку ґрунту є одним із головних чинників ефективного вирощування просапних культур – кукурудзи, соняшнику, цукрових буряків та сої, питома вага яких у структурі посівних площ господарств Кіровоградщини систематично зростає. Операція міжрядної культивування забезпечує знищення бур'янів, регулює водно-повітряний режим ґрунту і формує умови для розвитку кореневої системи рослин, а тому безпосередньо визначає кінцеву врожайність [1, 2, 3]. Незважаючи на широке застосування культиваторів серії УСМК, аналіз польових умов Центральної України свідчить про невідповідність цих машин сучасним агротехнічним вимогам, зокрема спостерігається

недостатня повнота підрізання бур'янів, нестабільність глибини обробітку та підвищені енергетичні витрати на міжрядний обробіток [5]. Усунення перелічених недоліків шляхом науково обґрунтованого вдосконалення конструкції робочих органів і є актуальним прикладним завданням.

Детальний аналіз конструкції культиватора УСМК-8,1, що є одним із найбільш поширених агрегатів для міжрядного обробітку в регіоні, дозволив виявити три взаємопов'язані групи конструктивних недоліків [2, 4]. По-перше, прямолінійний профіль леза стрільчастих лап із постійним кутом різання  $23\text{--}25^\circ$  формує нераціональний розподіл сил різання по ширині захвату, що суттєво збільшує питомий тяговий опір і спостерігається головним чином на ущільнених суглинкових ґрунтах. По-друге, довжина бічних ланок паралелограмного механізму секцій (420 мм) є недостатньою для якісного копіювання мікрорельєфу, адже розраховане значення коефіцієнта копіювання рельєфу для базового варіанту становить  $K = 0,530$ , тоді як агротехнічні вимоги передбачають утримання глибини обробітку з відхиленням не більше  $\pm 1,0$  см. По-третє, одна пружина розтягу на секцію створює зусилля заглиблення лише 850–900 Н, що є недостатнім для надійної роботи на ущільнених ґрунтах із щільністю понад  $1,3$  г/см<sup>3</sup>. Практичним наслідком зазначених недоліків є порушення нормативів за трьома якісними показниками роботи [6]: повнота підрізання бур'янів становить лише 94,5–96,4% замість нормативних  $\geq 98\%$ , відхилення глибини обробітку сягає 1,2–1,4 см, а пошкодження культурних рослин складає 3,5–5,2%.

Теоретичне обґрунтування запропонованих конструктивних рішень в роботі засновані на класичній теорії різання ґрунту В.П.Горячкіна, Г.М.Синеокова та П.М.Василенка [1, 3, 4, 7]. Аналіз аналітичних залежностей тягового опору стрільчастої лапи від геометрії леза довів, що перехід від прямолінійного до криволінійного (параболічного) профілю леза із середньозваженим ефективним кутом різання  $\alpha \approx 22\text{--}26^\circ$  дозволяє перерозподілити нормальні та дотичні складові сил різання, знизивши питомий тяговий опір. Для паралелограмного механізму розроблено кінематичну модель, згідно з якою збільшення довжини бічних ланок з 420 до 480 мм підвищує коефіцієнт копіювання рельєфу з  $K = 0,530$  до  $K = 0,625$ , при цьому кути нахилу ланок у крайніх положеннях ( $\varphi = 21,4^\circ\text{--}34,9^\circ$ ) гарантують кінематичну гнучкість всього механізму без заклинювання. Перехід до двох пружин розтягу на секцію забезпечує зусилля заглиблення 1120–1144 Н, що є достатнім для стабільної роботи встановлених на секціях робочих органів навіть на ґрунтах із щільністю вище  $1,3$  г/см<sup>3</sup>.

Міцнісні розрахунки вдосконалених елементів конструкції підтвердили доцільність прийнятих технічних рішень. Запас міцності за границею текучості стояка стрільчастої лапи (Сталь 65Г) в нормальних умовах роботи складає  $n = 2,14$ ; для підвищення циклічної міцності та зносостійкості запропоновано технологію локального борування леза до твердості HRC 52–56, що формує стискаючі залишкові напруження у поверхневому шарі й збільшує ресурс до 140–160 га. Розрахунок пружини розтягу підтвердив достатній запас міцності ( $n = 1,82$  при вимозі  $n \geq 1,5$ ), а жорсткість пружини  $c = 8,2$  Н/мм при 12 робочих витках забезпечує необхідне робоче зусилля 1020–1144 Н. Значний запас міцності осі шарніра паралелограмного механізму ( $d = 16$  мм, Сталь 45) на зріз –  $n = 2,83$  – гарантує довговічну безвідмовну роботу вузла протягом не менше 2000–3000 годин.

Польові та лабораторно-польові дослідження вдосконаленого культиватора УСМК-8,1, проведені на дослідному полі кафедри загального землеробства, підтвердили ефективність запропонованих конструктивних змін. Порівняльна оцінка семи агротехнічних показників засвідчила, що вдосконалений агрегат відповідає нормам ДСТУ за всіма критеріями, тоді як базовий варіант порушував три нормативи. Повнота підрізання бур'янів підвищилась до 98,5–99,2% проти нормативних  $\geq 98,0\%$  (базовий варіант – 94,5–96,4%), відхилення глибини обробітку скоротилось до 0,7–0,8 см при нормі  $\leq 1,0$  см, а пошкодження культурних рослин зменшилось до 1,8–2,4%. Нерівномірність глибини обробітку між секціями покращилась на 60%, а кількість необроблених смуг у міжряддях знизилась до нуля. Оптимальний діапазон

робочих швидкостей вдосконаленого агрегату становить 6,5–8,0 км/год, продуктивність зростає з 4,42 до 5,07 га/год (+14,7%), а зниження тягового опору на 18–20% дозволяє забезпечити скорочення витрат пального на 12–15%.

Отримані в роботі аналітичні залежності, обґрунтовані конструктивні параметри та методика розрахунку можуть бути застосовані при проектуванні і модернізації просапних культиваторів типу УСМК та аналогічних агрегатів у виробничих умовах сільськогосподарських підприємств Кіровоградської та суміжних областей. Впровадження вдосконаленого культиватора сприяє не лише підвищенню якості догляду за посівами просапних культур, а й зменшенню застосування гербіцидів завдяки ефективнішому механічному знищенню бур'янів, що відповідає вимогам ресурсозберігаючих та екологічно орієнтованих технологій сільськогосподарського виробництва.

### Список використаних джерел

1. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студент. вищ. навч. зал. із спец. «Машини та обладн. с.-г. вир-ва» / За ред. М.І. Черновола. Кн. 1: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.М. Сало; За ред. М.І. Черновола. Київ: Урожай, 2002. 364 с.
2. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей / Сало В.М., Лещенко С.М., Лузан П.Г., Мачок Ю.В., Богатирьов Д.В. Харків: Мачулін, 2016. 244 с.
3. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.1 (частина1) Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків: ОКО, 2001. 444 с.
4. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. / [Бендера І. М. та ін.]; за ред. І. М. Бендери, А. В. Рудя, Я. В. Козія. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. 640 с.
5. Сало В.М., Богатирьов Д.В., Лещенко С.М., Савицький М.І. Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві. Техніка і технології АПК. Науково-виробничий журнал. №10(61), 2014. С 16 – 19.
6. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Київ: Нора-Прінт, 1999. 280 с.
7. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. 492 с.
8. Войтюк Д.Г. та ін. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник; за ред. С.С. Яцуна. [2-ге вид., перероб. і допов.]. Суми: Сумський нац. аграр. ун-т, 2011. 444 с.

УДК 631.362.3

### ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗЕРНООЧИСНОЇ МАШИНИ МПО-50

**Теличенко В.В.**, здобувач вищої освіти, гр. ГМ-24М-1,  
**Васильковський М.О.**, здобувач вищої освіти, гр. ГМ-25М-1,  
**Лещенко С.М.**, к.т.н., доцент  
*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Виробництво зерна в Україні є стратегічним завданням агропромислового комплексу, адже щорічні обсяги збирання зернових і зернобобових культур стабільно перевищують

60–80 млн тонн. Значна частина зібраного врожаю потребує своєчасної і ефективної післязбиральної обробки, і саме від якості попереднього очищення залежить збереженість зерна під час зберігання, придатність насінневого матеріалу та кінцева собівартість виробленої продукції [1, 2, 3]. Серед машин для попереднього очищення найпоширенішою у складі зерноочисно-сушильних комплексів типу КЗС і зерноочисних агрегатів ЗАВ залишається зерноочисна машина МПО-50 – стаціонарний агрегат із сітчастим транспортером і пневмосепаруючим каналом, що має паспортну продуктивність до 50 т/год

і встановлену потужність 11 кВт. [4, 5]. Широке застосування МПО-50 в агросекторі зумовлено доступною ціною, простотою конструкції і налагодженою мережею технічного обслуговування, проте тривала практика експлуатації виявила низку конструктивних недоліків, які суттєво знижують загальну ефективність сепарації.

За результатами виробничої експлуатації і аналізу науково-технічної літератури в базовій конструкції МПО-50 виявлено три взаємопов'язані недоліки. Робота агрегату характеризується нерівномірним розподілом зернового матеріалу по ширині сітчастого транспортера, адже у базовому варіанті коефіцієнт варіації завантаженості полотна дорівнює 18,7–23,8%, що призводить до локального перевантаження окремих зон і суттєво знижує ефективність просівання по всій ширині робочої поверхні. В базовій конструкції зерноочисної машини відсутній механізм самоочищення сітки, що спричиняє поступове забивання її отворів, особливо при роботі з вологим зерном [6, 7]. Крім переліченого, має місце нестабільний аеродинамічний режим пневмосепаруючого каналу, адже коефіцієнт варіації швидкості повітряного потоку сягає 22%, що призводить до нерівномірного винесення легких домішок і зростання втрат повноцінного зерна у відходах [8, 9]. Сукупність виявлених недоліків обумовила науково-практичну необхідність вдосконалення конструкції зерноочисної машини.

Метою проведеної роботи є підвищення ефективності попереднього очищення зерна шляхом удосконалення конструкції зерноочисної машини МПО-50 та обґрунтування раціональних параметрів її основних робочих органів. Для досягнення мети вирішено такі задачі: виконано аналіз існуючих технічних рішень у сфері очищення зерна та виявлено недоліки базової конструкції МПО-50; теоретично обґрунтовано параметри вдосконаленого розподільника зернової маси, щіткового механізму самоочищення та профільованих напрямних пластин; проведено лабораторні та порівняльні випробування; розроблено рекомендації для практичного впровадження результатів.

Наукова новизна результатів дослідження полягає у тому, що запропоновано нову конструкцію розподільника зернової маси з обґрунтованими геометричними параметрами (кут нахилу  $33^\circ$  від горизонталі, висота розподільного елемента  $h = 65$  мм, кут розкриття  $45^\circ$ ), що забезпечує рівномірне формування шару зерна по ширині транспортера перед сепарацією; теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено раціональні параметри щіткового механізму самоочищення сітчастого транспортера (кількість секцій щіткового барабана – 3, товщина щітки  $t = 88$  мм, радіус барабана  $R = 120$  мм, раціональна частота обертання  $n = 450$  хв<sup>-1</sup>); встановлено доцільність застосування профільованих напрямних пластин на основі аеродинамічного профілю НАСА 4415 у пневмосепаруючому каналі для стабілізації аеродинамічного режиму і рівномірного виносу аеродинамічно легких домішок.

Теоретичні дослідження ґрунтуються на рівняннях динаміки зернового матеріалу на похилій рухомій поверхні та гідродинамічній теорії течії повітряного потоку у вертикальному каналі змінного перерізу. Геометрію профільованих напрямних пластин обґрунтовано з використанням аеродинамічних характеристик профілів НАСА 4415, що дало змогу зменшити коефіцієнт аеродинамічного опору й підвищити однорідність повітряного потоку. Конструктивні параметри розподільника зернової маси визначено на основі математичної моделі руху зернового шару з урахуванням коефіцієнта тертя між зерном і поверхнею. Для оцінки механічних навантажень на корпус розподільника виконано розрахунок напружено-деформованого стану, який підтвердив достатній запас міцності: максимальне напруження  $\sigma_{\max} = 1,26$  МПа при допустимому  $[\sigma] = 160$  МПа. Лабораторні та порівняльні експерименти проводилися на установці з робочою поверхнею  $200 \times 200$  мм за трьох рівнів вологості зерна ( $W = 14; 17; 20\%$ ) і трьох значень частоти обертання щіткового барабана ( $n = 300; 450; 600$  хв<sup>-1</sup>). Статистичну обробку результатів виконано методами дисперсійного аналізу ANOVA при рівні значущості  $\alpha = 0,05$ . Порівняльні випробування базової та вдосконаленої конструкцій МПО-50 підтвердили ефективність усіх трьох запропонованих технічних рішень.

Щодо розподільника зернової маси. Нова конструкція розподільника з кутом нахилу  $33^\circ$  і висотою  $h = 65$  мм забезпечила суттєве вирівнювання зернового потоку по ширині транспортера. При використанні запропонованого розподільника коефіцієнт варіації завантаженості полотна знизився з 18,7–23,8% до 5,2–8,1%, тобто нерівномірність зменшилась у 3,0–3,5 рази порівняно з базовою конструкцією. Рівномірне початкове завантаження безпосередньо вплинуло на подальші показники сепарації, оскільки зникли локальні зони перевантаження, що раніше унеможлилювали якісну сепарацію.

Запропоновано встановлювати в пару до сітчастого транспортеру щіткового механізму самоочищення. Встановлення щіткового очисника з трьома секціями при частоті обертання  $n = 450$  хв<sup>-1</sup> дозволило підтримувати живий переріз сітчастого полотна на рівні, близькому до початкового, протягом усього робочого циклу. Ефективність сепарації при вологості  $W = 14\%$  зросла з 83,2% до 95,3%, а при  $W = 17\%$  — з 80,5% до 88,6%. Найбільш показовими є результати при максимальній вологості  $W = 20\%$ : без механізму самоочищення ефективність сепарації падала до 54,8%, тоді як зі щітковим очисником при  $n = 450$  хв<sup>-1</sup> цей показник становив 94,7% – приріст склав майже 40 відсоткових пунктів. Збільшення частоти обертання до  $n = 600$  хв<sup>-1</sup> дало подальший приріст до 97,3%, проте разом із зростанням механічного зношення щітки, тому раціональним є режим  $n = 450$  хв<sup>-1</sup> як оптимальний за сукупністю показників ефективності та надійності.

Застосування пластин з профілем НАСА 4415 у пневмосепаруючому каналі стабілізувало аеродинамічний режим сепарації. За таких умов коефіцієнт варіації швидкості повітряного потоку по ширині каналу знизився з 22% до 9%, що означає підвищення рівномірності потоку більш ніж удвічі. Як наслідок, ефективність пневмосепарації при середніх режимах зросла на 17,8 відсотків – з 71,8% до 89,6%.

Комплексний ефект модернізації. За результатами порівняльних випробувань вдосконаленої машини МПО-50 в цілому встановлено, що ефективність сепарації при  $W = 14\%$  досягла 95,3% (базова – 83,2%), при  $W = 20\%$  – 91,2% (базова – 76,1%), а втрати повноцінного зерна з відходами скоротилися з 1,12% до 0,46%, тобто більш як удвічі. Коефіцієнт варіації розподілу зернового матеріалу по полотну склав 5,2–8,1% проти 18,7–23,8% у базовій конструкції, що свідчить про принципове усунення головного системного недоліку даної зерноочисної машини.

Запропоновані конструктивні зміни можуть бути реалізовані без принципової переробки базової конструкції МПО-50 і не потребують значних виробничих витрат. Усі три вдосконалені вузли – розподільник зернової маси, щітковий механізм очищення та профільовані напрямні пластини є конструктивно незалежні, що дозволяє впроваджувати їх як комплексно, так і поетапно при планових ремонтах машини. Розрахунок міцності розподільника підтвердив достатній запас конструктивної надійності ( $\sigma_{\max} = 1,26$  МПа при допустимому  $[\sigma] = 160$  МПа), що гарантує ресурс вузла без додаткових витрат на матеріал. Результати роботи рекомендовані для використання підприємствам-виробникам при модернізації серійних зерноочисних машин МПО-50, а також проектними організаціями при створенні зерноочисного обладнання нового покоління.

Таким чином, за результатами проведених досліджень вирішено актуальне науково-прикладне завдання вдосконалення конструкції зерноочисної машини МПО-50. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено ефективність трьох самостійних конструктивних рішень – нового розподільника зернової маси, щіткового механізму самоочищення сітчастого транспортера та профільованих напрямних пластин пневмосепаруючого каналу. У комплексі вони забезпечили зниження коефіцієнта варіації розподілу зерна по полотну в 3–3,5 рази; приріст ефективності сепарації на 12–40 відсотків залежно від вологості зернового матеріалу; скорочення втрат повноцінного зерна більш як удвічі. Отримані результати є внеском у теорію та практику вдосконалення зерноочисних машин загального призначення і можуть бути поширені на аналогічні конструкції машин і агрегатів для сепарації зерноsumішей.

## Список використаних джерел

1. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 3. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння / Сисолін П.В., Петренко М.М., Свірень М.О. За ред. Черновола М.І. Київ: Фенікс, 2007. 432 с.
2. Інтенсифікація процесу повітряної сепарації зерна / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, [та ін.] // Збірник наукових праць Таврійської державної агротехнічної академії. Сучасні проблеми землеробської механіки. Мелітополь, 2006. – Вип. 39. С. 161–165.
3. Лещенко С.М., Васильковський О.М., Васильковський М.І., Гончаров В.В. Підвищення ефективності попереднього очищення зернових сумішей. Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. Вип. 18. Луцьк: Ред. вид. відділ ЛНТУ, 2009. С. 230-234.
4. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Мороз С.М., Петренко Д.І. Експериментальні дослідження енергоємності роботи відцентрового прямоочного сепаратора зерна. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 49. Кропивницький: ЦНТУ, 2019 р. С. 67-74. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2019.49.67-74>.
5. Nesterenko A.V. Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding / Аналітична оцінка якості пневмосепарації при багаторівневому введенні / Nesterenko A.V., Leshchenko S.M., Vasytkovskyi O.M., Petrenko D.I. // INMATEH – Agricultural Engineering. Sep-Dec. – Bucharest / Romania, 2017. Vol. 53, No 3. P. 65-70.
6. Харченко, С. О., Харченко, Ф. М., Котляревський, І. В., & Панкова, О. В. (2024). Аналіз систем очищення отворів перфорованих просіювальних поверхонь сепарувальних машин. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів, (3 (57)), 48-55. <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.3.7>.
7. Петренко Д. І., Лещенко С. М., Недельський Д. С., Біліченко І. О. Математична модель роботи пневмогравітаційного сепаратора зернових сумішей. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 55. 2025. С. 112-120. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.112-120>.
8. Бажан І.М., Васильковський О.М., Лещенко С.М., Амосов В.В. Інтенсифікація процесу сепарації зерна на плоскому коливальному решеті із зигзаговидним розташуванням отворів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 54. 2024. С. 192-202. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.192-202>.
9. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Петренко Д.І., Мороз С.М., Нестеренко О.В. Попередні дослідження пасивного струнного решета. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 52. 2022. С. 73-80. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.73-80>.

УДК 631.316.4

## ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНЕ ТА ІНЖЕНЕРНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЗМІН НОЖІВ КОТКІВ БЕЗПРИВОДНОГО МУЛЬЧУВАЧА РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ

**Червоний Т.В., аспірант,**  
**Старкін О.О., здобувач вищої освіти, гр. ГМ-24М-1,**  
**Мандзюк Р.В., здобувач вищої освіти, гр. ГМ-25М-1,**  
**Богатирьов Д.В., к.т.н., доцент**  
*Центральноукраїнський національний технічний університет*

У представлений науковій праці було розв'язано актуальну науково-прикладну проблему підвищення ефективності технологічного процесу подрібнення пожнивних решток шляхом обґрунтування параметрів та розробки інноваційної конструкції безприводного котка-подрібнювача [1]. Було встановлено, що сучасні ґрунтозахисні технології, такі як No-till та Organic No-till, висувають підвищені вимоги до якості мульчування, особливо при роботі з грубостебловими культурами. Було виявлено, що основною перешкодою для стабільного функціонування існуючих безприводних засобів

механізації було інтенсивне забивання міжножового простору вологою рослинно-грунтовою масою, що призводило до втрати різальної здатності та зростання тягового опору.

Для усунення зазначених недоліків було розроблено математичну модель енергоємності процесу подрібнення, яка базувалася на аналізі сил нормального тиску та тертя, що виникали на різних поверхнях ножа [2]. Під час моделювання загальну силу для переміщення ножа в рослинному середовищі було представлено як суму проекцій трьох основних сил, де перша сила  $P_1$  ла на фаску ножа, друга сила  $P_2$  а прикладена безпосередньо до різальної кромки, а третя сила  $P_3$  характеризувала опір на плоскій грані робочого органа. Визначення цих складників було виконано за допомогою наступних аналітичних виразів:

$$P_1 = N_1 \cos \gamma + F_{\text{тр}} - F_1 \sin \gamma$$

$$P_2 = N_2 f_2 \cos \gamma + N_2 \sin \gamma$$

$$P_3 = N_3 f_3$$

У ході теоретичних досліджень було встановлено, що для реалізації ефекту ковзного різання раціональний кут установки ножів мав становити від  $25^{\circ}$  до  $40^{\circ}$ . Було доведено, що такий діапазон забезпечував мінімальну питому енергоємність процесу, яка за результатами моделювання становила  $0,72 \text{ Дж/м}^2$ . Окрему увагу було приділено аеродинамічному опору барабана під час роботи на підвищених швидкостях від 15 до 25 км/год. Введення поняття еквівалентної проекції висоти перетину барабана дозволило підвищити точність прогнозування тягового опору в 1,5 рази за рахунок використання наступного рівняння сили опору повітря  $P_{\text{air}}$ :

$$P_{\text{air}} = \frac{1}{2} n C_x \rho L b_{\text{ж}} (v_a + v_w)^2$$

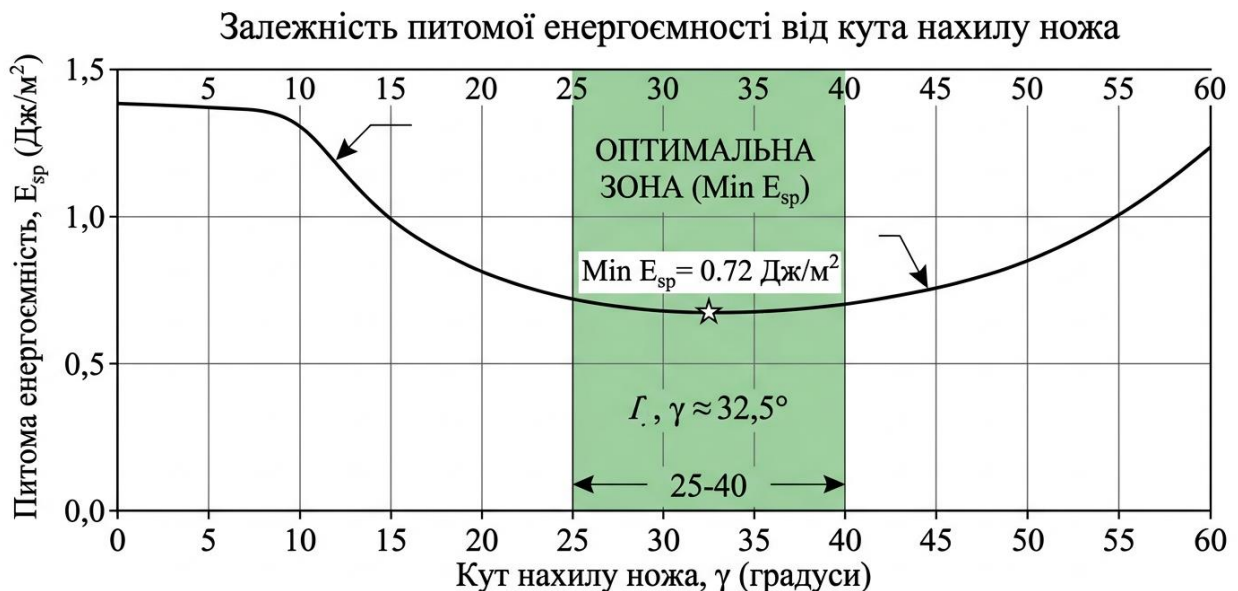


Рисунок 1 – Графік залежності питомої енергоємності від кута нахилу ножа з виділенням оптимальної зони  $25^{\circ}$ – $40^{\circ}$

Практичну значущість досліджень було втілено у розробці інноваційного ножового барабана зі зміщеними наскрізними отворами, захищеного патентом України № 161767 [3]. Було доведено, що шахове розташування отворів зі зміщенням на половину кроку перфорації (0,5S) створювало зони вільного розширення, що активувало процес природного самоочищення барабана. Було встановлено, що затиснутий ґрунт під дією внутрішнього тиску видавлювався крізь отвори, натрапляв на суцільну поверхню сусіднього ножа та

руйнувався внаслідок турбулізації потоку. Така кінематика самоочищення дозволила повністю відмовитися від використання додаткових чистиків, що суттєво спростило конструкцію та підвищило її надійність.

Для верифікації теоретичних положень було проведено серію лабораторних експериментів на спеціалізованій установці ЦНТУ. За результатами математичної обробки експериментальних даних було отримано регресійну модель опору стебел соняшнику перерізанню  $P_{in}$  з коефіцієнтом детермінації  $R^2 = 0,9919$

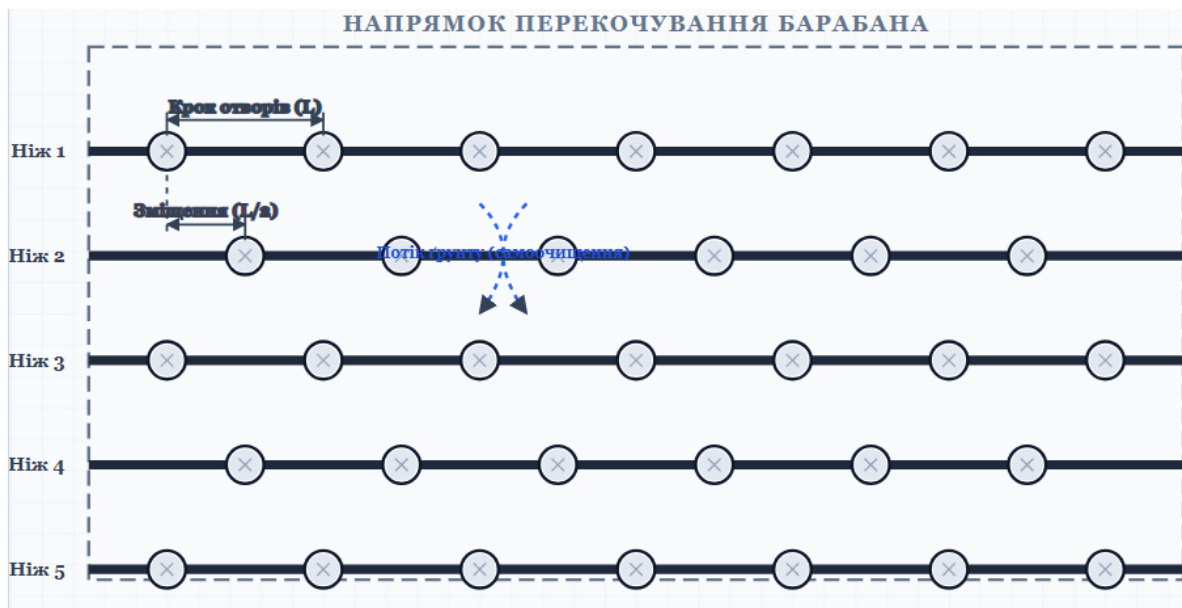


Рисунок 2 – Схема шахового розташування зміщених отворів та траєкторія потоку ґрунту при самоочищенні

$$P_{in} = 22,94 + 4,652A + 23,61d - 0,04Ad$$

Поверхня відгуку опору  $P_{in}$  від вологості  $A$  та діаметра  $d$

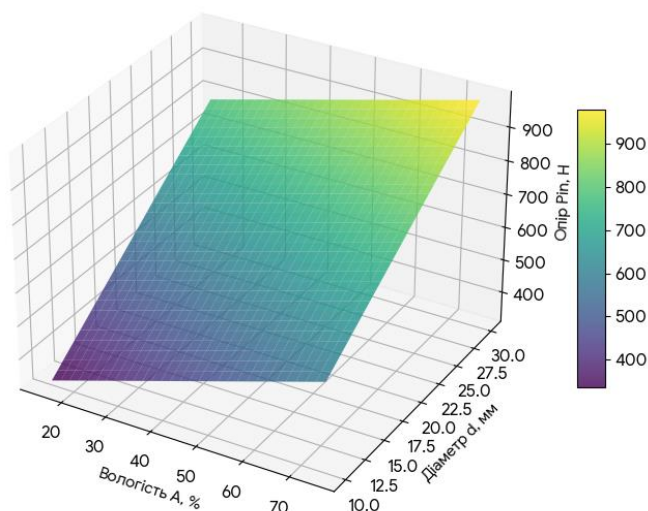


Рисунок 3 – Поверхня відгуку опору перерізанню залежно від діаметра та вологості стебел соняшнику

Техніко-економічна оцінка впровадження модернізованого агрегату КП-4,5 продемонструвала значні переваги розробленої конструкції. Було встановлено, що завдяки

усуненню технологічних простоїв змінна продуктивність праці зросла на 50 % порівняно з базовим варіантом. Питомі витрати палива при цьому зменшилися на 28,1 %, що становило суттєву економію енергоресурсів при підготовці полів до сівби. Розрахований термін окупності додаткових капіталовкладень склав менше одного агротехнічного сезону, що підтвердило доцільність серійного виготовлення таких мульчувачів. Додатково було розроблено заходи з охорони праці, які включали використання пружинних компенсаторів для гасіння вібраційних навантажень на робоче місце механізатора.

Результати проведених досліджень дозволили зробити висновок, що поєднання раціональної геометрії ножів та ефекту самоочищення барабанів забезпечило значне підвищення надійності та продуктивності мульчувальних агрегатів у системах сталого землеробства.

### Список використаних джерел

1. Derpsch R., Friedrich T., Kassam A., Li H. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2010. Vol. 3, No. 1. P. 1–25.
2. Leshchenko S., Salo V., Bohatyrov D., Volianyuk I. Determination of the energy parameters of cutting plant residues of agricultural crops. *Engineering for Rural Development*. 2021. Vol. 20. P. 112–119. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF03>.
3. Ножовий барабан котка-подрібнювача рослинних решток : пат. 161767 Україна : МПК А01В 29/02, А01В 33/00. № u202502693 ; заявл. 06.06.2025 ; опубл. 31.12.2025, Бюл. № 53.
4. Moyer J. Organic No-Till Farming: Advancing No-Till Agriculture Crops, Soil, Equipment. Acres U.S.A., 2011. 204 p.
5. Pittelkow C. M., Liang X., Linquist B. A. et al. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*. 2015. Vol. 517. P. 365–368. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature13909>.

УДК 338.432:004.9 УДК 658.788:338.43

## ІНТЕГРАЦІЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЛОГІСТИКУ ЯК ДОМІНАНТА СТРАТЕГІЧНОГО ОНОВЛЕННЯ АГРАРНИХ СУБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРЮВАННЯ

*О. Терзов, здобувач вищої освіти, гр. ЕА-24М*

*О. Юрченко, к.е.н., доц.*

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Концептуальна зміна парадигми розвитку аграрного сектору в сучасних умовах базується на переході від екстенсивного нарощування обсягів виробництва до інтенсивної оптимізації ланцюгів доданої вартості. Цифрова інтеграція логістичних процесів виступає центральним елементом такої стратегії, перетворюючи розрізнені операції з транспортування та зберігання продукції на єдину інтелектуальну екосистему управління. Стрімкий розвиток цифрових технологій, зокрема систем відстеження продукції, аналітики даних, автоматизованого планування та інтелектуальної логістики, створює нові можливості для оптимізації руху ресурсів і продукції в агросекторі. Водночас сучасні виклики - військові дії, порушення логістичних шляхів, нестабільність ринків та зростаючі витрати - формують потребу в якісно нових підходах до управління ланцюгами постачання, що підсилює значущість цифрових рішень.

Основою технологічної трансформації становить впровадження комплексних систем планування ресурсів підприємства у тісному поєднанні з модулями управління транспортом. Це створює середовище реального часу, де кожен етап руху аграрної продукції - від завантаження у полі до розвантаження в портовому терміналі - стає прозорим та прогнозованим. Використання промислового інтернету речей та сенсорних мереж

забезпечує безперервний моніторинг фізичного стану збіжжя, контролюючи параметри вологості та температури, що мінімізує кількісні та якісні втрати під час логістичних операцій.

Аналітичний аспект стратегії базується на використанні алгоритмів великих даних для побудови складних маршрутних моделей. Розумне планування дозволяє враховувати пропускну здатність інфраструктури, завантаженість елеваторів та динаміку черг, що безпосередньо впливає на скорочення витрат на паливо та амортизацію техніки. Важливу роль у забезпеченні довіри та безпеки відіграє технологія блокчейн, яка автоматизує документообіг через смарт-контракти та забезпечує повну простежуваність походження продукції, що є критичною вимогою для інтеграції у світові ринки.

Економічна доцільність такої стратегії виражається у суттєвому підвищенні маржинальності бізнесу за рахунок мінімізації прихованих втрат та оптимізації орендних витрат на транспорт. Прогнозне моделювання на основі штучного інтелекту дозволяє підприємствам заздалегідь бронювати необхідні логістичні потужності, нівелюючи ризики дефіциту вагонів або суден у пікові періоди збирання врожаю. Таким чином, цифрова логістика перетворюється з допоміжної функції на стратегічний актив, що формує довгострокову конкурентоспроможність агропідприємства.

Попри очевидні переваги, реалізація такої стратегії потребує подолання бар'єрів, пов'язаних з високою вартістю інноваційного обладнання та необхідністю формування нових компетенцій у персоналу. Стратегічний розвиток за цих умов має обов'язково включати заходи з кіберзахисту інтегрованих систем та постійний аудит цифрової інфраструктури, що гарантуватиме стабільність бізнес-процесів у турбулентному ринковому середовищі.

Додатковим стратегічним вектором виступає впровадження систем динамічного управління складськими запасами, що базуються на концепції інтернет-речей. Це дозволяє сільськогосподарським підприємствам не просто констатувати наявність продукції, а в автоматичному режимі синхронізувати темпи збирання врожаю з ритмічністю подачі транспортних засобів, фактично ліквідуючи розриви в ланцюгу «поле - елеватор».

Цифровізація також дає змогу реалізувати концепцію спільного використання активів, коли декілька господарств через єдину платформу оптимізують завантаження орендованого транспорту, що значно знижує логістичний тиск на кожне окреме підприємство.

Особливого значення набуває інтеграція геоінформаційних систем у логістичне планування. Це дозволяє в реальному часі коригувати логістичні потоки залежно від погодних умов, стану ґрунтових доріг та специфіки рельєфу, що особливо важливо для оперативного вивезення продукції з віддалених угідь. Використання систем супутникового моніторингу та безпілотних літальних апаратів забезпечує контроль за логістикою паливно-мастильних матеріалів та добрив у зворотному напрямку, закриваючи повний цикл ресурсозабезпечення виробництва.

Крім того, цифрова інтеграція логістики відкриває шлях до використання «зелених» технологій та моніторингу вуглецевого сліду. Оптимізація пробігу техніки та зменшення часу роботи двигунів на холостому ходу завдяки усуненню заторів на пунктах приймання дозволяє підприємствам отримувати додаткові екологічні преференції та сертифікати, що стає вагомим перевагою в умовах глобального курсу на декарбонізацію агропромисловості. Стратегічний успіх у цьому контексті залежить від здатності менеджменту перетворити потік «сирих» даних на інструмент підтримки прийняття рішень, що мінімізує вплив людського фактора на критичних вузлах логістичного ланцюга.

## Список використаних джерел

1. Андрійчук В. Г. Цифрова трансформація сільського господарства: виклики та можливості для України. *Економіка та управління АПК*. 2020. № 2. С. 5–18.
2. Кваша С. М., Власенко Ю. Г., Левківська Л. М. Цифровізація аграрного сектору економіки як фактор підвищення його конкурентоспроможності. *Економіка АПК*. 2021. № 6. С. 24–33.

3. Крикавський С. В. Логістичне управління : підручник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. 684 с.
4. Лагодієнко В. В., Орел В. М. Логістична стратегія управління аграрними підприємствами в умовах цифровізації. *Причорноморські економічні студії*. 2022. Вип. 74. С. 112–117.
5. Макаренко П. М. Розвиток цифрової логістики в системі управління ланцюгами постачання агропродовольчої продукції. *Агросвіт*. 2023. № 4. С. 12–19.
6. Про засади державної політики цифровізації : Закон України від 01.12.2023 р. № 3456-IX. *Відомості Верховної Ради України*. 2024. № 5. Ст. 28.
7. Савицька Н. Л. Стратегічні орієнтири цифрової інтеграції суб'єктів агробізнесу. *Економічний вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут»*. 2022. № 21. С. 88–94.
8. Шкільний О. О., Пристемський О. С. Модернізація логістичних процесів агропідприємств на засадах інтелектуалізації та автоматизації. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія: Економічні науки*. 2021. № 3. С. 245–256.

УДК: 631.362.3

## ОЦІНКА ВПЛИВУ СПОСОБУ ВВЕДЕННЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ НА ОПІР ПНЕВМОСЕПАРАЦІЙНОГО КАНАЛУ

**О.В. Нестеренко**, к.т.н., доцент  
**Ю.В. Сулима**, студент гр. ГМ-24М  
*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Пневматична сепарація є одним із найбільш поширених способів очищення зернових сумішей у сучасних зерноочисних машинах. Ефективність роботи пневмосепараційного каналу значною мірою визначається рівномірністю розподілу швидкостей повітряного потоку та величиною аеродинамічного опору зернового шару [1, 2]. При підвищенні питомого навантаження на канал відбувається локальне збільшення щільності зернового матеріалу, особливо в зоні його введення, що призводить до нерівномірності швидкісного поля, підвищення енергоємності процесу та погіршення якості сепарації [3, 4]. Тому, для підвищення ефективності відділення домішок існує необхідність максимального вирівнювання поля швидкостей повітряного потоку в робочій зоні сепарації, що в свою чергу сприяє зменшенню сумарного опору повітряному потоку в каналі [1].

Метою досліджень було встановлення впливу способу подачі зернового матеріалу на опір пневмосепараційного каналу та оцінка ефективності пошарового введення зерна в робочу зону сепаратора.

Для реалізації поставленої задачі проведено експериментальні дослідження на моделі зернового шару, яке виконано з металевих прутків з навантаженням, яке рівноцінне найбільш вирівняному полю швидкостей повітряного потоку в пневмосепараційному каналі  $q_{bi} = 350 \dots 400$  кг/дм<sup>3</sup>·год та на експериментальній установці.

У процесі досліджень встановлено, що при одношаровому введенні зернового матеріалу у робочому перерізі каналу виникають значні локальні зони підвищеного опору. Це спричиняє зниження швидкості повітряного потоку в зоні подачі матеріалу та її надмірне збільшення у центральній частині каналу. Такий характер розподілу швидкостей негативно впливає на процес пневмосепарації, оскільки погіршується виділення легких домішок і збільшуються втрати повноцінного зерна [2, 3].

Для усунення зазначених недоліків запропоновано спосіб пошарового введення зернового матеріалу, за якого загальний потік поділяється на декілька тонких шарів або струменів, що вводяться в пневмосепараційний канал на різних зонах по висоті робочої зони.

Проведені дослідження підтвердили, що такий підхід дозволяє суттєво зменшити аеродинамічний опір зернового шару та покращити структуру повітряного потоку.

На основі моделювання експериментально встановлено, що ефективно зниження опору досягається за умови розшарування зернового матеріалу, коли відстань між сусідніми частками наближається до їх середнього розміру. При цьому опір повітряному потоку зменшується більш ніж у 4,5 рази порівняно зі щільним одношаровим розташуванням зерна.

Водночас результати експериментальних досліджень показали, що використання пошарового введення дозволяє знизити загальний опір повітряному потоку в пневмосепараційному каналі у 1,4–1,8 рази та забезпечити більш рівномірний розподіл швидкостей повітряного потоку.

Отримані результати підтверджують перспективність застосування пошарового введення зернового матеріалу в пневмосепараційний канал зерноочисних машин з вертикальним розміщенням пневмосепараційного каналу, що забезпечує підвищення ефективності сепарації та зменшення енергоємності процесу.

### **Список використаних джерел**

1. Оцінка рівномірності розподілу та засміченості зерна при його багаторівневому введенні в пневмосепаруючий канал / О. В. Нестеренко, С. М. Лещенко, О. М. Васильковський, Д. І. Петренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – Вип. 51. – С. 111-116.
2. Котов Б.І., Степаненко С.П., Швидя В.О. Аналітичні дослідження раціональної подачі зернової суміші в аспіраційний канал пневмовідцентрових сепараторів . Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. 2010 . Вип. 103. С. 54-61.
3. Нестеренко О.В. Дослідження якісних показників пневмосепарації при багаторівневому введенні зерна / О. В. Нестеренко, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. : ред.-вид. відділ ЛНТУ. Луцьк, 2015. Вип. 32. С. 143–151.
4. Нестеренко О.В. Перспективний напрямок інтенсифікації повітряної сепарації зерна / О.В. Нестеренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко, Д.В. Богатирьов // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту. Кіровоград: КНТУ, 2012. – Вип. 25. Ч.1. – С.49-53.

УДК 631.316.4

## **УДОСКОНАЛЕННЯ РОТАЦІЙНОГО РОБОЧОГО ОРГАНА ДЛЯ ОБРОБІТКУ ЗАХИСНИХ ЗОН ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР**

**О. Нестеренко, к.т.н., доцент  
Д. Апостолов, аспірант**

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Сучасні технології вирощування просапних культур передбачають виконання комплексу агротехнічних операцій, спрямованих на створення оптимальних умов для росту та розвитку рослин. Однією із найважливіших технологічних операцій у системі догляду за посівами є міжрядний обробіток ґрунту, основною метою якого є знищення бур'янів, покращення повітряно-водного режиму ґрунту, збереження вологи та підтримання поверхневого шару у розпушеному стані [1].

Однією із проблем традиційних технологій міжрядного обробітку є наявність значних захисних зон біля культурних рослин, у межах яких робочі органи культиваторів не виконують обробіток через ризик пошкодження кореневої системи та надземної частини рослин [1, 2]. У результаті цього частина бур'янів залишається незнищеною, що знижує

ефективність технологічного процесу та нерідко потребує виконання додаткових операцій. Існуючі пасивні робочі органи культиваторів забезпечують лише часткове перекриття площі міжряддя, що негативно впливає на загальний ступінь механізації технологічного процесу [1].

Перспективним напрямком вирішення цієї проблеми є застосування ротаційних робочих органів, які дозволяють зменшувати ширину захисної зони та підвищувати якість обробітку ґрунту [1, 2]. Застосування таких робочих органів забезпечує інтенсивніше руйнування поверхневої кірки, покращує кришення ґрунтових агрегатів та сприяє більш ефективному механічному знищенню бур'янів. Однак використання існуючих конструкцій ротаційних систем має певні недоліки. До основних недоліків можна віднести нерівномірність обробітку в зоні живлення рослин, недостатня точність руху робочого органа та ймовірність повторного приживання підрізаних бур'янів. Крім того, при роботі деяких типів ротаційних систем спостерігається значне переміщення частинок ґрунту та утворення нерівностей поверхні поля [1, 2].

З метою усунення зазначених недоліків запропоновано удосконалену конструкцію ротаційного робочого органа культиватора, яка поєднує механічну систему приводу та елементи автоматизованого керування положенням робочого органа відносно рядків рослин. Основна ідея конструкції полягає у забезпеченні можливості зміни положення робочого органа в горизонтальній площині залежно від розташування рослин у рядку.

Конструктивно запропонований робочий орган містить гідромотор, який є джерелом приводу системи, карданний вал для передавання крутного моменту, конічний редуктор та ведучий вал із закріпленим на ньому диском, оснащеним ножами (рис. 1).

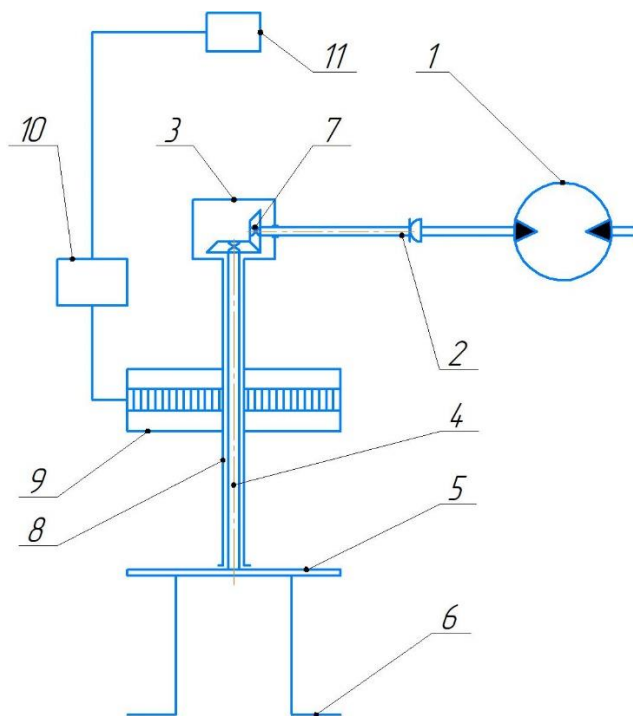


Рисунок 1 – Ротаційний робочий орган культиватора: 1 – гідромотор; 2 – карданний вал; 3 – редуктор; 4 – вал; 5 – диск; 6 – ножі; 7 – шестерня; 8 – труба; 9 – електропривід; 10 – контролер; 11 – відеокамера.

Ведучий вал із диском розміщується в спеціальній напрямній трубі, яка має можливість горизонтального переміщення. Керування переміщенням здійснюється за допомогою електроприводу, який взаємодіє із системою керування та засобами візуального контролю. До складу системи також входять контролер та відеокамера, що забезпечують аналіз положення рослин і формування відповідних команд для зміни траєкторії руху робочого органа.

Принцип роботи системи полягає в тому, що відеокамера здійснює безперервне отримання інформації про розміщення рослин у рядку. Отримані дані надходять до контролера, де виконується їх аналіз та визначаються координати необхідного переміщення робочого органа. Після цього формується керуючий сигнал для електроприводу, який забезпечує горизонтальне зміщення системи у відповідному напрямку. Такий алгоритм функціонування дозволяє змінювати траєкторію руху робочого органа безпосередньо в процесі роботи агрегату.

У результаті переміщення ротаційний робочий орган формує складну траєкторію руху, яка за характером наближається до синусоїдальної кривої. Це дозволяє виконувати обробіток максимально близько до культурних рослин, обходячи їх кореневу систему та надземну частину. Водночас забезпечується інтенсивне розпушування ґрунту та ефективне підрізання бур'янів у межах захисної зони.

Використання систем автоматичного керування положенням робочих органів відкриває нові можливості для підвищення точності міжрядного обробітку та вдосконалення технологічних процесів вирощування просапних культур. Поєднання механічних елементів ротаційного обробітку із сучасними засобами комп'ютерного контролю дозволяє не лише покращити якість технологічної операції, але й зменшити витрати ручної праці, скоротити застосування гербіцидів та підвищити ефективність використання енергетичних ресурсів.

Таким чином, удосконалена конструкція ротаційного робочого органа створює передумови для підвищення ефективності догляду за посівами просапних культур за рахунок зменшення захисної зони, підвищення якості механічного знищення бур'янів та забезпечення точного виконання технологічного процесу.

### **Список використаних джерел**

1. Пастухов В. І., Браженко С. А. Ротаційні робочі органи для обробітку міжрядь просапних культур. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, Вип. 107 «Механізація сільськогосподарського виробництва»; Том 1. 2011. С. 292-296.
2. Огляд розвитку засобів для орієнтації просапних знарядь вздовж рядків, зокрема у вирощуванні цукрових буряків / Ветохін В. та ін. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2020. Вип. 26 (40). С. 30-46.
3. Напрямки вдосконалення технічних засобів для міжрядного обробітку просапних культур. Нестеренко, О. В., Апостолов, Д. В., Амосов, В. В., & Боровик, В. Ю. (2025). Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, Вип. 55, С. 250–256.

УДК 631.312; 631.316.22

## **ВПЛИВ ФОРМИ СТІЙКИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЧИЗЕЛЬНОГО ПЛУГА НА ЗОНИ ДЕФОРМАЦІЇ ҐРУНТУ ТА ОПР**

**Мельниченко В.А., аспірант**

**Грінченко І.О., здобувач вищої освіти, гр. ГМ-24М-1,**

**Лещенко С.М., к.т.н., доцент**

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Однією з найбільш актуальних проблем сучасного агровиробництва залишається переущільнення ґрунту, яке формується під впливом багаторазового руху по полю важкої сільськогосподарської техніки та недотримання обґрунтованих сівозмін. Унаслідок цього зростає щільність орного й підорного горизонтів, погіршуються водно-повітряні властивості ґрунту, ускладнюється розвиток кореневої системи рослин і, як наслідок,

знижується врожайність сільськогосподарських культур. Результати досліджень, проведених як в Україні, так і за кордоном, свідчать про те, що ущільнення шару ґрунту на глибині 25–40 см може спричинити втрати врожаю в межах 15–30 % [1, 2].

Для відновлення оптимального фізичного стану ґрунту використовують різні види ґрунтообробної техніки, серед яких значне поширення отримали чизельні плуги та глибокорозпушувачі. Застосування таких бензполицевих знарядь дозволяє здійснювати глибоке розпушення без обертання скиби, що сприяє накопиченню та збереженню вологи, підтриманню структури ґрунту і водночас забезпечує менші енергетичні витрати порівняно з традиційною полицевою оранкою.

Ефективність роботи таких агрегатів значною мірою визначається конструкцією та геометрією робочих органів, зокрема чизельних лап, доліт, стрілчастих лап і дискових елементів, а також особливостями їх поєднання в межах одного агрегату. Саме форма та взаємне розташування робочих органів впливають на характер деформації ущільненого шару, ступінь подрібнення ґрунту, рівномірність розпушення та енергоємність технологічного процесу, одночасно забезпечуючи збереження основних агрофізичних властивостей ґрунтового середовища [3, 4].

Важливим елементом конструкції чизельних плугів і глибокорозпушувачів, що визначає роботу основних робочих органів є стояк, який суттєво впливає на можливість виконання операції обробки ґрунту, визначає кількісні і якісні характеристики обробки.

Для серійного чизельного плуга ПЧ-4,5 із прямолінійною формою стійки характерним є утворення перед нижньою частиною робочого органу так званої «мертвої зони», розміри якої можуть досягати  $0,4 \cdot d$ , де  $d$  – глибина обробки чизельною лапою, м. У межах цієї ділянки ґрунтового середовища практично не переміщується, а зазнає додаткового ущільнення. Проведене DEM-моделювання [5] підтвердило наявність зазначеного явища: відповідно до отриманих карт швидкостей руху ґрунтових частинок, у цій області спостерігається майже повна відсутність їх переміщення.

Використання стійки з параболічним профілем дозволяє усунути утворення «мертвої зони», оскільки геометрія такої поверхні забезпечує більш плавну взаємодію робочого органу з ґрунтовим середовищем. Нормаль до параболічної кривої в кожній її точці орієнтована під кутом, близьким до напрямку руху ґрунтового потоку, що сприяє більш рівномірній деформації та переміщенню ґрунту [5].

Геометричний профіль удосконаленої нижньої частини стійки – від леза долота до висоти  $h \approx 2d$  може задаватися наступним рівнянням:

$$y(x) = k \cdot x^2,$$

де  $x$  – координата від леза долота в горизонтальному напрямку, м;  $y$  – підйом профілю лапи над лезом долота або ж координата вертикальна, м;  $k$  – кривизна,  $\text{м}^{-1}$ .

Кут нахилу дотичної в довільній точці системи можна знайти за формулою

$$\theta(x) = \arctg\left(\frac{dy}{dx}\right) = \arctg(2 \cdot k \cdot x).$$

Проведені дослідження дозволяють встановити, що ширина зони деформації ґрунту від леза долота має бути рівною раціональному куту атаки стійки основного робочого органу. Координати профілю стійки чизельного робочого органу наведені в таблиці 1. На рис. 1. наведено геометрію профілів серійної та вдосконаленої стійок чизельного плуга та формування зон деформації ґрунту.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що форма стійки чизельного робочого органу суттєво впливає на характер деформації ґрунтового середовища та енергетичні показники процесу глибокого розпушення. Для серійної прямолінійної стійки характерним є утворення локальної «мертвої зони» перед нижньою частиною робочого органу, у межах якої ґрунт практично не переміщується та зазнає додаткового ущільнення.

Таблиця 1

Координатне положення точок параболічного профілю стійки та кути нахилу дотичної, що описує форму робочого органу

Параметр	$x = 0$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,45 м
$y$ , мм ( $k=0,20 \text{ м}^{-1}$ )	0	2,0	8,0	18,0	32,0	40,5
$\theta(x)$ , °	0	2,3	4,6	6,8	9,1	10,2

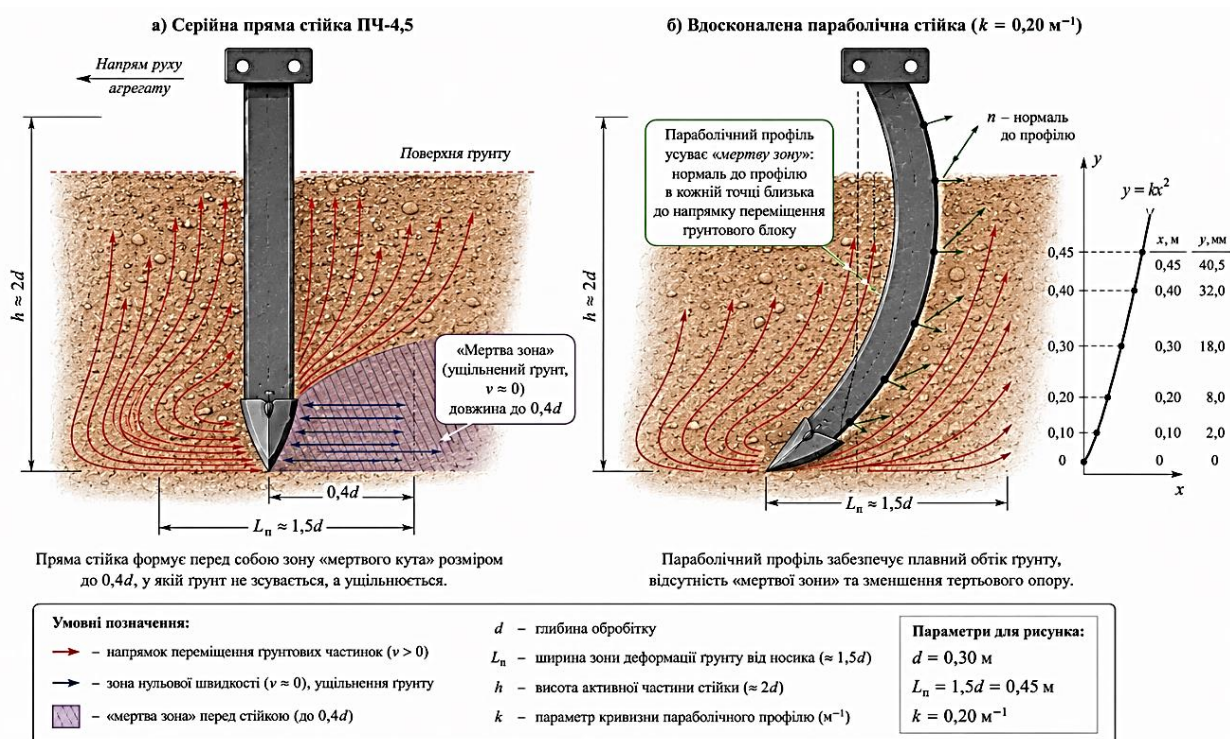


Рисунок 1 – Порівняння форм стійок чизельного плуга і зон деформації ґрунту робочим органом: а) пряма стійка чизельної лапи; б) параболічна стійка чизельної лапи ( $k = 0,20 \text{ м}^{-1}$ )

Проведене теоретичне обґрунтування та результати DEM-моделювання підтвердили, що застосування параболічного профілю стійки забезпечує більш плавний розподіл деформацій у зоні взаємодії робочого органу з ґрунтом. Завдяки змінному куту нахилу дотичної до поверхні стійки відбувається більш рівномірне переміщення ґрунтового потоку, зменшується концентрація напружень і знижується ймовірність формування зон вторинного ущільнення.

Встановлено, що використання параболічної форми стійки дозволяє покращити умови зрушення ущільненого шару, підвищити рівномірність розпушення та зменшити тяговий опір чизельного плуга. Отримані результати можуть бути використані під час удосконалення конструкцій чизельних плугів і глибокорозпушувачів для роботи в умовах переущільнених ґрунтів.

## Список використаних джерел

1. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студент. вищ. навч. зал. із спец. «Машини та обладн. с.-г. вир-ва» / За ред. М.І. Черновола. Кн. 1: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.М. Сало; За ред. М.І. Черновола. Київ: Урожай, 2002. 364 с.
2. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей / Сало В.М., Лещенко С.М., Лузан П.Г., Мачок Ю.В., Богатирьов Д.В. Харків: Мачулін, 2016. 244 с.

3. Сало В.М., Богатирьов Д.В., Лещенко С.М. Сало В.М. Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві. Техніка і технології АПК. Науково-виробничий журнал. №10(61), 2014. С 16 – 19.
4. Лещенко С. М., Сало В. М., Петренко Д. І., Мельніченко В. А. Аналітичне обґрунтування основних параметрів комбінованого чизельного глибокорозпушувача. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 55. 2025. С. 225-237. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.225-237>
5. Ucgul, M., Fielke, J.M., & Saunders, C. (2014). Three-dimensional discrete element modelling of tillage: Determination of a suitable contact model and parameters for a cohesionless soil. Biosystems Engineering, 121, 105-117. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.02.005>.

УДК 631.363.2

## **УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ОДНОВАЛЬНОГО ЛОПАТЕВОГО ЗМІШУВАЧА КОРМІВ ДЛЯ ВРХ**

**Р.В. Кісільов, доц., канд. техн. наук,  
С.С. Галан, магістрант**

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

**Постановка проблеми.** Сучасний розвиток тваринницької галузі, як однієї з найважливіших складових агропромислового комплексу, висуває підвищені вимоги до якості виробленої продукції, ефективності виробництва та обсягів її отримання. Пріоритетні напрями державної програми відновлення і розвитку тваринництва в Україні орієнтовані на послідовне підвищення інтенсивності ведення скотарства шляхом широкого впровадження сучасних засобів механізації та автоматизації виробничих процесів на тваринницьких фермах і молочних комплексах. Однією з визначальних умов успішного функціонування галузі є формування високоєфективної та стабільної кормової бази, здатної забезпечити повноцінну годівлю поголів'я.

Розв'язання цього завдання потребує застосування сучасних технологій заготівлі, консервування та зберігання кормів, а також удосконалення процесів їх підготовки, подрібнення, змішування та переробки. Особливого значення набуває використання прогресивних методів приготування повнораціонних, збалансованих кормових сумішей, які забезпечують оптимальне співвідношення поживних речовин. Використання таких технологічних рішень сприяє підвищенню поживної цінності кормів, покращенню їх органолептичних властивостей і смакових характеристик, а також дозволяє більш раціонально використовувати побічну продукцію рослинництва та дешеві малокомпонентні корми [1].

Разом із тим, наявні конструкції кормозмішувачів, призначених для приготування кормів для великої рогатої худоби, не повною мірою відповідають сучасним зоотехнічним вимогам щодо отримання однорідних багатокомпонентних повнораціонних сумішей. Значна частина існуючих машин характеризується високою енергоємністю технологічного процесу, підвищеними витратами матеріалів та недостатньою ефективністю роботи змішувальних робочих органів. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають наукові дослідження, спрямовані на вдосконалення конструкцій кормозмішувачів і розроблення нових робочих органів, здатних забезпечити якісне приготування кормових сумішей при мінімальних витратах енергії та матеріальних ресурсів.

Створення та впровадження таких технічних рішень має важливе практичне значення для агропромислового виробництва, оскільки сприятиме підвищенню продуктивності тваринництва, зниженню собівартості продукції та покращенню економічної ефективності галузі загалом. Одночасно це становить важливий напрям

наукових досліджень у сфері механізації технологічних процесів кормовиробництва та годівлі тварин[2-5].

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є підвищення однорідності кормової суміші шляхом удосконалення технологічного процесу змішування та застосування нової конструкції змішувача кормів, здатної забезпечити більш ефективний розподіл компонентів у загальному об'ємі суміші.

**Виклад основного матеріалу.** Для розв'язання поставленого завдання була висунута робоча гіпотеза, відповідно до якої підвищення інтенсивності та ефективності процесу приготування кормових сумішей для великої рогатої худоби може бути досягнуте завдяки пошаровому завантаженню дозованих компонентів у змішувач періодичної дії, оснащений лопатевим робочим органом. У процесі досліджень особлива увага приділялася вивченню впливу конструктивних і кінематичних параметрів мішалки на якість перемішування вологих кормових компонентів та рівень однорідності готової суміші.

Розроблена конструкція змішувача складається з корпусу із завантажувальною горловиною, робочого валу з установленими плоскими лопатями правого та лівого нахилу, радіальних пальців, рами, вивантажувального шнека, регулювальної засувки та індивідуального привідного механізму. Така конструктивна схема забезпечує інтенсивну циркуляцію кормової маси в різних напрямках і сприяє підвищенню ефективності технологічного процесу змішування.

Технологічний процес приготування кормової суміші відбувається таким чином. Лопаті верхнього ряду, розташовані під правим кутом нахилу, захоплюють окремі порції корму відповідно до ширини робочої поверхні лопаті та переміщують їх одночасно у радіальному, коловому й осьовому напрямках у праву частину змішувача. Лопаті другого ряду, які мають лівий нахил, транспортують кормову масу у протилежний бік - до лівої частини робочої камери. Одночасна дія лопатей різного напрямку та радіальних пальців забезпечує формування значної кількості локальних мікрооб'ємів суміші з безперервним перерозподілом частинок компонентів.

У процесі перемішування компоненти корму багаторазово переходять із одного потоку в інший у зонах взаємного перетину складних траєкторій руху. Це створює інтенсивний масообмін між окремими шарами суміші, підвищує рівень турбулізації кормової маси та значно прискорює процес отримання однорідної кормової суміші. Завдяки цьому забезпечується покращення технологічної ефективності змішування, зниження тривалості процесу та підвищення якості готового корму для тварин [6].

**Висновки.** Запропонована конструкція змішувача забезпечує однорідність суміші на рівні  $V_0=92\%$  та мінімізує витрати енергії.

## Список використаних джерел

1. Хмельовський В.С. Оцінка рівномірності змішування кормів. Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції, Київ НУБІП України. 2017. С. 77–78.
2. Ревенко І., Ревенко Ю. Якість приготування та ефективність використання концентрованих та комбінованих кормів. MOTROL. Lublin-Rzeszow. 2013. Вип. 3. С. 356–361.
3. Ревенко І.І., Брагінець М.В., Ребенко В.І. Машини та обладнання для тваринництва. Кондор. Київ. 2009. 730 с.
4. Кісільов Р.В., Лузан П.Г., Амосов В.В., Васильковський М.О. Дослідження впливу конструктивних параметрів змішувача на якість приготування кормової суміші. Центральноросійський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 12(43), Ч.І. С.187-194. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).1.187-194](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.187-194).
5. Кісільов Р.В., Хмельовський В.С., Лузан П.Г., Сисоліна І.П. Дослідження двосекційного змішувача для приготування збалансованих сумішей на фермах ВРХ. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. Вип. 50. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2019.49.107-113>.
6. Шацький В.В., Мілько Д.А., Болтянський Б.В., Коломієць С.М., Семенцов В.І. Якість змішування компонентів раціону – основа підвищення продуктивності тварин. Збірник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь. 2013. Вип. 1. т. 3. С. 43–50.

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВИСІВНОГО АПАРАТА БУРЯКОВОЇ СІВАЛКИ ТОЧНОГО ВИСІВУ

*Я. Долгіх, магістрант*

*С. Мороз, доц., канд. техн. наук*

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Просо є цінною сільськогосподарською культурою з коротким вегетаційним циклом (65–90 діб), що дозволяє використовувати її як резервну при загибелі основних посівів. Культура відрізняється високою поживною цінністю зерна й забезпечує господарства кормовими побічними продуктами. Разом із тим якість сівби проса залишається недостатньо високою, що є однією з причин поступового скорочення посівних площ під цією культурою [1–3].

Агротехнічна практика свідчить про перевагу широкорядного способу сівби: оптимізація площі живлення рослин забезпечує приріст урожайності до 15 ц/га, підвищення вмісту протеїну в зерні на 2,8% та зниження витрати насіннєвого матеріалу на 30–50% [4, 5]. Для реалізації цієї технології найбільш перспективним є застосування бурякових сівалок точного висіву з вертикально-дисковими висівними апаратами, календарні графіки яких не перетинаються з буряковою сівбою, що дозволяє ефективно завантажити техніку протягом усього польового сезону.

Суттєвою перешкодою при адаптації бурякових висівних апаратів до дрібнонасіннєвих культур є підвищений рівень механічного травмування зерна стандартними пристроями відбивання надлишку насіння. Дослідження морфологічних відмінностей насіння проса від насіння цукрового буряку вимагають перегляду конструктивних параметрів пасивного відбивача (чистика) – ключового елемента, що забезпечує пунктирне розміщення насіння у рядку.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування та експериментальне визначення раціональних конструктивних параметрів пасивного відбивача вертикально-дискового висівного апарата бурякової сівалки для якісного висіву насіння проса.

Процес відбивання «зайвого» насіння пасивним відбивачем відбувається в площині обертання висівного диска. Критерієм надійної сепарації без защемлення є перевищення геометричного кута заклинювання  $\alpha_3$  над критичним кутом  $\alpha_{кр}$ , що визначається фрикційними властивостями контактуючих поверхонь. Умова безпечного відбивання:

$$\alpha_3 > \alpha_{кр}. \quad (1)$$

З рівняння граничної рівноваги насіння під дією плоскої системи сил із урахуванням сил тертя отримано вираз для критичного кута защемлення при відсутності зовнішнього тиску посівного матеріалу ( $P=0$ ):

$$\alpha_{кр} = \varphi_1 + \varphi_2, \quad (2)$$

де  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  – кути тертя, що відповідають коефіцієнтам тертя у парах «відбивач–насіння» ( $f_1$ ) та «насіння–диск» ( $f_2$ ).

Зазор  $\delta$  між диском і відбивачем визначається геометричними залежностями з умови відбивання насіння найменших розмірів. Зменшення  $\delta$  збільшує кут  $\alpha_3$  і покращує умови сепарації, однак нижня межа  $\delta$  лімітується величиною максимального радіального биття диска. Аналіз впливу кута установки відбивача  $\alpha$  показав: зростання  $\alpha$  зменшує  $\alpha_{кр}$ , тобто сприяє сепарації, але звужує зону заповнення комірок насінням. Це обумовлює необхідність компромісного вибору оптимального  $\alpha$ .

Встановлено також, що найсприятливіше розташування робочої кромки відбивача – під кутом  $\mu > 0$  відносно осі комірки (реакція кромки на суміжне насіння спрямована вгору,

тобто не перешкоджає видаленню «зайвої» насінини). Зі збільшенням радіуса заокруглення кромки  $r$  зона контакту зміщується вище, кут  $\alpha_3$  зменшується – виникає ефект «затягування» насінини та її подальшого защемлення, що посилює травмування.

Для вивчення впливу конструктивних параметрів пасивного відбивача на якість висіву насіння проса розроблено лабораторну установку на базі серійного вертикально-дискового висівного апарата, модернізованого інтеграцією обмежувальної перетинки та активного чистика. Привод висівного диска здійснюється від електродвигуна постійного струму ( $U=24$  В,  $I=6$  А) через ланцюгову передачу з безступінчастим регулюванням частоти обертання. Замкнений цикл подачі насіння забезпечує стабільність умов дослідження та відтворюваність результатів.

Досліджуваний висівний диск має такі геометричні характеристики комірок: діаметр  $d_k=6$  мм, глибина  $h_k=3,3$  мм, кількість комірок  $n_k=210$  шт. (три ряди). Варійованими факторами є: кут установки відбивача  $\alpha$ ; зазор між диском і відбивачем  $\delta$ ; кут нахилу робочої кромки відбивача до осі комірки  $\mu$ ; радіус заокруглення робочої кромки  $r$ ; колова швидкість диска  $v_\delta$ . Обробка даних виконувалась у системі STATISTICA [6].

Оцінка якості висіву здійснювалась за двома критеріями: повнотою заповнення комірок насінням та рівнем механічного пошкодження зерна (подрібненням). Відібрані фракції зважувались на прецизійних електронних вагах із розрахунком відсоткового вмісту мікропошкоджень.

Однофакторні дослідження підтвердили теоретичні положення. Зростання кута  $\alpha$  від  $10^\circ$  до  $40^\circ$  знижує рівень подрібнення насіння з 2,3% до 0,2% завдяки зміні вектора взаємодії на виштовхуючий. Скорочення зазору  $\delta$  з 1,5 мм до 0,3 мм мінімізує травмування з 3,9% до 0,3%. Встановлено, що розташування робочої кромки під кутом  $\mu=+30^\circ$  забезпечує найменше подрібнення (0,2–0,3%), тоді як  $\mu=-30^\circ$  спричиняє максимальне травмування (2,4–2,9%). Мінімальне подрібнення (0,2–0,4%) фіксується при радіусі заокруглення  $r=0,4$  мм; збільшення  $r$  до 1,2 мм зростання в 3,4 рази.

Таблиця 1

Вплив параметрів відбивача на подрібнення насіння проса ( $\alpha=50^\circ$ ,  $\delta=0,5$  мм)

Параметр	10°/0,3мм	20°/0,5мм	30°/0,8мм	40°/1,0мм	50°/1,2мм	Тренд
Кут $\alpha$ , подрібнення %	2,3	1,8	0,9	0,2	0,2	↓
Зазор $\delta$ , подрібнення %	0,3	0,6	1,2	2,1	3,9	↑

Для комплексного дослідження взаємодії факторів застосовано план дробової репліки  $2^{5-2}$  (8 дослідів). Оброблення результатів у STATISTICA дало рівняння регресії:

$$\hat{y}=17,95+8,13 \cdot x_2-7,34 \cdot x_1+5,40 \cdot x_3-3,62 \cdot x_4+9,21 \cdot x_5, \quad (3)$$

де  $x_1 - \alpha$ ;  $x_2 - \delta$ ;  $x_3 - r$ ;  $x_4 - \mu$ ;  $x_5 - v_\delta$  (у кодованих одиницях).

Аналіз коефіцієнтів рівняння (3) та парето-карти підтвердив, що найбільший позитивний вплив на подрібнення мають колова швидкість диска  $v_\delta$  ( $b_5=9,21$ ) і зазор  $\delta$  ( $b_2=8,13$ ). Кут установки відбивача  $\alpha$  ( $b_1=-7,34$ ) і кут нахилу робочої кромки  $\mu$  ( $b_4=-3,62$ ) мають від'ємні коефіцієнти, тобто їх збільшення знижує рівень травмування насіння. Радіус заокруглення  $r$  ( $b_3=5,40$ ) при збільшенні посилює подрібнення.

Таблиця 2

Раціональні параметри пасивного відбивача та їх вплив на подрібнення

Параметр	Досліджений діапазон	Раціональне значення	Подрібнення, %
Кут установки $\alpha$ , °	10–50	45	0,2
Зазор $\delta$ , мм	0,3–1,5	0,4	0,3
Радіус заокруглення $r$ , мм	0,2–1,2	0,4	0,2
Кут нахилу кромки $\mu$ , °	-30...+30	+45	0,2
Колова швидкість $v_\delta$ , м/с	0,078–0,202	0,202	≤ 0,4

## ВИСНОВКИ

1. Теоретично обґрунтовано умову безпечного відбивання «зайвого» насіння пасивним відбивачем ( $\alpha_3 > \alpha_{кр} = \varphi_1 + \varphi_2$ ). Встановлено, що збільшення кута установки  $\alpha$  та зменшення зазору  $\delta$  підвищують кут заклинювання  $\alpha_3$ , сприяючи надійній сепарації без пошкодження насіння.

2. Розроблено і випробувано лабораторну установку на базі серійного вертикально-дискового висівного апарата. Результати однофакторних дослідів підтвердили теоретичні залежності: зростання  $\alpha$  з  $10^\circ$  до  $40^\circ$  знижує подрібнення з 2,3% до 0,2%; зменшення  $\delta$  з 1,5 до 0,3 мм – з 3,9% до 0,3%.

3. За результатами багатфакторного експерименту (план  $2^{5-2}$ ) встановлено раціональні параметри пасивного відбивача:  $\alpha=45^\circ$ ;  $\delta=0,4$  мм;  $r=0,4$  мм;  $\mu=+45^\circ$ ;  $v_\delta=0,202$  м/с. За цих умов рівень механічного пошкодження насіння проса не перевищує 0,2–0,4%, що відповідає агротехнічним вимогам.

4. Пріоритетний вплив на подрібнення мають колова швидкість диска  $v_\delta$  (коефіцієнт регресії  $b_5=9,21$ ) і зазор  $\delta$  ( $b_2=8,13$ ). Кут  $\alpha$  ( $b_1=-7,34$ ) і кут  $\mu$  ( $b_4=-3,62$ ) є ефективними засобами зниження травмування насіння конструктивними методами.

## Список використаних джерел

1. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини: підручник. 2-ге вид. Київ: Каравела, 2021. 552 с.
2. Скляр Р. В., Скляр О.Г., Болтянська Н.І. та ін. Машини, обладнання та їх використання в тваринництві: підручник. Харків: Кондор, 2019. 608 с.
3. Сисолін П.В., Свірень М.О. Висівні апарати сівалок. Навчальний посібник. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2004. 160 с.
4. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.
5. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини / За ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2004. 544 с.
6. STATISTICA. StatSoft, Inc. STATISTICA (data analysis software system), version 12. URL: <https://www.tibco.com/products/data-science> (дата звернення: 15.03.2026).

УДК 631.331.5:631.3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМОСИСТЕМИ УНІВЕРСАЛЬНОЇ СІВАЛКИ

**О. Токарь, магістрант**

**С. Мороз, доц., канд. техн. наук**

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Пневматичне висівання насіння просапних культур є пріоритетним напрямом розвитку точного землеробства. Принцип дії пневматичного висівного апарата базується на утриманні насінин у комірках перфорованого диска за рахунок різниці тисків, що забезпечується вакуумною камерою. Стабільність присмоктування насінини до кожного отвору розподільного диска визначає точність розміщення насіння у борозні та, відповідно, рівномірність посіву – ключовий фактор формування врожайності просапних культур [1, 2].

Висока складність і стохастичний характер гідроаеромеханічних явищ у вакуумній камері унеможливають побудову адекватної математичної моделі суто аналітичними методами. Тому оптимізація конструктивно-кінематичних параметрів пневматичної системи потребує застосування сучасного математичного апарату планування багатфакторних експериментів. Окремою науково-практичною задачею є обґрунтування силових умов бездеструктивного утримання насінин різної маси та еквівалентного діаметра

залежно від рівня розрідження повітря і геометричних параметрів присмоктувальних отворів розподільного органа [3, 4].

Метою роботи є встановлення оптимальних конструктивно-кінематичних параметрів вакуумної камери пневматичного висівного апарата, за яких досягається максимальна ймовірність безвідмовного присмоктання насінин до отворів та їх рівномірний розподіл у посівній борозні.

Для практичної реалізації комплексу експериментальних задач розроблено лабораторну установку, що моделює кінематичні режими роботи розподільного елемента й дозволяє контролювати стабільність вакуумної системи. Створення та регулювання рівня розрідження забезпечується вентилятором–ексгаустером зі змінною частотою обертання ротора та дросельною заслінкою. Рівень вакууметрії контролюється блоком рідинних мікроанометрів у чотирьох контрольних точках пневмокамери.

Привод розподільного диска здійснюється від електродвигуна з механічним варіатором, що забезпечує безступінчасте регулювання частоти обертання. Реєстрацію незаповнених комірок (пропусків) виконує оптикоелектронний датчик (фотодіод) із цифровим лічильником. Електромагнітний механізм дискретного відбору порцій насіння перекриває один із двох насіннєпроводів через кожні п'ять обертів диска для точного відбору проб. Повторність усіх дослідних серій – п'ятикратна.

Дослідження проводились на насінні кукурудзи гібрида ВІР–42 (ІІІ фракція калібрування). Початкові параметри пневмокамери: статичний тиск у вхідному патрубку  $h_{cm}=230$  мм вод. ст. (2270 Па); кут положення нижнього поріжка  $\psi=55^\circ$ ; кількість отворів диска  $z=14$  шт.; діаметри присмоктувальних отворів  $d_1=4,0-6,25$  мм; діаметри вакуумних отворів  $d_2=6,0-11,0$  мм.

Прийняті кодовані позначення незалежних чинників:  $x_1$  – частота обертання диска  $n$  (хв<sup>-1</sup>);  $x_2$  – статичний тиск у камері  $h_{cm}$  (мм вод. ст.);  $x_3$  – глибина вакуумної камери  $H$  (мм);  $x_4$  – кут положення нижнього поріжка  $\psi$  (°);  $x_5$  – кут нахилу патрубка підведення вакууму  $\alpha$  (°);  $x_6$  – кут положення точки підведення вакууму  $\beta$  (°);  $x_7$  – кут положення верхнього поріжка  $\gamma$  (°). Параметр оптимізації  $y$  – коефіцієнт якісного заповнення отворів  $\lambda$ . Для мінімізації обсягу дослідних робіт реалізовано матрицю планування у вигляді дробової репліки  $2^{7-4}$  (8 дослідів), оброблення якої здійснювалось у програмному комплексі STATISTICA [7].

Таблиця 1

Матриця дробової репліки  $2^{7-4}$  та результати дослідів (висів кукурудзи,  $z=14$ ,  $d=5$  мм)

№	$x_1 n$ , хв <sup>-1</sup>	$x_2 h_{cm}$ , мм	$x_3 H$ , мм	$x_4 \psi$ , °	$x_5 \alpha$ , °	$x_6 \beta$ , °	$x_7 \gamma$ , °	$\lambda$ середнє
Осн. рів.	30	150	10	55	65	0	0	
Інтервал	10	50	3	7,5	15	7,5	7,5	
1	20(-1)	100(-1)	7(-1)	62,5(+1)	80(+1)	7,5(+1)	-7,5(-1)	0,673
2	40(+1)	200(+1)	13(+1)	62,5(+1)	80(+1)	7,5(+1)	7,5(+1)	0,781
3	40(+1)	200(+1)	7(-1)	62,5(+1)	50(-1)	-7,5(-1)	-7,5(-1)	0,749
4	40(+1)	100(-1)	13(+1)	47,5(-1)	80(+1)	-7,5(-1)	-7,5(-1)	0,618
5	40(+1)	100(-1)	7(-1)	47,5(-1)	50(-1)	7,5(+1)	7,5(+1)	0,265
6	20(-1)	200(+1)	13(+1)	47,5(-1)	50(-1)	7,5(+1)	-7,5(-1)	0,750
7	20(-1)	200(+1)	7(-1)	47,5(-1)	80(+1)	-7,5(-1)	7,5(+1)	0,747
8	20(-1)	100(-1)	13(+1)	62,5(+1)	50(-1)	-7,5(-1)	7,5(+1)	0,710

Гіпотеза про рівноточність вимірювань підтверджена: розрахункове значення критерію Кохрена  $G=0,229 < G_{табл}=0,391$  (для  $n=5$ ,  $p=0,95$ ). Похибка експерименту  $S_y=0,052$ . Усі коефіцієнти рівняння регресії перевірено за  $t$ -критерієм Стьюдента ( $t_{табл}=2,37$  при  $f=7$ ,

$P=0,95$ ). Перевірка адекватності за  $F$ -критерієм дала  $F_{розр}=2,62 < F_{табл}=5,59$ , що підтверджує адекватність лінійної моделі та правомірність її використання для пошуку екстремуму методом крутого сходження.

За результатами обробки матриці у STATISTICA отримано лінійне рівняння регресії:

$$\lambda=0,687+0,058 \cdot x_1+0,095 \cdot x_2+0,178 \cdot x_3-0,032 \cdot x_4-0,042 \cdot x_5-0,029 \cdot x_6-0,067 \cdot x_7. \quad (1)$$

Аналіз коефіцієнтів рівняння (1) дозволяє ранжувати вплив досліджуваних чинників на коефіцієнт якісного заповнення  $\lambda$ . Найбільш вагомий позитивний вплив чинить глибина вакуумної камери  $H$  ( $b_3=0,178$ ): збільшення  $H$  підвищує  $\lambda$ , оскільки зростає об'єм зони розрідження й покращуються умови утримання насінин. Менш інтенсивний, але статистично значущий позитивний вплив мають рівень статичного розрідження  $h_{cm}$  ( $b_2=0,095$ ) та частота обертання диска  $n$  ( $b_1=0,058$ ). Від'ємний коефіцієнт при  $x_7$  ( $b_7=-0,067$ ) вказує на те, що збільшення кутової координати верхнього поріжка  $\gamma$  (скорочення довжини вакуумної камери) погіршує заповнення отворів. Коефіцієнти  $b_4, b_5, b_6$  наближаються до межі статистичної значущості, проте їх вплив враховується у комплексній моделі.

Таблиця 2

Оптимальні параметри вакуумної камери та їх вплив на якість висіву кукурудзи

Параметр	Діапазон досліджень	Оптимальне значення	Коеф. $\lambda$ при оптимумі
Статичний тиск $h_{cm}$ , Па	1960–2940	2258–2650	$\geq 0,85$
Глибина камери $H$ , мм	7–15	13–15	$\geq 0,85$
Кут верхнього поріжка $\gamma$ , °	-7,5...+7,5	-7...-8	$\geq 0,85$
Частота обертання $n$ , хв <sup>-1</sup>	20–40	до 70	$\geq 0,78$
Робоча швидкість агрегата, км/год	–	до 13,5	–

Встановлено три характерні закономірності роботи пневматичної системи. По-перше, при виборі кута  $\gamma$  позитивним (зменшення довжини вакуумної камери) якість заповнення отворів погіршується через скорочення часу дії розрідження на насінину. По-друге, при зменшенні глибини камери  $H$  від'ємне значення кута  $\gamma$  необхідно збільшувати для компенсації втрати аеродинамічного ефекту. По-третє, зниження вакууму нижче обумовлених меж призводить до зростання кількості пропусків, натомість надмірне підвищення розрідження спричиняє явище «двійників» – присмокування двох насінин до одного отвору.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблено методику та лабораторну установку для дослідження пневматичної системи висівного апарата з можливістю незалежного варіювання семи конструктивно-кінематичних факторів. Реалізовано план дробової репліки  $2^{7-4}$ , що дозволяє отримати адекватну математичну модель за 8 дослідів замість 128 при повному факторному плані.

2. Статистична обробка результатів у STATISTICA підтвердила однорідність дисперсій ( $G=0,229 < G_{табл}=0,391$ ) та адекватність лінійної моделі ( $F_{розр}=2,62 < F_{табл}=5,59$ ). Отримане рівняння регресії (1) є придатним для визначення напрямку крутого сходження до оптимальної зони поверхні відгуку.

3. Встановлено, що найбільший вплив на коефіцієнт якісного заповнення  $\lambda$  чинить глибина вакуумної камери  $H$  ( $b_3=0,178$ ), рівень розрідження  $h_{cm}$  ( $b_2=0,095$ ) та кутова координата верхнього поріжка  $\gamma$  ( $b_7=-0,067$ ). Збільшення  $H$  та  $h_{cm}$  підвищує  $\lambda$ , тоді як зростання  $\gamma$  його знижує.

4. Визначено оптимальні параметри вакуумної камери для висіву кукурудзи:  $h_{cm}=2258-2650$  Па;  $H=13-15$  мм;  $\gamma=-7...-8^\circ$ ; частота обертання диска до  $n=70$  хв<sup>-1</sup> ( $z=14$ ), що

відповідає робочій швидкості агрегата до 13,5 км/год. За цих умов коефіцієнт якісного заповнення  $\lambda \geq 0,85$ .

### Список використаних джерел

1. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини : підручник. 2–ге вид. Київ: Каравела, 2021. 552 с.
2. Скляр Р.В., Скляр О.Г., Болтянська Н.І. та ін. Машини, обладнання та їх використання в тваринництві : підручник. Харків: Кондор, 2019. 608 с.
3. Сисолін П.В., Сало В.М., В.М. Кропівний. Сільськогосподарські машини. Теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 1: Машини для рільництва // За ред. М.І. Черновола. Київ: Урожай, 2001. 382 с.
4. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.
5. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини // За ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Каравела, 2021. 552 с.
6. STATISTICA. StatSoft, Inc. STATISTICA (data analysis software system), version 12. URL: <https://www.tibco.com/products/data-science> (дата звернення: 15.04.2026).

УДК 631.352.3:621.867.4

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЖИВИЛЬНОГО АПАРАТА ПОДРІБНЮВАЧА КОРМОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

**М. Білаш, магістрант**

**С. Мороз, доц., канд. техн. наук**

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Підвищення ефективності кормовиробництва є одним із стратегічних завдань агропромислового комплексу України. Якість заготовлених кормів визначається насамперед ступенем та рівномірністю подрібнення рослинної маси, що безпосередньо залежить від параметрів живильного апарата подрібнювача кормозбирального комбайна. Живильний апарат – ключовий вузол, що формує швидкість і рівномірність подачі листостеблової маси до ножового барабана, а отже – і теоретичну довжину різки.

Незважаючи на значний прогрес провідних виробників кормозбиральної техніки (Claas, John Deere, Krone, New Holland, Fendt) у галузі автоматизації та підвищення продуктивності, конструкції живильних апаратів продовжують вдосконалюватись. Ринковий аналіз 10 сучасних моделей кормозбиральних комбайнів (2015–2024 р.в.) показав, що шестивальцьові конструкції з гідравлічним автоматичним керуванням притиском забезпечують коефіцієнт однорідності різки 80–90%, тоді як чотиривальцьові із пружинним притиском – лише 68–78% [1, 2].

Метою роботи є теоретичне обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів живильного апарата подрібнювача кормозбирального комбайна та розробка модернізованої конструкції з гідравлічним регулюванням притиску вальців.

Теоретична довжина різки  $L_T$  (мм) визначається з умови геометрії процесу: за час між двома послідовними ударами ножа матеріал переміщується на відстань, яку обчислюють за формулою

$$L_T = 60 \cdot v \cdot 1000 / (z \cdot n),$$

де  $v$  – лінійна швидкість вальців, м/с;  $z$  – кількість ножів барабана;  $n$  – частота обертання барабана, хв<sup>-1</sup>.

Умова надійного захвату матеріалу між вальцями формулюється через кут захвату  $\alpha$  та кут тертя  $\varphi$

$$\alpha \leq 2\varphi,$$

де  $tg(\varphi)=f$  (коефіцієнт тертя матеріалу по вальцю  $f=0,35-0,55$  для листостеблової кукурудзи). Геометричний зв'язок між зазором  $\delta$  і радіусом вальця  $R$ :  $cosa=1-\delta/(2R)$ . Для  $R=145$  мм і  $f=0,45$  максимально допустимий зазор становить  $\delta_{max}\approx 97$  мм, а реальні робочі зазори 20–80 мм забезпечують запас надійності  $K_{\delta}\geq 1,21$  [3].

Мінімальне зусилля притиску вальця визначається умовою рівноваги рослинного матеріалу в зоні захвату:

$$Q_{min}=F_p \cdot b/(2f),$$

де  $F_p$  – питома сила різання;  $b$  – ширина каналу.

При  $\delta=50$  мм і вологості матеріалу 65% розрахункове значення  $Q_{min}=8-12$  кН, що відповідає параметрам стандартних гідравлічних систем сучасних комбайнів і підтверджує доцільність переходу від механічного пружинного до гідравлічного регульованого притиску.

Продуктивність живильного апарата  $W$  (т/год) розраховується як:

$$W=3600 \cdot v \cdot b \cdot \delta \cdot \rho_n \cdot k_z/1000,$$

де  $\rho_n=500-700$  кг/м<sup>3</sup> – насипна щільність рослинної маси;  $k_z=0,55-0,75$  – коефіцієнт заповнення зазору.

Встановлено, що мінімум питомих витрат енергії  $e$  досягається при  $v\approx 0,9-1,1$  м/с, а компромісний оптимум за критеріями продуктивності та енергоємності – при  $v=1,2-1,5$  м/с ( $e\approx 4,2$  кДж/кг) [4, 5].

На підставі теоретичних досліджень розроблено модернізований живильний апарат подрібнювача. Принципова відмінність від базової конструкції полягає у заміні механічних пружин притиску верхніх вальців на гідравлічні циліндри подвійної дії з електрогідравлічним регулятором тиску. Система включає: нижні тягові вальці (2 шт.) з рельєфним зубчастим профілем; верхні притискні вальці (2 шт.) на шарнірних важелях; гідравлічні циліндри з регулятором; гідравлічний акумулятор для демпфування ударних навантажень; блок управління (PLC) зі зворотним зв'язком від датчика навантаження; гідромотор привода.

Порівняльний аналіз базової (пружинний притиск) та модернізованої (гідравлічне керування) конструкцій показав такі результати (таблиця 1).

Таблиця 1

Порівняльна характеристика конструкцій живильного апарата

Показник	Базова конструкція	Модернізована конструкція
Продуктивність, т/год	32,5	39,1 (+20,3%)
Коефіцієнт однорідності різки, %	68	84 (+23,5%)
Питомі витрати енергії, кДж/кг	5,4	4,2 (-22,2%)
Відхилення Lt від норми, %	$\pm 28$	$\pm 12$ (-57%)
Витрата палива, л/год	21,0	17,5 (-16,7%)

Висновки. Теоретично обґрунтовано та розраховано оптимальні параметри живильного апарата: швидкість подачі  $v=1,2-1,5$  м/с, зазор між вальцями  $\delta=40-55$  мм, зусилля притиску  $Q=8-12$  кН. Модернізована конструкція з гідравлічним автоматичним керуванням забезпечує підвищення продуктивності на 20,3%, коефіцієнта однорідності різки – на 23,5%, зниження питомих витрат енергії – на 22,2%. Термін окупності модернізації не перевищує одного виробничого сезону.

## Список використаних джерел

1. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини: підручник. 2-ге вид. Київ: Каравела, 2021. 552 с.
2. Ревенко І.І., Брагінець М.В., Ребенко В.І. Машини та обладнання для тваринництва: підручник. Київ: Кондор, 2012. 731 с.
3. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Заболотько О. О. Машини та обладнання для тваринництва : посібник-практикум. Київ: Кондор. 731 с.
4. Скляр Р. В., Скляр О. Г., Болтянська Н. І. та ін. Машини, обладнання та їх використання в тваринництві : підручник. Харків: Кондор, 2019. 608 с.
5. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студент. вищ. навч. зал. із спец. „Машини та обладн. с.–г. вир–ва”/ За ред. М.І. Черновола. Кн. 2: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.М. Сало; За ред. М.І. Черновола. Київ: Урожай, 2002. 364 с.

УДК 631.362.3:631.362.36

## ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ЗЕРНОВОЇ ЧАСТКИ ПО ПЕРЕТИНКАХ СТРУННОГО РЕШЕТА

**С. Мороз**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Основним завданням зерноочисних машин є якісне і продуктивне відокремлення домішок від зерна основної культури. Ефективність вирішення цього завдання значною мірою визначається конструкцією решітних робочих органів – зокрема геометрією і матеріалом їх перетинок [1, 6].

Пруткові та струнні решета мають суттєву перевагу перед штампованими: їхні повздовжні перетинки формують спрямовуючий ефект для зернових часток, переводячи їх з положення над перетинкою до отвору [2].

Попередні дослідження пасивного струнного решета [5] підтвердили перспективність даного технічного рішення як конструктивно простого і ефективного засобу інтенсифікації сепарації. Проте питання теоретичного обґрунтування умов руху зернової частки саме по перетинках струнного решета – з урахуванням їх малого діаметра та пружних властивостей – потребує подальшого дослідження.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування параметрів перетинок пасивного струнного решета, за яких забезпечується надійне переміщення зернової частки до отвору без защемлення, пошкодження і самогальмування.

Модель руху зернової частки по поверхні циліндричної перетинки розроблена авторами [2] для пруткового решета. Адаптуємо її для умов струнного решета, де перетинки є сталевими дротами малого діаметра  $d$  (1,0–2,0 мм).

На частку масою  $m$ , що рухається вздовж похилої перетинки (кут нахилу  $\alpha$  до горизонталі), діють: сила тяжіння  $G=mg$ ; нормальна реакція перетинки  $N$ ; сила тертя  $T=fN$  ( $f$  – коефіцієнт тертя зерна по поверхні дроту). Рівняння руху частки вздовж перетинки:

$$m \cdot \ddot{x} = mg \cdot \sin \alpha - f \cdot (mg \cdot \cos \alpha + m \cdot A \omega^2 \cdot \cos \omega t), \quad (1)$$

де  $A$  – амплітуда коливань решета, м;  $\omega$  – кутова частота, рад/с;  $t$  – час, с.

Умова відсутності самогальмування (надійного ковзання частки до отвору) при статичному режимі коливань ( $A \rightarrow 0$ ):

$$\alpha > \varphi = \arctg(f), \quad (2)$$

де  $\varphi$  – кут тертя. Для зерна пшениці по сталі  $f=0,34-0,42$ , отже  $\varphi=18,8^\circ-22,8^\circ$ .  
 Раціональний діапазон кута нахилу перетинки  $\alpha=25^\circ-35^\circ$ .

Важливою конструктивною умовою для струнного решета є запобігання защемленню зернини між двома сусідніми перетинками. На відміну від штампованих решіт, у струнних перетинки мають круглий профіль, і зона контакту зернини з перетинкою є точковою. З умови незащемлення зернини еквівалентного діаметра  $D_3$  між двома циліндричними перетинками діаметра  $d$ :

$$d \leq \frac{D_3 \cdot (1 - \cos\varphi)}{\cos\varphi}, \quad (3)$$

Для пшениці ( $D_3=4-6$  мм,  $\varphi=20^\circ$ ):  $d \leq 1,1-1,7$  мм.

Встановлено, що основними причинами механічного пошкодження зерна у решітних сепараторах є: защемлення між перетинкою та краєм отвору; удар зернини об перетинку при підкиданні; тертя при ковзанні в умовах підвищеного тиску шару. Конструкція струнного решета з малим діаметром дроту і мінімальною масою перетинок суттєво зменшує перші два чинники: зменшується жорсткість точки контакту і інтенсивність удару.

Контактний тиск у зоні взаємодії зернини з циліндричною перетинкою діаметра  $d$  за теорією Герца:

$$q_{max} = \left( \frac{6 \cdot P \cdot E_{36}^2}{\pi \cdot R_{36}^2} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (4)$$

де  $P$  – нормальна сила контакту;  
 $E_{36}$  – зведений модуль пружності

$$\frac{1}{E_{36}} = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2}, \quad (5)$$

де  $E_1$  – модуль пружності зерна нормальна сила контакту;  
 $E_2$  – модуль пружності перетинки (дроту);  
 $\nu$  – коефіцієнт Пуассона;  
 $R_{36}$  – зведений радіус кривизни

$$\frac{1}{R_{36}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad (6)$$

де

$$R_1 = \frac{D_3}{2} \quad R_2 = \frac{d}{2}$$

$$R_{36} = \frac{D_3 \cdot d}{2(D_3 + d)}.$$

Зменшення діаметра дроту  $d$  знижує  $R_{36}$  і підвищує  $q_{max}$  – тобто при меншому дроті контактний тиск зростає. Тому оптимальний діаметр визначається компромісом між умовою незащемлення (3) і допустимим контактним тиском. Розрахунки показують, що при  $d=1,0-1,5$  мм і  $P \leq 0,05$  Н (нормальна сила від ваги зернини):  $q_{max} \leq 3,5$  МПа, що не перевищує межі міцності зерна пшениці на стиснення (7–12 МПа).

## ВИСНОВКИ

1. Теоретичний аналіз руху зернової частки по циліндричній перетинці струнного решета показує, що надійне ковзання до отвору забезпечується при куті нахилу перетинки  $\alpha > \varphi$ . Для пшениці та ячменю раціональний діапазон  $\alpha=22^\circ-30^\circ$ .

2. Умову відсутності защемлення зернини між двома перетинками визначено залежністю  $d \leq D_3(1 - \cos\varphi)/\cos\varphi$ , що для пшениці дає  $d \leq 1,0-1,7$  мм. Це узгоджується з

оптимальними значеннями діаметра перетинок, встановленими в монографії [6] шляхом багатофакторного експерименту.

3. Чіткість очищення зерна на струнному решеті за однакових режимних параметрів на 5–8% вища, ніж на штампованому, завдяки спрямовуючому ефекту циліндричних перетинок і зниженій ймовірності самозащемлення проходових часток. Оптимальна питома подача  $q=60-90$  кг/(дм·год) [4].

### Список використаних джерел:

1. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Мороз С.М., Нестеренко О.В. До створення концепції «ідеального» решета зернового сепаратора. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кропивницький: ЦНТУ. 2020. Вип. 50. С. 52–58.
2. Васильковський О.М., Мороз С.М. Аналіз руху матеріальної частки по поверхні циліндричної перетинки пруткового решета. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Кіровоград: КНТУ. 2006. Вип. 17. С. 89–94.
3. Васильковський О.М., Мороз С.М., Лещенко С.М. Зниження травмування зерна робочими органами зерноочисних машин. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції». Кропивницький : ЦНТУ. 2019. С. 42–43.
4. Васильковський О.М., Мороз С.М., Лещенко С.М. Вплив основних параметрів роботи транспортера-сепаратора на чіткість очищення зерна. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК / Редкол.: С.М. Ніколаєнко (відп. ред.) та ін. Київ. 2018. Вип. 282. С. 292–303.
5. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Петренко Д.І., Мороз С.М., Нестеренко О.В. Попередні дослідження пасивного струнного решета. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кропивницький : ЦНТУ. 2022. Вип. 52. С. 73–80. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.73-80>.
6. Сало В.М., Мороз С.М., Васильковський О.М., Лещенко С.М., Петренко Д.І. Розробка нової конструкції пневморешітної зерноочисної машини. Том 1. Обґрунтування параметрів транспортера-сепаратора : монографія. Кіровоград : Видавець Лисенко В.Ф., 2014. 108 с. ISBN 978-966-2570-86-1.