



УкрНДІПВТ  
ім. Л. Погорілого

ISBN 978-617-657-097-4

# "Науково-технічні засади розроблення, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій"

**МАТЕРІАЛИ**  
**XXV Міжнародної наукової конференції,**

*присвяченої пам'яті  
академіка **Леоніда Погорілого***

ipsum

Дослідницьке, 2025

ДЕРЖАВНА НАУКОВА УСТАНОВА  
«УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА  
ВИПРОБУВАННЯ ТЕХНІКИ  
І ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА  
ІМЕНІ ЛЕОНІДА ПОГОРІЛОГО»  
(УКРНДІПВТ ІМ. Л. ПОГОРІЛОГО)

**Науково-технічні засади розроблення,  
випробування та прогнозування  
сільськогосподарської техніки і технологій**

**Матеріали  
XXV Міжнародної наукової конференції,  
*присвяченої пам'яті  
академіка Леоніда Погорілого***

**26 вересня 2025 року**

**Дослідницьке – 2025**

**УДК 005.745:631:3:(043.2)**

**Організатор конференції:** Державна наукова установа «Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого» (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого).

Наукові доповіді XXV Міжнародної наукової конференції «Науково-технічні засади розроблення, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій», присвяченої пам'яті академіка Леоніда Погорілого, 26 вересня 2025 року, УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого; Україна, Дослідницьке, 2025. – 231 с.

Наукові доповіді подано в авторській редакції.

У збірнику наукових доповідей наведено результати обговорення проблем прогнозування, конструювання, випробування сільськогосподарської техніки та обладнання, питання розвитку новітніх технологій в АПК, їх дослідження та управління.

**ISBN 978-617-657-097-4**

## **Науково-технічні засади розроблення, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технології**

**Матеріали  
XXV Міжнародної наукової конференції**

**26 вересня 2025 року**

**УДК 005.745:631:3:(043.2)**

**ISBN 978-617-657-097-4**

© УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2025.

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

**Головний редактор – Халін С.,** канд. екон. наук, доцент  
(УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

**Заступник головного редактора – Гайдай Т.,** канд. техн. наук  
(УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

**Відповідальний секретар – Майданович Н.,** канд. геогр. наук  
(УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

### **Члени редакційної колегії**

**Баранов Г.,** д-р. техн. наук, проф. (Національний транспортний університет)

**Вахній С.,** д-р. с.-г. наук, проф. (Білоцерківський НАУ)

**Ветохін В.,** д-р техн. наук, проф. (Полтавський ДАУ)

**Войтюк Д.,** канд. техн. наук, проф., чл.-кор. НААНУ (НУБіП України)

**Гадзало Я.,** д-р. с.-г. наук, акад. НААНУ (НААН України)

**Голуб Г.,** д-р. техн. наук, проф. (НУБіП України)

**Занько М.,** канд. техн. наук, с.н.с. (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

**Камінський В.,** д-р. с.-г. наук, акад. НААНУ (ІНЦ «Інститут землеробства НААНУ»)

**Карпук Л.,** д-р. с.-г. наук, проф. (Білоцерківський НАУ)

**Кангалов П.,** д-р. техн. наук, проф. (Русенський університет ім. Ангела Кинчева, Болгарія)

**Коробко А.,** д-р техн. наук, доц. (Харківська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

**Кюрчев В.,** д-р. техн. наук, проф., чл.-кор. НААНУ (Таврійський ДАТУ)

**Лебедєв С.,** канд. техн. наук, (Харківська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

**Лиховид П.,** доктор. с.-г. наук (Інститут зрошуваного землеробства НААНУ)

**Малярчук В.,** канд. с.-г. наук (Південно-Українська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

**Малярчук М.,** д-р. с.-г. наук (Інститут зрошуваного землеробства НААНУ)

**Махалек А.,** канд. техн. наук (Інститут сільськогосподарського машинобудування Праги, Чехія)

**Михайлов Н.,** д-р. техн. наук, проф. (Русенський університет ім. Ангела Кинчева, Болгарія)

**Новохацький М.,** канд. с.-г. наук, доц. (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

**Роговський І.,** д-р. техн. наук, проф. ((НУБіП України)

**Фіала М.,** д-р. с.-г. наук, проф. (Університет Мілана, Італія)

**Шевченко І.,** д-р. техн. наук, д-р хабілітат (Польща), проф., чл.-кор. НААНУ (Інститут олійних культур НААНУ)

**Щепаняк Я.,** д-р техн. наук, проф. (Дослідницька мережа Лукасевич ПІМР, Польща)

**Яцкул А.,** канд. техн. наук, (Політехнічний Інститут UniLaSaalle, Франція)

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Шейченко В., Вольський В., Коцюбанський Р., Шаповал О.</i><br>ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ПОДРІБНЕННЯ СТЕБЕЛ КУКУРУДЗИ<br>ДВОСЕКЦІЙНИМ КОТКОМ-ПОДРІБНЮВАЧЕМ .....                 | 9  |
| <i>Войналович О., Мотрич М., Єременко О.</i><br>ОЦІНЕННЯ ДОПУСТИМОГО РИЗИКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МОБІЛЬНОЇ<br>СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ПІСЛЯ ТРИВАЛОГО<br>ВИКОРИСТАННЯ ..... | 12 |
| <i>Єременко О., Войналович О., Фомін С.</i><br>УДОСКОНАЛЕННЯ ШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА-<br>УЩІЛЬНЮВАЧА БРИКЕТНОГО ПРЕСА .....                                                  | 17 |
| <i>Шелест М., Барабаи Г.</i><br>ВПРОВАДЖЕННЯ GPS-НАВІГАЦІЇ ТА ТЕЛЕМЕТРІЇ У СУЧАСНИХ<br>ТРАКТОРАХ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ .....                                           | 23 |
| <i>Макаренко М., Шевченко І., Щербінський І.</i><br>ПРИСКОРЕНІ ВИПРОБУВАННЯ С.-Г. ТЕХНІКИ НА БАЗІ<br>ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА З ПІДТРИМКОЮ ІІІ ТА AR .....                      | 26 |
| <i>Демків І.</i><br>ТОЧНІСТЬ СТРІЧКОВОГО ДОЗАТОРА НАСИПНИХ МАТЕРІАЛІВ ...                                                                                                 | 31 |
| <i>Великий Н.-Т.</i><br>СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЯТОРА ТИСКУ<br>«СІДЛО-КЛАПАН».....                                                                             | 37 |
| <i>Серпутько Р.</i><br>ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ЗВАЖУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ<br>У ГРАВІТАЦІЙНИХ ДОЗАТОРАХ НА ОСНОВІ СТАТИЧНОГО ТА<br>ДИНАМІЧНОГО КАЛІБРУВАННЯ.....            | 41 |
| <i>Берегуляк С., Дмитрів В.</i><br>СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРУЖНО-ДЕМПФЕРНОЇ СИСТЕМИ ...                                                                                     | 48 |
| <i>Шворов С., Халін С., Єременко О., Саркісова М.</i><br>РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ОБСЯГІВ ЗБИРАННЯ БІОМАСИ<br>ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТВЕРДОПАЛИВНОГО ВИРОБНИЦТВА ...        | 53 |
| <i>Скляр О., Скляр Р., Болтянський Б.</i><br>СОЦІАЛЬНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА ТА<br>ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ В УКРАЇНІ .....                                   | 60 |
| <i>Скляр О., Кюрчев В., Скляр Р.</i><br>ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ<br>ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛЬНОГО В СІЛЬСЬКОМУ<br>ГОСПОДАРСТВІ УКРАЇНИ .....           | 65 |

|                                                                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Лещенко С.</i><br>ВПЛИВ ФОРМИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТА ЇХ КОМБІНАЦІЙ НА<br>ЯКІСТЬ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧАМИ ЗА<br>УМОВ ПЕРЕУЦІЛЬНЕННЯ .....                                       | 69  |
| <i>Жук Д., Москальченко Р., Дейкун В.</i><br>КОМБІНОВАНЕ ЗНАРЯДДЯ ДЛЯ ВНУТРІШНЬОҐРУНТОВОГО<br>ВНЕСЕННЯ ДОБРІВ ЧИ СІВБИ .....                                                               | 75  |
| <i>Халін С., Гайдай Т., Занько М., Лень О.</i><br>ОЦІНКА ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ НА РИНКУ ТА В<br>ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ ЗЕРНА В УКРАЇНІ .....                                             | 81  |
| <i>Коробко А.</i><br>COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) NO 1322/2014:<br>ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ТА ГАРМОНІЗАЦІЯ БЕЗПЕКИ<br>СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ І ЛІСОВИХ ТРАНСПОРТНИХ<br>ЗАСОБІВ .....        | 89  |
| <i>Коробко А.</i><br>COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2018/985:<br>ЕКОЛОГІЧНІ ВИМОГИ ТА СИЛОВІ УСТАНОВКИ ДЛЯ<br>СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ І ЛІСОВИХ ТРАНСПОРТНИХ<br>ЗАСОБІВ .....          | 93  |
| <i>Лебедев А., Лебедев С., Коробко А., Войновский В.</i><br>ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТРАКТОРА У ЗМІННИХ<br>ПАРАМЕТРАХ СТАНУ .....                                                        | 98  |
| <i>Коробко А.</i><br>COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2015/68: ГАЛЬМІВНІ<br>ВИМОГИ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ І ЛІСОВИХ<br>ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ .....                                   | 103 |
| <i>Korobko A., Semenov I.</i><br>ANPASSUNG VON ALLRADANGETRIEBENEN<br>RADFAHRZEUGEN AN NATÜRLICHE UND KLIMATISCHE<br>BEDINGUNGEN .....                                                     | 107 |
| <i>Халін С., Сербій В.</i><br>ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА<br>ТУРБУЛЕНТНОЇ В'ЯЗКОСТІ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ<br>ПНЕВМОРОЗПОДІЛЬНИКА ПОСІВНОГО КОМПЛЕКСУ .....                     | 111 |
| <i>Келемеш А., Ляшенко С., Бурлака О.</i><br>АДАПТАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕГУЛЮВАНЬ МОЛОТИЛЬНО-<br>СЕПАРУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО<br>КОМБАЙНА ДО СКЛАДНИХ УМОВ ЗБИРАННЯ ВРОЖАЮ ..... | 122 |

|                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Дудніков І., Шейченко В., Кузьмич А.</i><br>РОЗРОБЛЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ<br>ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЬ РІЗАННЯ СТЕБЕЛ .....                                        | 126 |
| <i>Шейченко В., Петраченко Д., Шейченко Д.</i><br>ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОБРУШУВАННЯ НАСІННЯ<br>ПРОМИСЛОВИХ КОНОПЕЛЬ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ<br>КОНСТРУКЦІЇ РОБОЧОГО КОЛЕСА ..... | 129 |
| <i>Лещенко С.</i><br>ВПЛИВ ФОРМИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТА ЇХ КОМБІНАЦІЙ НА<br>ЯКІСТЬ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧАМИ ЗА<br>УМОВ ПЕРЕУЩІЛЬНЕННЯ .....                        | 134 |
| <i>Дриваль С., Пономаренко Н.</i><br>ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ<br>ҐРУНТООБРОБНИХ ОРГАНІВ .....                                                                 | 140 |
| <i>Погорілий В., Сидоренко В.</i><br>ПЕРСОНАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НЕДИСКРЕДИТАЦІЙНИХ<br>ТЕСТУВАНЬ ЗА РЕЛЕВАНТНИМ КОНТЕНТОМ .....                                              | 143 |
| <i>Козярук Л., Погорілий В., Муха В.</i><br>ФОРМУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ОПИСУ ДЛЯ<br>СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРИЧЕПІВ У ПРОЦЕДУРІ<br>ЗАТВЕРДЖЕННЯ ТИПУ .....                        | 146 |
| <i>Пономаренко Р.</i><br>СИМУЛЯЦІЯ Y-ПОДІБНОГО ЗМІШУВАЧА КОРМІВ .....                                                                                                       | 150 |
| <i>Мельник С., Кошулько В., Кудрявцев І., Бардадим О., Мельник М.</i><br>АСПЕКТИ КОНСТРУЮВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ<br>ОЛІЙНОЇ ДОМІШКИ У ЛУШПИННІ СОНЯШНИКУ .....      | 154 |
| <i>Бурсова М.</i><br>ІНЖЕНЕРНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ<br>КОНСТРУКЦІЇ ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА ДЛЯ РОБОТИ НА<br>ПОХИЛИХ ҐРУНТАХ .....                                      | 161 |
| <i>Вольський В., Польовий Б.</i><br>РОЗРОБКА ДОСЛІДНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ<br>АГРОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ҐРУНТООБРОБНИХ<br>ЗНАРЯДЬ .....                              | 165 |
| <i>Дімітров І., Пономаренко Д.</i><br>АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ВИНИКНЕННЯ<br>КОЛИВАНЬ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДИСКАТОРА З ОБЕРТАННЯМ<br>НАВКОЛО ОСІ КРІПЛЕННЯ.....          | 168 |
| <i>Денисенко М., Лісовський Л., Дев'ятко О.</i><br>НАНОТЕХНОЛОГІЇ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ<br>МАШИНОБУДУВАННІ ТА ТЕХНІЧНОМУ СЕРВІСІ.....                                    | 171 |

|                                                                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Денисенко М., Лісовський Л., Дев'ятко О.</i><br>СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ<br>НАНОСИСТЕМ У ЯКОСТІ ВІДНОВНИХ ТА ЗАХИСНИХ<br>ПОКРИТТІВ.....                                                         | 178 |
| <i>Максимов Д., Лиховид П., Грановська Л.</i><br>МОДЕЛІ ПРОДУКТИВНОСТІ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ, РІПАКУ<br>ОЗИМОГО ТА ГОРОХУ ЗАЛЕЖНО ВІД НАКОПИЧЕНОЇ СУМИ<br>ЕФЕКТИВНИХ ТЕМПЕРАТУР У ВЕСНЯНО-ЛІТНІЙ ПЕРІОД<br>ВЕГЕТАЦІЇ..... | 186 |
| <i>Ребенко В., Хмельовський В.</i><br>АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМИ ЗВАЖУВАННЯ ТВАРИН.....                                                                                                                               | 190 |
| <i>Остренко М., Панченко Т.</i><br>УРОЖАЙНІСТЬ ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ СОРТІВ КАРТОПЛІ<br>ВІТЧИЗНЯНОЇ СЕЛЕКЦІЇ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ.....                                                                         | 195 |
| <i>Новохацький М., Клочай О., Панченко Л.</i><br>ЗМІНА БІОЛОГІЧНОЇ ВРОЖАЙНОСТІ ГОРОХУ ЗА РІЗНИХ<br>ТЕХНОЛОГІЙ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ .....                                                                     | 200 |
| <i>Денисенко В.</i><br>АГРОТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ВНЕСЕННЯ ДОБРІВ НА СХИЛАХ.....                                                                                                                                       | 207 |
| <i>Доманський В.</i><br>ПРОГРАМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ<br>КУЛЬТУР.....                                                                                                                            | 210 |
| <i>Думич В., Крупич О.</i><br>ОЦІНКА ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ВИРОБНИЦТВА<br>ПАЛИВНОЇ ТРІСКИ З ПОРУБКОВИХ ЗАЛИШКІВ.....                                                                                        | 214 |
| <i>Єременко О., Гайдай Т., Поліщук В., Майструк І.</i><br>ЗАХОДИ БЕЗПЕЧНОЇ ПРАЦІ НА ОБЛАДНАННІ ДЛЯ<br>БРИКЕТУВАННЯ БІОМАСИ.....                                                                                    | 222 |

## ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ПОДРІБНЕННЯ СТЕБЕЛ КУКУРУДЗИ ДВОСЕКЦІЙНИМ КОТКОМ-ПОДРІБНЮВАЧЕМ

**Шейченко В.**, д.т.н, професор, професор кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту, e-mail: [vsheychenko@ukr.net](mailto:vsheychenko@ukr.net)

Полтавський державний аграрний університет

**Вольський В.**, к.т.н., старший дослідник, e-mail: [vladimir\\_volskiy@ukr.net](mailto:vladimir_volskiy@ukr.net)

**Коцюбанський Р.**, доктор філософії, e-mail: [kocyubanskiy1983@ukr.net](mailto:kocyubanskiy1983@ukr.net)

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України

**Шаповал О.**, аспірант, e-mail: [oleksandr.shapoval@pdau.edu.ua](mailto:oleksandr.shapoval@pdau.edu.ua)

Полтавський державний аграрний університет

**Вступ.** Котки-подрібнювачі застосовують для обробітку стерні ріпаку, соняшнику, кукурудзи, промислових конопель, а також зароблення сидератів. Застосування котків-подрібнювачів уможливорює за мінімального рівня обслуговування, високої довговічності навіть у посуху, забезпечити високу ефективність розподілення органічної маси на поверхні поля, дрібнозернисту структуру ґрунту, вичісування сходів падалиці та бур'янів [1–3].

**Метою дослідження** є підвищення ефективності технологічних операцій подрібнення стебел грубостеблових культур шляхом визначення показників якості подрібнення стебел кукурудзи двосекційним котком-подрібнювачем.

**Матеріали і методи.** *Об'єкт досліджень* – закономірності технологічних процесів подрібнення рослинних решток, стебла кукурудзи, робочі органи двосекційного котка.

*Предметом досліджень* є взаємодія робочих органів двосекційного котка із рослинним матеріалом (стеблами кукурудзи).

*Наукова гіпотеза* полягає в тому, що існують такі техніко-технологічні рішення, реалізація яких уможливить здійснити технологічний процес подрібнення із найбільшою ефективністю.

Експериментальний зразок двосекційного котка досліджено в умовах дослідних ділянок Державного підприємства Дослідне господарство «Оленівське» Інституту механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України.

Згідно з програмою досліджень проведено одноразовий прохід по агрофону, що представляв собою рівні ділянки поля після збирання кукурудзи. В процесі досліджень визначали показники подрібнення та заробляння рослинних решток у ґрунт. Агрегування двосекційного котка-подрібнювача здійснювали трактором МТЗ–80.

Сортування відібраних подрібнених стебел на фракції, визначення їх довжин, ваги та вологості, здійснювали у лабораторних умовах. Довжину фракцій подрібнених стебел визначали лінійкою. Кількість частинок стебел, що внесли у вибрані інтервали розмірів, уможливило встановити частоту виникнення події частинок у кожному інтервалі. Експериментальні дані групували за інтервалами однакового розміру (50 мм) у діапазонах 0–50 мм, 51–100 мм, 101–150 мм, 151–200 мм, понад 201 мм. За таких умов складено таблиці усіх довжин фракцій рослинних решток.

Дослідження проведено на швидкостях руху 7,2 км/год по три повторності кожного експерименту.

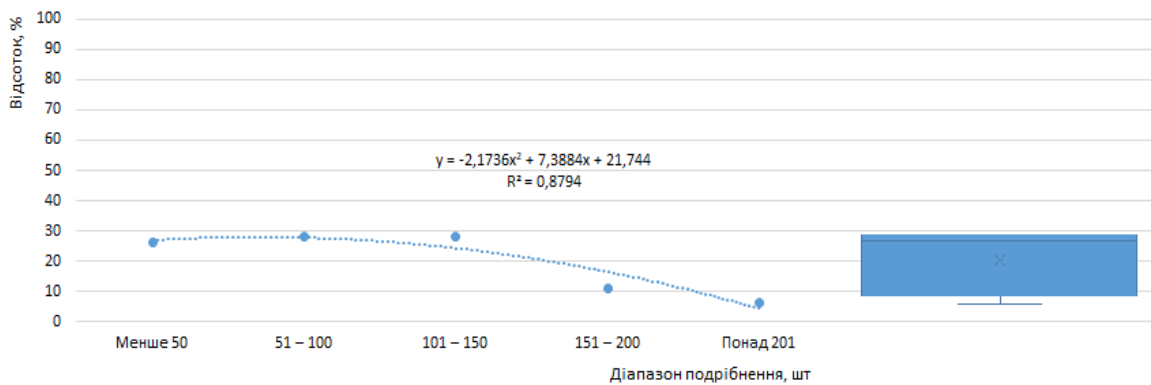
Вагу пакету з відібраними рослинними рештками, а також вагу окремих фракцій подрібнених решток, визначали терезами в лабораторних умовах.

Вологість сировини визначали ваговим методом згідно ДСТУ ISO 6496:2005.

Оброблення результатів здійснювали в середовищі Microsoft Excel.

**Результати і обговорення.** Аналізуючи таблицю асимптотичних відносних частот наведених діапазонів подрібнення кукурудзи відзначено, що найбільші їх значення припадають, у рівній мірі, діапазонам 51–100 мм та 101–150 мм, сума яких складає 56% та 52%, відповідно (рис. 1). Накопичена сума відносних частот діапазонів менше 50–200 мм складає 93,48%.

Отримані результати набувають особливого значення в контексті пошуку раціональних техніко-технологічних рішень, що стосуються боротьби із кукурудзяним метеликом.



**Рисунок 1** - Регресійні залежності змінення відсотку подрібнених двосекційним котком-подрібнювачем стебел кукурудзи

**Висновки.** Відзначено, що найбільші значення відносних частот наведених діапазонів подрібнення кукурудзи двосекційним котком припадали діапазонам 51–100 мм та 101–150 мм, сума яких складала 56% та 52%, відповідно. Накопичена сума відносних частот діапазонів менше 50–200 мм складала 93,48%.

### Література

1. Sheichenko, V., Volskyi, V., Kotsiubanskyi, R., Dnes, V., Bilovod, O., Shevchuk, M., & Skoriak, Y. (2023). Determining the effect of the direction of installing the cutting edges of shredder roller blades on process parameters. *Eastern-European Journal*, 5 (1(125)), 45–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.287483>
2. Сало В.М., Богатирьов Д.В., Лещенко С.М. Щодо надійності технологічного процесу подрібнення пожнивних решток // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 53. 2023. С. 93-101. <https://dspace.kntu.kr.ua/items/e98f87e8-5913-4917-b024-b69cb6ff4b17>
3. Sheichenko, V., Volskyi, V., Dnes, V., & Kotsiubanskyi, R. (2022). Study of grinding corn stalks by a roller grinder with different knives positioning. *Mechanization in agriculture and Conserving of the resources*, Bulgaria, vol. 66, 2, 52–55. <https://www.agrimachinery.net/sbornik/2022.pdf>

## **ОЦІНЕННЯ ДОПУСТИМОГО РИЗИКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ПІСЛЯ ТРИВАЛОГО ВИКОРИСТАННЯ**

**Войналович О.**, канд. техн. наук, доцент, e-mail: [voynalovich@nubip.edu.ua](mailto:voynalovich@nubip.edu.ua),

**Мотрич М.**, канд. техн. наук, доцент, e-mail: [motrych@nubip.edu.ua](mailto:motrych@nubip.edu.ua),

**Єременко О.**, канд. техн. наук, доцент, e-mail: [eremolex@nubip.edu.ua](mailto:eremolex@nubip.edu.ua)

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Вступ.** Чинні нормативно-правові акти з охорони праці зобов'язують роботодавців відстежувати та оцінювати технічний стан машин та механізмів, зокрема таких, які класифікують як підвищеної небезпеки, з метою їх безпечної експлуатації. Необхідно дотримуватися призначеного виробником техніки терміну експлуатації (ресурсу, у разі досягнення якого машини і механізми виводять з експлуатації, експертно обстежують їх для ухвалення рішення щодо встановлення додаткового терміну експлуатації з проведенням або без проведення ремонту.

Важливо не лише встановити ступінь працездатності машини (механізму), але й визначити прийнятний ризик її експлуатації для оператора чи інших працівників. Для мобільної сільськогосподарської техніки, експлуатація якої належить до робіт підвищеної небезпеки, поняття допустимого (прийнятного) ризику застосовують не регулярно, що не дозволяє оцінити небезпеку перебування на полях, фермах і дорогах машин без технічних засобів безпеки, з вичерпанням встановленого ресурсу.

Діагностування технічного стану машин (механізмів) та прогнозування безаварійності їх експлуатації пов'язані між собою. Встановлюючи граничні терміни експлуатації машин потрібно брати до уваги не лише на показники міцності та економіки, а й враховувати базові положення концепції ризику, що дозволить обґрунтувати ресурс безпечної експлуатації [1]. Поряд з термінами «ресурс» та «надійність» техніки розробники і експлуатаційники мають оцінювати «безпеку», «ризик» та «захищеність» працівників, зокрема операторів. Це повинно

стосуватися не лише важливих виробничих об'єктів, а й машин тривалої експлуатації.

Для розрахунку показників ризику і безпеки варто застосовувати результати досліджень дефектності матеріалів та елементів конструкцій [2], адже зі збільшенням тривалості експлуатації машини ризику аварійних ситуацій через накопичення експлуатаційних дефектів неперервно зростають.

Аналіз науково-технічної літератури показує, що якщо для інженерних об'єктів підвищеного ризику (атомні станції, турбоагрегати, літальні апарати, трубопроводи тощо) реальна ймовірність аварій перевищує запроєктовану, то мобільна сільськогосподарська техніка часто перебуває в експлуатації, навіть якщо реальне напрацювання мото-годин перевищує ресурс машин у кілька разів [3].

Для діагностування технічного стану машин під час регламентних робіт нині використовують традиційні та нові методи і засоби – оптичні, фізичні, механічні тощо. Практично відсутні універсальні методи, що дозволяють аналізувати кілька параметрів дефектів, а найбільш поширені методи – зовнішній огляд та магнітопорошкова дефектоскопія – призначені для виявлення лише великих дефектів, коли ризик пошкодження деталі вже високий.

**Мета роботи.** Обґрунтувати допустимий ризик експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки, у масиві деталей та елементів конструкцій якої накопичилися дефекти (пошкодження).

**Матеріали і методи.** У даній роботі було проаналізовано кінетику накопичення експлуатаційних дефектів у масиві деталей окремих вузлів (систем) тракторів.

Для виявлення тріщин було використано розроблений вихорострумовий дефектоскоп, чутливість якого дозволяла знаходити тріщини довжиною кілька міліметрів та більші без очищення і підготовки поверхні контрольованих деталей [4]. Це дало змогу дослідити наявність дефектів у понад 1200 деталей 50 тракторів різних років випуску. Дефектоскопічний контроль проводили під час капітальних ремонтів тракторів із розбиранням окремих вузлів.

На використаному в даній роботі дефектоскопі було улаштовано ступеневий перемикач чутливості, щоб під час контролю змінювати мінімальний розмір

знайдених тріщин у діапазонах відповідно від 3, 5 і 7 мм довжиною (умовно названих малого, середнього і великого розміру залежно від перерізу деталі у місці контролю). Внаслідок такого методичного підходу було побудовано як кінетичні залежності накопичення експлуатаційних дефектів у деталях вузлів із зростанням тривалості експлуатації тракторів, так і кінетичні залежності інтенсивності зародження малих тріщин у масиві контрольованих деталей.

**Результати та обговорення.** За даними дефектоскопічного контролю було побудовано кінетичні залежності накопичення експлуатаційних дефектів у деталях вузлів тракторів, які до 17 років перебували в експлуатації з часу виготовлення [4]. Отримані кінетичні залежності виявилися монотонно збільшуваними, для їх описання запропоновано скористатися експоненційними функціями з огляду щодо максимальної достовірності апроксимування  $R^2$  лініями тренду. Потрібно зазначити, що експоненціальна залежність характерна для закономірностей монотонного накопичення розсіяного втомного пошкодження у лабораторних зразках конструкційних матеріалів, представленого параметром Херста ( $H$ ). Це дозволяє використати підходи щодо критеріїв граничного стану лабораторних зразків внаслідок силового навантажування для встановлення граничних термінів експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки.

Разом з тим кінетика інтенсивності зародження експлуатаційних тріщин (умовно названих у роботі малими) у масиві деталей тракторів не є монотонною і характеризується максимумом у діапазоні близько 11-13 років експлуатації. Даний термін експлуатації може бути використаний як критерій для припинення експлуатації трактора, проведення дефектоскопії деталей та заміни дефектних деталей. За такої тривалості експлуатації трактора існує найбільша ймовірність раптового зруйнування вузлів трактора та створення аварійних ситуацій.

Статистичні дані дефектоскопічного контролю можуть бути застосовані у моделях створення небезпечних ситуацій у вигляді структурних схем (дерев), що передбачають виявлення поєднань зв'язків між базовими та проміжними подіями (помилковими діями працівників, набутими в експлуатації дефектами і відмовами техніки, несприятливими зовнішніми впливами виробничого довкілля), що формують головну подію з певним ризиком травмування працівників чи аварій [5].

Як приклад використання логіко-імітаційних моделей у даній роботі було розраховано ймовірності настання травмонебезпечної ситуації внаслідок раптового опускання на працівника навісного знаряддя трактора, в деталях якого можуть виникнути і поширитися експлуатаційні тріщини.

Для аналізу логіко-імітаційної моделі настання травмонебезпечної ситуації та визначення ризику травмування працівників, які перебувають у зоні раптового опускання навісного знаряддя трактора, використано комп'ютерну програму *SAPHIRE*. До ймовірностей базових подій вказаної травмонебезпечної ситуації, що відповідають усередненим статистичним показникам виробничого травматизму в сільському господарстві України, було уведено відносну кількість тріщин у загальному масиві досліджених деталей трактора для двох термінів експлуатації тракторів. Зміни показників виробничого ризику для певного елемента логіко-імітаційної моделі небезпечної ситуації показують, що ризик травмування працівників внаслідок раптового опускання навісного знаряддя трактора збільшується у кілька разів після досягнення критичної щільності експлуатаційних тріщин у деталях навісної системи трактора.

На відміну від методу експертних оцінок та інших якісних методів оцінення професійного ризику розроблений кількісний метод базується на об'єктивних коефіцієнтах, що корелюють зі статистичними показниками виробничого травматизму в галузі та даними щодо накопичення експлуатаційного пошкодження у загальній сукупності деталей трактора.

**Висновки.** Кінетика інтенсивності зародження експлуатаційних тріщин у масиві деталей тракторів характеризується максимумом у діапазоні 0,6-0,7 відносної тривалості експлуатації, що становить 11-13 років. Цей максимум відповідає найбільшій ймовірності розсіяного пошкодження у масиві деталей трактора, а отже максимальному ризику раптового зруйнування вузлів трактора, що може призвести до аварійних ситуацій (нещасних випадків) на механізованих (транспортних) роботах. Його можна вважати критерієм щодо припинення експлуатації трактора, для наступної дефектоскопії деталей і заміщення деталей з виявленими підкритичними дефектами.

## Література

1. Georgiy Pisarenko, Oleksandr Voinalovych, Ivan Rogovskii, Myhailo Motrich. Probability of boundary exhaustion of resources as factor of operational safety for agricultural aggregates. 18th International Scientific Conference “Engineering for rural development”, Jelgava, Latvia, 22-24.05.2019. P. 199-205.
2. G. Pysarenko, O. Voynalovich, A. Maylo, S. Pysarenko. Deformation defects of the structural material as a factor of life aging. Procedia Structural Integrity. 1st Virtual International Conference “In service Damage of Materials: Diagnostics and Prediction”. Vol. 36. 2022. P. 30-35.
3. Oleksandr Voinalovych, Leonid Aniskevych, Muhaylo Motruch, Liudmyla Titova. Rationale of acceptable risk of using tractors with operational damage of the responsible parts. 19th International Scientific Conference “Engineering for rural development”, Jelgava, Latvia, 20-22.05.2020. P. 784-792.
4. Писаренко Г.Г., Войналович О.В., Майло А.М. Сучасні методи дослідження розсіяного пошкодження в конструкційних матеріалах та прогнозування довговічності. Machinery & Energetics. Journal of Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No 2. P. 77-83.
5. Войналович О., Тимочко В., Василенко О. Система оцінення професійних ризиків на механізованих роботах у сільському господарстві. Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XXIII Міжнародного науково-практичного форуму, 4–6 жовтня 2022 р. [Електронний ресурс]. Львів: ЛНУП, 2022. С. 415-418.

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ШНЕКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА-УЩІЛЬНЮВАЧА БРИКЕТНОГО ПРЕСА**

**Єременко О.**, канд. техн. наук, доцент, e-mail: eremolex@nubip.edu.ua,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Войналович О.**, канд. техн. наук, доцент,  
**Фомін С.**, студент бакалаврату,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Вступ.** На теперішній час вторинна біомаса займає четверте місце у світі як паливно-енергетичний ресурс. Це складає близько 15% загальносвітового споживання первинних енергоносіїв, а в деяких країнах частка паливної біомаси в енергетичному ресурсі становить понад 30%. За прогнозом світової Енергетичної ради застосування біомаси до 2027 р. досягни 850 млн. т у.п. На сьогодні отримують біля 80% всієї енергії з надрових паливних джерел [1-3].

Пелети і брикети мають суттєві переваги у порівнянні з викопними видами палив. Теплотворна здатність твердого біопалива складає 4,5-5,0 кВт·год./кг, що в 1,2 рази більше, ніж у деревини і зіставна з бурим вугіллям [1, 2].

Висока ефективність брикетування пояснюється тим, що вологість виробів становить 8-14%, щільність більша у 7-10 разів від сировини, що підвищує тепловіддачу біопалива і зменшує витрати на транспортування і зберігання. Серед переваг брикетів також слід зазначити тривалу стабільність їх якості, використання залишків спалювання як добрив.

**Мета роботи** полягає у збільшенні продуктивності та покращенні якості роботи брикетного преса ударної дії шляхом підвищення ефективності живильно-ущільнюючого механізму, показників технологічної надійності процесу подачі сировинної біомаси у пресову камеру.

**Матеріали і методи.** Раціональним шляхом збільшення ефективності роботи брикетних пресів при виробництві паливних брикетів із біомаси вважається попереднє ущільнення стеблового подрібненого матеріалу, що на практиці

реалізується за допомогою використання активних живильників [4]. На твердопаливних виробництвах набули широкого поширення бітерні та шнекові живильники-ущільнювачі. Проведений огляд патентної інформації [3-5] свідчить, що більш ефективними є шнекові пристрої поточної дії.

В дослідженнях застосовані такі **методи**: - структурний аналіз і синтез процесу живлення і ущільнення стеблової біомаси в момент заповнення пресової камери ударно-механічного преса;

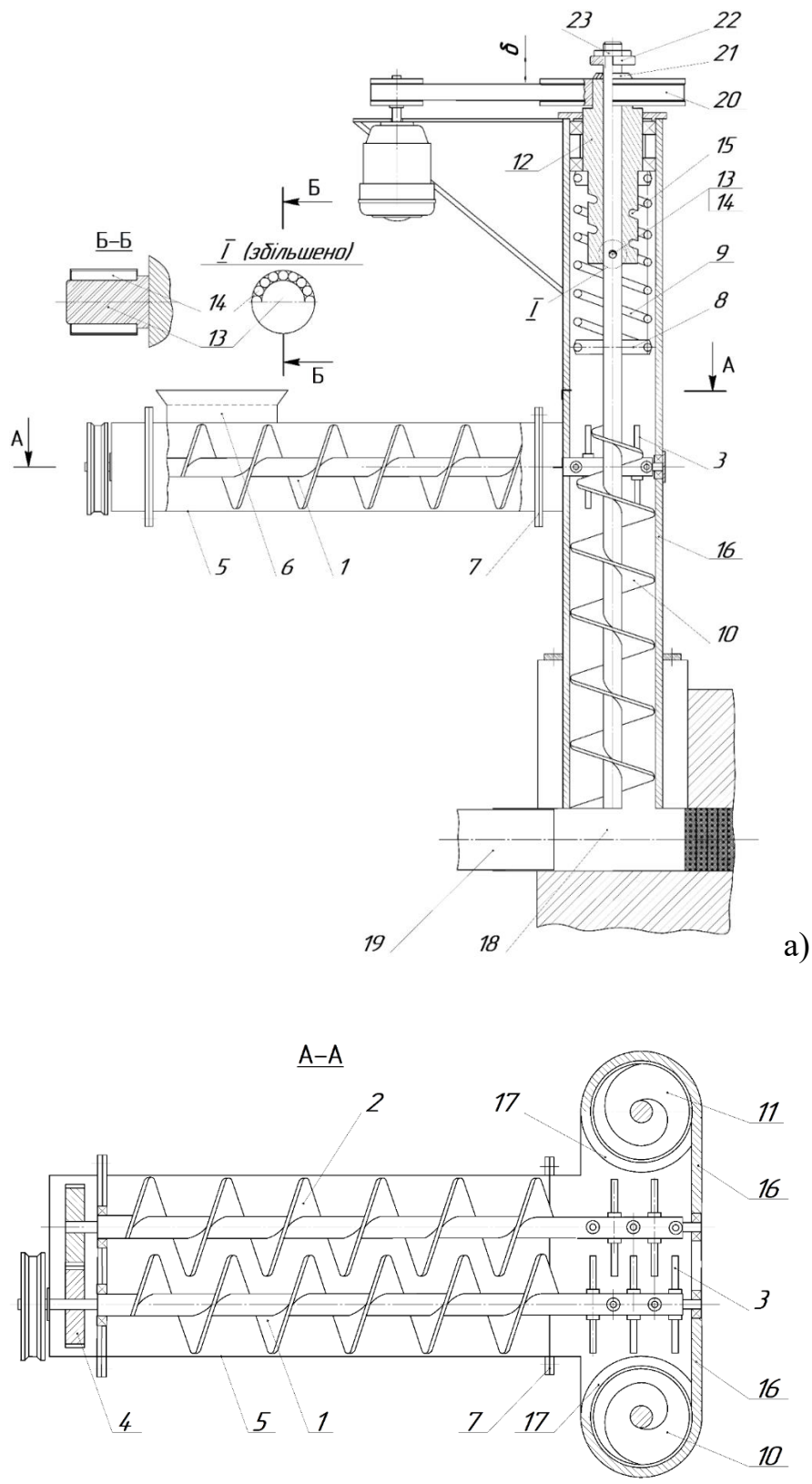
- дедукції проходження і змінення властивостей пружньо-вязкого рослинного матеріалу на поверхнях шнекових органів;

- абстрагування явища нерівномірності фракційного складу і вологості стеблових матеріалів.

**Результати і обговорення.** Проведений патентний пошук [4, 5] сприяв визначенню, як прототипа, перспективного живильника-ущільнювача ударного брикетного преса (а.с. SU № 952662, В30В 11/26), що містить корпус з вихідними отворами над пресовою камерою. Цей пристрій складається із подавального і ущільнюючого механізмів. Два синхронізованих шнеки горизонтального подавального механізму забезпечують змішування компонентів біомаси, рівномірний розподіл та примусову подачу у вертикальні шнеки ущільнюючого механізму. Вали ущільнюючих шнеків з можливістю осьового переміщення змонтовані у відповідних порожнистих приводних валах, які мають гвинтові пази, в яких переміщуються по гвинтовій траєкторії пальці, що запресовані у вали ущільнюючих шнеків. Вали ущільнюючих шнеків за допомогою спеціальних подушок з'єднані з пружинами, які за допомогою аналогічних подушок з'єднані з валами приводів [4, 6]. Такий пристрій має суттєві недоліки, зокрема складну конструкцію, обмежену технологічну надійність, низький коефіцієнт об'ємного заповнення міжвиткових просторів ущільнювальних шнеків. Це знижує техніко-технологічну ефективність живильного механізму в цілому.

На виконання поставленої мети розроблено технічне удосконалення шнекового живильника-ущільнювача (рис. 1) [6] ударного брикетного преса. Пристрій включає корпус з вихідними отворами над пресовими камерами, в якому розміщені горизонтальні 1, 2 та живильно-ущільнюючі вертикальні 10, 11 шнеки.

Вертикальні шнеки виконані циліндричними з першим конічним витком зверху і підвішені до валів привода 12 за допомогою пружин 9, причому крок шнекової навивки однаковий між усіма витками.



**Рисунок 1** - Конструкційна схема удосконаленого шнекового живильника-ущільнювача брикетного преса ударної дії: а) загальний вигляд; б) розріз А-А

Також шнековий живильник-ущільнювач удосконалюється тим, що у гвинтових пазах 15 валів привода 12 переміщуються голчасті підшипники 14, змонтовані на пальцях 13, які запресовані у вали ущільнюючих шнеків.

Крім того, запропонований живильник-ущільнювач удосконалюється тим, що величина амплітуди затухаючих коливань ущільнюючих шнеків 10, 11 обумовлюється величиною зазору між гайкою 22 і тарілчастою пружиною 21, розміщених на маточинах приводних шківів 20.

Удосконалений шнековий живильник-ущільнювач складається з подавального і ущільнюючого механізмів. Подавальний механізм включає два шнекових робочих органи 1 і 2, які обладнані на хвостовиках лопатями 3 і синхронізовані за допомогою циліндричних шестерень 4 (рис. 1, розріз А-А). Шнеки 1, 2 спираються на підшипники, змонтовані в корпусі 5, який має завантажувальну горловину 6. З'єднання корпусів подавального і ущільнюючого механізмів здійснюється за допомогою фланця 7.

Живильно-ущільнюючий механізм включає два шнека 10, 11, вали яких за допомогою подушок 8 і пружин 9 з'єднані з порожнистими валами приводів 12, в яких можуть переміщуватись вали шнеків 10, 11 в осьовому напрямку. У цих валах запресовані пальці 13, на яких встановлені голчасті підшипники 14, що перекочуються у гвинтових пазах 15 на поверхні валів привода 12. Корпусні труби 16 мають завантажувальні вікна 17 (рис. 1, розріз А-А) і вихідні отвори 18, розташовані над штемпельними поршнями 19.

Перший виток шнеків 10, 11 виконано у вигляді конусів з опорами на рівні нижніх обрізів вікон 17. Для збільшення щільності завантаження шнеків 10, 11 та здійснення автоматичного управління їх заповнення необхідно, щоб кут нахилу твірної конусної частини перевищував кут тертя біомаси по поверхні шнека. При ущільненні соломи з вологістю близько 18% кут тертя по сталі складає 24°. За результатами досліджень [4] встановлено, що кут нахилу твірної конусних витків має бути в межах від 68° до 24°.

На маточинах приводних шківів 20 змонтовані тарілчасті пружини 21, які сприймають ударне навантаження гайок 22, що стопоряться контргайками 23 для

утворення сталого зазору  $\delta$ , який обумовлює величину амплітуди затухаючих коливань шнеків 10, 11 [6].

Для виконання процесу живлення з ущільненням [6] біомаса подається шнеком 1 крізь завантажувальне вікно 17 на вертикальний шнек 10. За допомогою конуса відбувається нагвинчування матеріалу у простір шнеку 10. В міру накопичення біомаси з певною щільністю в зоні вихідних отворів 18, шнек 10 піднімається по пазах 15, а його конусна частина виходить із зони вікна 17, що сприяє збільшенню відбивної здатності шнека 10 і зниженню щільності його завантаження. В момент, коли штемпель 19 звільняє пресову камеру 18, шнек 10 різко опускається, реалізуючи енергію стиснутої пружини 9, і прискорює свою частоту обертання. При переміщенні штемپеля 19 в площину пресової камери 18 процес ущільнюючого шнека 10 повторюється. Аналогічно виконується процес ущільнюючим шнеком 11 [6].

Керування приводом живильних шнеків 1, 2 виконується автоматично. Для усунення заторів біомаси в живильно-ущільнюючих шнеках передбачено реверсування їх електроприводів.

**Висновки.** Брикетні преси ударно-механічної дії мають перевагу для пресування біомаси з пружно-в'язкими властивостями за умови попереднього ущільнення сировини перед подачею у пресову камеру машини. Найбільш ефективні двоступеневі живильники-ущільнювачі шнекового типу з пружиною компенсацією. Таке конструктивне виконання дозволяє попередньо ущільнювати та періодично завантажувати біомасу з різноманітним структурним та гранулометричним складом. Рівномірний розподіл потоку ущільненої біомаси перед пресуванням у брикети покращує динамічний режим преса і підвищує його зносостійкість в 1,2-1,4 рази. Досягнуте техніко-технологічне удосконалення живильника-ущільнювача підвищує продуктивність на 15-18%, технологічну надійність і якість процесу брикетування, що визначає ефективність модифікованого преса.

## Література

1. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Драгнєв С.В., Баштовий А.І. Потенціал та перспективи енергетичного використання агробіомаси в Україні. Теплофізика та теплоенергетика: том 42, № 1, 2020, pp. 42-51. <https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2020.5>.
2. Piskunova L.E., Yeremenko O.I., Zubok T.O., Serbeniuk H.A., Korzh Z.V. Scientific and methodological aspects of solid biofuel production processes in compliance with labor protection and environmental safety measures. Polityka energetyczna – energy policy Journal, 2022. Volume 25. Issue 1. 143-154. DOI: 10.33223/epj/144008. URL. <https://epj.min-pan.krakow.pl/>
3. Sanchez, P. D. C., Aspe, M. M. T., & Sindol, K. N. An overview on the production of bio-briquettes from agricultural wastes: methods, processes, and quality. Journal of Agricultural and Food Engineering, 2022, 1, 0036. <http://doi.org/10.37865/jafe.2022.0036> .
4. Єременко О.І., Лук'янець В.О. Дослідження та вдосконалення живильного пристрою перспективного брикетного преса. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: 2014. Вип. 4, Т. 2. С. 146-156. Режим доступу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-index.html>
5. Єременко О.І., Поліщук В.М., Шворов С.А., Скібчик В.І. Розрахунок обладнання для отримання біопаливних гранул і брикетів: монографія. К.: НУБіП України, 2021. 244 с.
6. Патент на корисну модель № 149464 Україна. МПК В30В11/26, В30В15/30. Шнековий живильник-ущільнювач ударного брикетного преса. О.І.Єременко, О.В. Войналович. Опубл. 24.11.2021. Бюл. № 47/2021.

## ВПРОВАДЖЕННЯ GPS-НАВІГАЦІЇ ТА ТЕЛЕМЕТРІЇ У СУЧАСНИХ ТРАКТОРАХ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ

**Шелест М.**, аспірант, асистент кафедри Агроінжинірингу,

e-mail: [koladj1992@gmail.com](mailto:koladj1992@gmail.com),

**Барабаш Г.**, к. т. н., доцент кафедри Агроінжинірингу, e-mail: [grinya45@ukr.net](mailto:grinya45@ukr.net),

Сумський національний аграрний університет

**Вступ.** Сучасне сільськогосподарське виробництво перебуває на етапі інтенсивної цифрової трансформації, що характеризується інтеграцією електронних систем керування, сенсорних технологій та обчислювальних комплексів у виробничі процеси. Одним із ключових напрямів такої трансформації є впровадження глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS, GPS) та телеметрії. Використання GNSS-технологій забезпечує високоточне позиціонування тракторів та сільськогосподарських агрегатів у полі, що є критично важливим для підвищення точності виконання агротехнічних операцій, зменшення перекриттів і пропусків, а також раціонального використання посівного матеріалу, добрив та пестицидів. У свою чергу, системи телеметрії створюють інформаційне підґрунтя для моніторингу й аналізу технічного стану машин у режимі реального часу, що сприяє підвищенню надійності техніки, плануванню профілактичного обслуговування та зниженню експлуатаційних витрат.

**Мета.** Це комплексний аналіз процесу впровадження систем GPS-навігації та телеметрії у сучасних тракторах як складових інтелектуалізації сільськогосподарського виробництва [1]. Дослідження спрямоване на оцінку їхнього впливу на оптимізацію технологічних процесів, зокрема точність виконання агротехнічних операцій, раціональність використання матеріально-технічних ресурсів і скорочення непродуктивних витрат. Окрему увагу приділено визначенню ролі зазначених систем у підвищенні продуктивності машинно-тракторного парку, зниженні експлуатаційних витрат, а також у забезпеченні

надійності та довговічності техніки шляхом реалізації можливостей дистанційного моніторингу та профілактичного технічного обслуговування [2].

**Матеріали і методи.** Матеріалами для дослідження слугували наукові публікації в галузі сільськогосподарського машинобудування, технічна документація провідних світових виробників тракторів (John Deere, Case IH, New Holland, Claas) [3,4], а також звіти з упровадження інформаційних технологій у практику точного землеробства. Для забезпечення об'єктивності та комплексності аналізу були використані як теоретичні, так і прикладні джерела, що відображають сучасний рівень розвитку систем GPS-навігації та телеметрії. Було здійснено критичний аналіз літератури, спрямований на узагальнення існуючих наукових підходів до проблеми цифровізації тракторної техніки [5]. Це дозволило визначити основні тенденції розвитку GNSS-технологій та систем дистанційного моніторингу. Провівши порівняльний аналіз технічних рішень різних виробників. Зокрема, оцінювалися особливості реалізації GPS-навігації з RTK-корекцією, що забезпечує точність позиціонування до 2-5 см, а також функціональні можливості телеметричних систем у частині збору та передавання експлуатаційних даних у реальному часі. У процесі дослідження також використовувалися статистичні матеріали, звіти випробувань і результати практичного застосування на фермерських господарствах. Особлива увага приділялася аналізу витрат пального, рівня перекриттів під час посіву, надійності технічного обслуговування та зниження експлуатаційних витрат.

**Результати та обговорення.** Отримані результати підтверджують високу ефективність впровадження GPS-навігації та телеметрії у сучасних тракторах. Аналіз практичного застосування цих технологій свідчить, що вони не лише забезпечують точність виконання агротехнічних операцій, але й формують новий підхід до управління машинно-тракторним парком.

Ефективність GPS-навігації виявляється у значному підвищенні точності руху сільськогосподарських агрегатів у полі. Використання супутникових сигналів у поєднанні з RTK-корекцією забезпечує відхилення траєкторії не більше ніж 2-5 см. Це дозволяє практично повністю усунути перекриття та пропуски під час сівби, обробітку ґрунту чи внесення добрив. Як наслідок, досягається економія пального

на рівні до 10 %, зменшуються витрати насіння й добрив до 15 %, а врожайність підвищується на 5-7 % за рахунок рівномірності технологічних операцій і оптимального використання площі поля. Отже, GPS-навігація справляє безпосередній вплив як на економічні, так і на агротехнічні показники виробництва.

Роль телеметрії полягає у створенні системи безперервного контролю за технічним станом трактора та його функціональними підсистемами. Дистанційний збір інформації про витрату пального, навантаження на трансмісію, температурні режими двигуна та інші експлуатаційні параметри дозволяє своєчасно виявляти відхилення від нормальних режимів роботи. Це, у свою чергу, дає змогу планувати профілактичне обслуговування та попереджати виникнення серйозних відмов. Практика використання телеметрії підтверджує скорочення непродуктивних простоїв на 10-15 % та зменшення витрат на ремонт техніки.

**Висновки.** Проведений аналіз підтвердив, що впровадження GPS-навігації у сучасних тракторах є одним із ключових чинників підвищення ефективності агротехнічних операцій. Використання супутникових навігаційних систем забезпечує високу точність руху сільськогосподарських агрегатів, що безпосередньо впливає на продуктивність праці та дозволяє суттєво знизити витрати матеріально-технічних ресурсів, зокрема пального, насіння та добрив.

Застосування телеметричних систем створює умови для комплексного моніторингу технічного стану тракторів у режимі реального часу. Це забезпечує своєчасне виявлення відхилень у роботі силового агрегату, трансмісії та інших вузлів, що сприяє переходу від реактивного ремонту до превентивного технічного обслуговування. У результаті досягається зниження експлуатаційних витрат і підвищення надійності машинно-тракторного парку.

Інтеграція GPS-навігації та телеметрії формує єдину інформаційну систему управління, яка є складовою частиною концепції «розумного землеробства» (Precision Farming). Такий підхід дозволяє не лише оптимізувати роботу окремих тракторів, але й підвищити ефективність функціонування всього машинно-тракторного парку за рахунок централізованого контролю, планування технологічних операцій та аналізу використання ресурсів.

## **Література**

1. Blackmore S., Fountas S., Gemtos T., Pedersen S. Precision Farming in Europe: An Introduction. Wageningen : Wageningen Academic Publishers, 2003.
2. Lowenberg-DeBoer J., Erickson B. Setting the record straight on precision agriculture adoption. Agronomy Journal. 2019. Vol. 111, No. 4. P. 1552-1569. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2018.12.0779>.
3. Claas Telematics. Machine and fleet management system. 2023. URL: <https://www.claas-group.com> (дата звернення: 14.09.2025).
4. John Deere Operations Center. Precision Ag Technology. 2023. URL: <https://www.deere.com> (дата звернення: 14.09.2025).
5. Grisso R., Perumpral J., Roberson G., Pitman R., Hoy R. Precision Farming Tools: GPS Navigation. Virginia Cooperative Extension Publication. 2009.

УДК 631.3:004.94:004.8

## **ПРИСКОРЕНІ ВИПРОБУВАННЯ С.-Г. ТЕХНІКИ НА БАЗІ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА З ПІДТРИМКОЮ ШІ ТА AR**

**Макаренко М.**, доцент, e-mail: mak\_nk@ukr.net,

**Шевченко І.**, к. т. н, доцент, e-mail: igorshvchnk@gmail.com

**Щербінський І.**, аспірант, e-mail: ihor.shcherbinskyi@claas.com

Державний біотехнологічний університет

**Вступ.** Зростання складності с.-г. машин, циклів навантаження й сезонності робіт вимагає скорочення часу доведення та підвищення достовірності оцінки надійності. Класичні полігонні тести є тривалими, дорогими та не завжди репрезентативними щодо варіативності ґрунтово-кліматичних умов. Поєднання цифрового двійника (ЦД), прискорених випробувань (ALT/HALT), штучного інтелекту (ШІ) та доповненої реальності (AR) відкриває можливість керованого прискорення прогнозування пошкоджень із гарантованою трасованістю даних і відтворюваністю сценаріїв [1-5].

**Мета роботи.** Розробити методологію та інструментарій прискорених випробувань с.-г. техніки, що поєднують ЦД реального часу, ШІ для синтезу навантажень та діагностики, а також AR як людино-машинний інтерфейс, і показати, як це зменшує тривалість доведення за збереження валідності висновків щодо ресурсу та безпеки.

**Об'єкт і предмет.** Об'єкт – трактори та причіпні/навісні агрегати. Предмет – процеси накопичення пошкоджень у вузлах ходової, трансмісії, ВВП, гідросистем і РЕМ (ECU, датчики, виконавчі елементи, проводка/джгути, НМІ/дисплеї, ISOBUS-інтерфейси тощо) за комплексних навантажень «дорога–грунт–знаряддя–оператор», із телеметрією CAN/ISOBUS для калібрування ЦД [2, 8].

**Методика досліджень** передбачає, як зібрати якісні дані, збудувати й підтвердити ЦД, створити «чесні» прискорені тести, безпечно їх відтворити, автоматично виявляти проблеми, довести еквівалентність із реальним полем і все це належно задокументувати.

При цьому основна увага фокусується на наступному:

- мета й область застосування – що саме доводимо (які вузли/машини) і за якими критеріями вважатимемо результат валідним;
- дані та вимірювання – які сенсори й телеметрію збираємо, як калібруємо та синхронізуємо, як контролюємо якість даних;
- цифровий двійник (ЦД) – побудову, ідентифікацію параметрів і валідацію моделі, щоб вона достовірно відтворювала поведінку реальної машини [4];
- формування прискорених профілів навантажень (ALT) – обробку польових сигналів, підбір моделей прискорення (втома/температура), синтез профілю, що еквівалентний «польовому» за пошкодженням з метою скоротити час доведення за умови еквівалентності пошкодження з реальними умовами експлуатації [5-7];
- відтворення на стендах (MIL/HIL) – як саме подаємо профілі на обладнання, як перевіряємо точність відтворення і вносимо корекції [9];
- контур ШІ – оптимізацію послідовностей режимів (щоб швидше виявляти слабкі місця), виявлення аномалій і прогноз ресурсу;

- AR-підтримку – чек-листи, попередження меж, візуалізацію «гарячих зон» і дистанційний аудит для зменшення людських помилок;
- безпеку та стоп-критерії – інтерлоки, пороги температур/тиску/прискорень і правила дострокового припинення тесту;
- перевірку еквівалентності «стенд ↔ поле» – порівняння пошкодження, спектрів і резонансів, коригування профілів за потреби;
- показники ефективності – технічні (AF,  $\Delta D$ , точність ЦД, тощо) і операційні (скорочення часу доведення, повторюваність, зниження помилок) [7];
- протоколювання та відтворюваність – єдині шаблони звітів, версії моделей/профілів, збереження сирих даних і скриптів.

Щоб довести надійність швидше, але достовірно, стендові тести мають відтворювати реальне «польове» зношення без зміни механізму руйнування.

Для цього виконуємо наступне:

- обираємо вузли/конфігурації, які порівнюємо (напр., матеріали кронштейна, а порівняння за фіксованим переліком виключає «розмазування» мети);
- задаємо керовані умови: тип ґрунту/дороги, баласт, режим, температура – з реалістичними значеннями, при цьому контроль факторів забезпечує повторюваність і коректні висновки;
- вимірюємо сумарне пошкодження  $D$ , час до  $D=1$ , PSD/rainflow, енерговитрати, аномалії, помилки оператора (ці метрики напряду пов'язані з ресурсом і якістю відтворення профілю) [6, 7];
- вибірка не менше 6 зразків на конфігурацію; порядок запусків рандомізуємо, некеровані умови – блокуємо, це дає стійку статистику (Weibull) і знімає «ефект порядку» [7];
- коротко перевіряємо точність відтворення профілю ( $\leq 5\%$  амплітуди;  $\leq 10\%$  PSD/rainflow) та межі безпеки, заздалегідь визначаємо похибки, не витрачаючи ресурс зразків [6];
- еквівалентність «стенд↔поле»:  $\Delta D \leq 10\%$ ; модель ЦД валідна ( $RMSE \leq 5\%$ ,  $\gamma^2(f) \geq 0,9$ ) гарантує чесність прискорення і безпечність процедури [4, 5, 9];

- фільтрація → rainflow/PSD → оцінка D і B10 → статистичне порівняння (ANOVA/регресія) → висновок (прозорий конвеєр від даних до рішення) [6-7].

Пілотні випробування мають підтвердити коректність стенду та цифрового двійника і наявність керованого прискорення. Досліджуються опори підшипників ВВП, кронштейни навіски та елементи кабіни під комбінованими навантаженнями «температура + вібрація + статичний/динамічний момент». Збір даних ведеться мультисенсорним масивом із частотами 1–5 кГц, параметри ЦД оновлюються онлайн методом EnKF для швидкої підгонки до вимірів. Оцінювання виконується за fidelity ЦД ( $RMSE \leq 5\%$ ,  $\gamma^2(f) \geq 0,9$ ), коефіцієнтом прискорення AF, часом до досягнення  $D=1$ , AUC детектора аномалій, а також за трудомісткістю, енерговитратами на цикл і кількістю помилок оператора із/без AR. Пілот вважається успішним, якщо еквівалентність «стенд ↔ поле» забезпечує  $\Delta D \leq 10\%$ , AF зростає, а кількість помилок із AR зменшується [5, 9].

**Очікувані результати.** Передбачається отримання валідованого профілю прискорених навантажень, еквівалентного польовим умовам за критерієм пошкодження, зі скороченням тривалості доведення без зміни механізмів руйнування. Цифровий двійник, ідентифікований на реальних даних, забезпечить узгодженість із вимірюваннями на ключових каналах і слугуватиме генератором та фільтром тестових сценаріїв. Контур ШІ надасть стабільні оцінки ресурсу (у т.ч. B10) і автоматизує виявлення аномалій, а AR-засоби зменшать кількість процедурних помилок і прискорять аудит. На виході очікується формальний пакет відтворюваних налаштувань (модель, профілі, стендові параметри, протоколи), який дозволить масштабувати метод до інших вузлів і машин [4, 5, 7, 9].

**Наукова новизна.** Запропоновано інтегровану методику, що поєднує цифровий двійник у форматі співмоделювання, байєсівсько-RL планування прискорених профілів і AR-підтримку виконання випробувань з єдиними критеріями еквівалентності «стенд ↔ поле». Новизна полягає у формалізації багатокритеріальної оптимізації профілів з одночасним контролем безпеки та еквівалентності пошкодження, у спільній оцінці параметрів надійності та

коефіцієнтів прискорення в режимі онлайн, а також у використанні пояснюваних методів ШІ для локалізації причин аномалій і валідації результатів тесту [1-7, 9].

**Практична значущість.** Методика дозволяє виробнику суттєво скоротити календарний час доведення і частину дорогих польових етапів перенести на керовані стендові випробування без втрати достовірності висновків щодо ресурсу. Вона забезпечує повторюваність і простежуваність процедур, формує базу знань для сервісу та післяпродажної підтримки, знижує ризики помилок персоналу завдяки AR-навігації і створює прозорі підстави для прийняття інженерних рішень (вибір матеріалів, параметрів, конструктивних змін) [1-4, 7].

**Висновки.** Поєднання цифрового двійника, ШІ та AR формує технологічно і методологічно узгоджений підхід до прискорених випробувань сільськогосподарської техніки, у якому прискорення відбувається керовано й точно щодо реальної експлуатації. Отримані результати демонструють можливість скорочення тривалості доведення при збереженні або підвищенні точності оцінки ресурсу, підвищення повторюваності та якості протоколювання. Запропонований підхід є придатним до масштабування на ширший клас машин та вузлів і створює основу для стандартизації процесів доведення в галузі [4, 5, 7, 9].

### Література

1. Макаренко М. Г., Бондаренко В. О. Використання інтелектуальних систем керування стійкістю та тяговим контролем автомобіля // Матеріали XX міжнародного форуму молоді «Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті», 04–05.04.2024. Харків: ДБТУ, 2024. С. 154.

2. Макаренко М. Г., Калашник Є. А. Роль інформаційних технологій у вдосконаленні функціональних можливостей блочно-модульних тракторів // Технічний прогрес в АПВ: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 21–22 травня 2024 року. Харків: Державний біотехнологічний університет, 2024. С. 67–68.

3. Макаренко М. Г., Пиріжок В. І. Використання штучного інтелекту у вбудованих системах сільськогосподарських тракторів // Матеріали XX

міжнародного форуму молоді «Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті», 04–05.04.2024. Харків: ДБТУ, 2024. С. 192.

4. Modelica Association. Functional Mock-Up Interface (FMI) 3.0: Specification. Modelica Association, 2023. Доступно: <https://fmi-standard.org/>

5. Nelson W. Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis. Wiley, 1990/2004.

6. ASTM E1049-85(2017). Standard Practices for Cycle Counting in Fatigue Analysis. ASTM International.

7. NIST/SEMATECH. e-Handbook of Statistical Methods: Weibull Distribution. National Institute of Standards and Technology. Доступно: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>

8. ISO 11783-1:2017. Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network (ISOBUS). International Organization for Standardization.

9. MathWorks. What Is Hardware-in-the-Loop (HIL). Доступно: <https://www.mathworks.com/help/slrealtime/ug/what-is-hardware-in-the-loop.html>

УДК 631.22.014:636.084.74

## **ТОЧНІСТЬ СТРІЧКОВОГО ДОЗАТОРА НАСИПНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Демків І.**, здобувач третього освітньо-наукового рівня кафедри ПМАІ, Національного університету «Львівська політехніка»,  
e-mail: [ivan.b.demkiv@lpnu.ua](mailto:ivan.b.demkiv@lpnu.ua).

**Вступ.** З огляду на технологічну важливість і складність вимірювання потоку матеріалів, прискорений розвиток промисловості вимагає підвищення рівня точності існуючих вимірювальних приладів. Вимірювання потоку матеріалів відбувається в багатьох галузях промисловості. Транспортування певної кількості матеріалу за певний проміжок часу між точками завантаження і розвантаження є завданням стрічкових конвеєрів [1].

Найбільш раціональним рішенням для усталеного технологічного процесу є застосовувати дозувальне обладнання яке найкраще підходить для даного процесу.

Дозування сипучих матеріалів здійснюється в основному об'ємним або ваговим методом. Можливий також і комбінований метод коли рідини та дешеві сипучі матеріали дозуються об'ємним методом, а цінні – ваговим [2].

Вагове дозування (облік) матеріалу в потоці є складним процесом, оскільки для досягнення максимальної точності потрібно враховувати не тільки особливості матеріалу а й продуктивність технологічних ліній.

Повне визначення точності вимірювання дозаторами передбачає не лише визначення їх технічних та метрологічних характеристик, але й розуміння способів дії несприятливих факторів, що існують у певних частинах вимірювальної системи, які змінюють умови процесу вимірювання маси, що є причиною певного ступеня невизначеності вимірювання. Як приклад можна навести той факт що стрічкові живильники складаються з великої кількості компонентів, які під час роботи викликають вібрації. Такі вібрації найчастіше мають низьку частоту, яка на великих швидкостях може перекриватись з корисними сигналами. В роботі [4] показано приклад програмного фільтру, який дозволяє підтримувати рівень похибки вимірювання в прийнятному діапазоні для різних швидкостей.

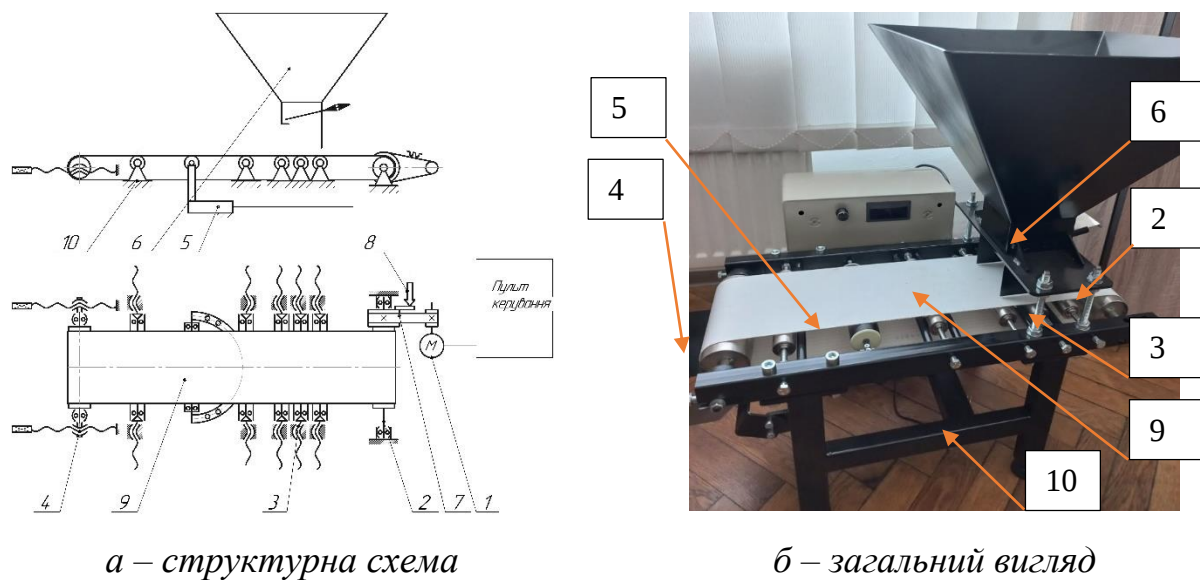
Крім власних вібрації на точність також впливають сторонні джерела вібрації. В роботі [5] показано демпфери які ефективно усувають сторонні вібрації.

Практичний досвід показує, що фактична точність вимірювання маси за допомогою стрічкових ваг значно нижча за теоретичну. Точність вимірювання вагою здебільшого визначається реальними умовами використання.

**Мета роботи.** Метою є оцінка точності та стабільності роботи стрічкового дозатора при дозуванні сипучого продукту, визначення відповідності фактичної подачі заданим параметрам, а також встановлення впливу технологічних і конструктивних факторів (швидкість руху стрічки) на похибку вимірювання маси.

**Матеріали та методи.** З метою вивчення точності та стабільності і роботи стрічкового дозатора при дозуванні сипких матеріалів були проведені випробування за допомогою лабораторної установки (рисунок 2), основою якої є стрічковий дозатор (рисунок 1).

Стрічковий дозатор є модифікацією стрічкового конвеєру, конструкція якого була змінена шляхом розміщення одного ролику на тензовимірювальному вузлі. Загальна структурна схема стрічкового дозатора приведена на рис.1.а. Основою конструкції стрічкового дозатора є стрічковий транспортер.

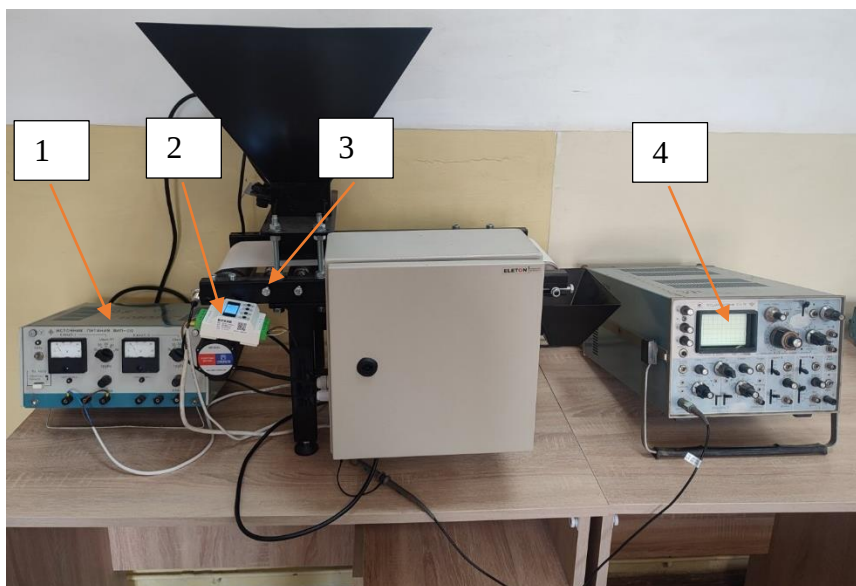


**Рисунок 1** – Стрічковий дозатор

Продукт що підлягає вивченню завантажується в у бункер (6). Бункер (6) оснащений шиберною заслінкою з шкалою. Зона вивантаження продукту з бункера (6) на стрічку (9) оснащена підтримуючими роликами (3). Стрічка (9) приводиться в рух кроковим двигуном (1) через привідний ролик (2) та натяжний ролик (4). Кроковий двигун має можливість змінювати частоту обертання валу.

Вимірювання показників маси відбувається за допомогою тензовимірювального вузла (5). Вузол (5) складається з скоби, тензодавача та динамічно збалансованого ролика. Швидкість транспортування вимірюється за допомогою давача імпульсів (8). Всі компоненти змонтовані на загальній рамі (10).

В якості пристрою збору та обробки даних було використано тензопідсилювач (рисунок 2 позиція 2) та цифровий осцилограф (рисунок 2 позиція 4). Джерело живлення (рисунок 2 позиція 1) використовувалося для заживлення тензопідсилювача.



**Рисунок 2** - Загальний вигляд лабораторної установки

В якості сипучого матеріалу було використано гречану крупу, в якій насипна густина  $660 \text{ кг/м}^3$ , кут природного укосу  $45^\circ$ .

### **Результати та обговорення.**

Результати статичного та динамічного калібрування [6] дали змогу оцінити правильність роботи тензовимірювального вузла.

Виконавши велику кількість вимірювань маси сипучого матеріалу отримав змогу оцінити фактичну точність зважування для подальшого визначення коригувальних дій. За результатами вимірювань будуємо графік (рисунок 3).

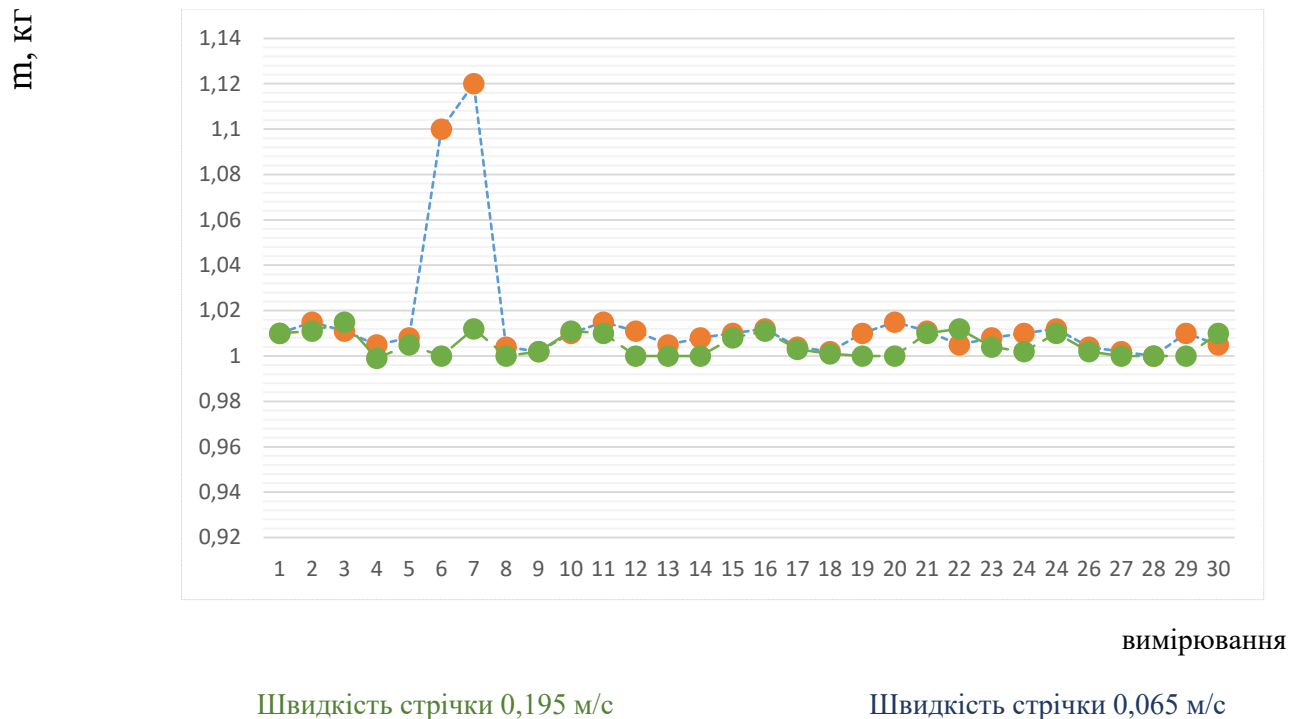
Згідно з [3] існує 4 класи точності стрічкових ваг :0,2,0,5,1 та 2%.

Для оцінки точності було використано такі показники:

- RSME ( корінь середньоквадратичної похибки), що враховує і випадкову похибку і систематичну:

$$RSME = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m(n) - m_{et})^2} \quad (1)$$

- Коефіцієнт варіації (CV) для оцінки відтворюваності серій експериментів.



**Рисунок 3 - Результати вимірювань маси сипкого матеріалу**

При швидкості стрічки 0,195 м/с стрічковий дозатор систематично завищує масу (приблизно на 8.5 г від еталонного 1000 г). RMSE:  $\approx 9.34$  г, коефіцієнт варіації (CV):  $\approx 0.40$  %.

Розкид невеликий (стандартне відхилення  $\sim 4$  г,  $CV < 0.5$  %) отже дозатор стабільний у повторних дозуваннях. Дозатор працює в межах норми згідно класу точності 1, але є тенденція до пересипання маси дози. Найімовірнішим фактором є інерція сипучого матеріалу.

При швидкості стрічки 0,065 м/с стрічковий дозатор стабільний, повторюваність хороша. RMSE:  $\approx 4,8$  г, коефіцієнт варіації (CV):  $\approx 0,45$  %. Відносна похибка не перевищує 1,5% - при такому швидкісному режимі дозатор досить точний.

**Висновки.** Експериментальні дослідження показали, що при високій швидкості руху стрічки стрічкового дозатора відбувається надмірне пересипання сипкого матеріалу, що зумовлює збільшення похибки дозування. Зменшення швидкості стрічки дозволяє значно підвищити точність роботи дозатора: середнє відхилення від еталонного значення не перевищує 1 %, а показники повторюваності та стабільності доз перебувають у допустимих межах. Зв'язавши швидкість та продуктивність можна отримати залежність точності дозування від

швидкості. Динамічні експерименти показали, що для кожного конкретного типу продукту можливо підібрати оптимальну швидкість транспортування, для досягнення максимальної точності зважування, або ж оцінити показник точності відносно продуктивності обладнання. Результати підтверджують, що регулювання швидкості є ефективним заходом для оптимізації точності дозування сипких матеріалів у промислових умовах.

### Література

1. Kulinowski P. Simulation studies as the part of an integrated design process dealing with belt conveyor operation. *Eksplotacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability* 2013; 15(1): 83-88.
2. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання [Текст] : навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / Ю. В. Кодра [и др.]. - Л. : Бескид Біт, 2008. - 356 с.
3. OIML R 50-1:2014 (E), Continuous totalizing automatic weighing instruments (belt weighers)-Part 1: Metrological and technical requirements, 20-24
4. Pietrzak P, Meller M, Niedźwiecki M. Dynamic mass measurement in checkweighers using a discrete time-variant low-pass filter, *Mechanical Systems and Signal Processing* 2014; 48(1-2): 67–76, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ymssp.2014.02.013>.
5. Krupenin V, Nerubenko G, Gurevych D. Improved performance of belt conveyor-feeder, *Proceedings of 18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development* 2019: 712-717, DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N011
6. Demkiv I. Methodology for investigating the calibration of a gravitional feeder for bulk material. “Техніка, енергетика, транспорт АПК” №2 (129)/2025, 37-45, DOI: 10.37128/2520-6168-2025-2

## СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЯТОРА ТИСКУ «СІДЛО-КЛАПАН»

**Великий Н.-Т.**, аспірант кафедри проектування машин та автомобільного інжинірингу, e-mail: nestor-taras.i.velykyi@lpnu.ua

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

**Вступ.** Регулятори тиску є невід'ємною частиною пневматичних та гідравлічних систем у різних галузях промисловості, включаючи машинобудування, харчову та хімічну промисловість, а також медичне обладнання та системи автоматизації. Їх основне завдання полягає у підтриманні стабільного рівня тиску робочого середовища незалежно від змін у вхідних параметрах системи або умов експлуатації [1, 2].

Одним із найважливіших елементів конструкції регулятора є система «сідло-клапан», яка безпосередньо впливає на точність регулювання, швидкість реакції та довговічність пристрою. Геометрія сідла, зокрема його форма (тарілчаста, сферична чи конусна), визначає характер потоку повітря чи газу через клапан, що впливає на параметри регулювання, стабільність роботи та зношування вузла [3, 4].

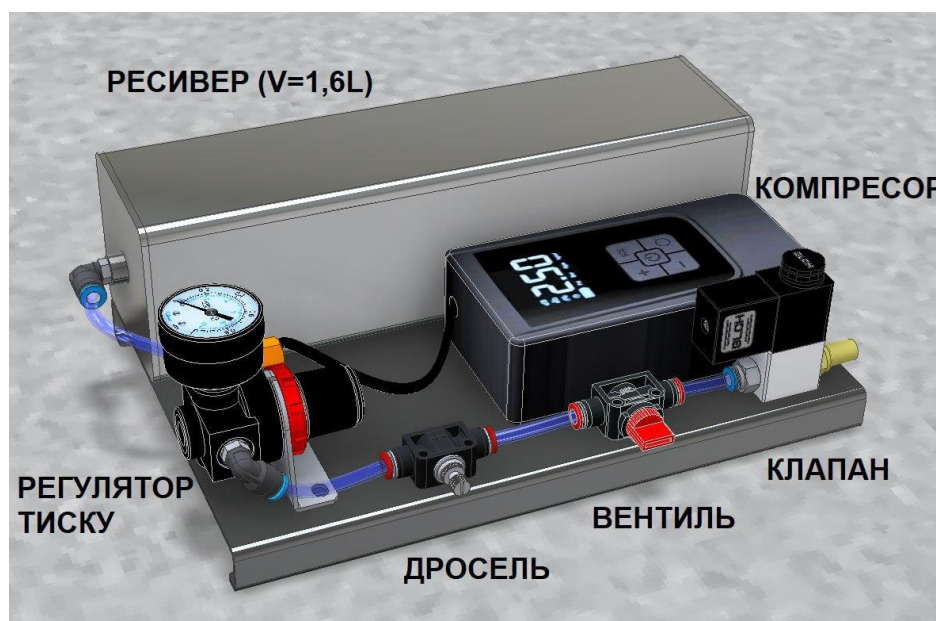
Сучасні вимоги до регуляторів тиску передбачають високу точність та стабільність у поєднанні з мінімальними втратами енергії та підвищеним ресурсом експлуатації. Тому актуальним завданням є дослідження впливу форми сідла на робочі характеристики регулятора та визначення оптимальної конструкції для конкретних умов роботи.

Теоретичні моделі дозволяють передбачити поведінку системи, однак для підтвердження розрахунків необхідне проведення фізичних експериментів із використанням спеціалізованого стенду. Це забезпечує достовірність отриманих результатів та дозволяє врахувати фактори, які важко врахувати аналітично, наприклад, зношування та вплив температури [5]. Дослідження змін характеристик регулятора від геометрії сідла дасть змогу здійснити оптимальний вибір

конструкції для різних умов експлуатації, підвищити точність та стабільність регулювання, а також зменшити зношування елементів [3, 4].

**Мета роботи.** Розробити стенд для дослідження впливу форми сидла на параметри роботи регулятора тиску.

**Матеріали і методи.** Для проведення дослідження було розроблено експериментальний стенд (рис. 1), який відтворює умови роботи пневматичної системи та дозволяє виконувати вимірювання параметрів тиску при різних конфігураціях сидла електромагнітного клапана (рис. 2).



**Рисунок 1** - Стенд для дослідження системи регулятора тиску «сідло-клапан»

До складу стенду входять:

- Компресор – створює необхідний тиск у системі;
- Ресивер об’ємом 1,6 л – стабілізує потік повітря та згладжує імпульси тиску;
- Регулятор тиску – забезпечує підтримання необхідного вихідного тиску;
- Дросель – регулює витрату повітря та дозволяє моделювати різні режими роботи;
- Вентиль – для ручного перекриття та регулювання потоку;
- Електромагнітний клапан зі змінними сидлами – основний об’єкт дослідження, в якому відбувається послідовна заміна сидел різних форм (тарілчастого, сферичного, конусного);

- Вимірювальні прилади – для фіксації тиску, витрати та динамічних характеристик у різних точках системи.



**Рисунок 2 - Конфігурації клапанів**

Важливим параметром функціонування клапанної системи є стала часу регулювання тиску, що дозволяє будувати перехідні характеристики регулювання тиску в обмеженому просторі.

**Результати та обговорення.** Експериментальна установка дозволяє моделювати роботу регулятора тиску типу «сідло-клапан» у реальних умовах пневматичної системи.

Принцип роботи стенду полягає у наступному:

1. Компресор створює необхідний тиск у системі та забезпечує стабільний потік повітря.
2. Ресивер згладжує пульсації тиску та стабілізує його на виході.
3. Регулятор тиску підтримує заданий рівень вихідного тиску для проведення точних експериментів.
4. Дросель та вентиль дозволяють змінювати витрату повітря та імітувати різні режими роботи системи.
5. Електромагнітний клапан з різними сідлами (тарілчастими, сферичними, конусними) є основним об'єктом дослідження; заміна сідла дозволяє оцінити вплив його форми на робочі характеристики клапана.

6. Вимірювальні прилади фіксують параметри системи: тиск, витрату повітря, динамічні характеристики регулятора.

При попередньому дослідженні встановлено, що форма сідла істотно впливає на стабільність регулювання та швидкість реакції клапана. Тарілчасте сідло забезпечує високу швидкість відкривання, але може спричиняти більші коливання тиску. Сферичне сідло демонструє стабільний тиск із невеликими коливаннями, тоді як конусне сідло забезпечує оптимальний баланс між швидкістю та стабільністю регулювання.

**Висновки.** Стенд для дослідження системи «сідло-клапан» регулятора тиску дозволяє оцінювати вплив форми сідла на робочі характеристики пневматичної системи. Геометрія сідла впливає на стабільність регулювання, швидкість реакції та коливання тиску в системі. Конструкція стенду дозволяє провести планований факторний експеримент щодо конфігурацій регуляторів тиску, точності регулювання тиску та сталої часу регулювання.

### Література

1. Dindorf, R. (2023). Measurement of Pneumatic Valve Flow Parameters on the Test Bench with Interchangeable Venturi Tubes and Their Practical Use. *Sensors*, 23(13), 6042. <https://doi.org/10.3390/s23136042>.
2. Ferreira, T. S. (1986). Analysis of the Influence of Valve Geometric Parameters on the Effective Flow and Force Characteristics of Hermetic Compressor Valves. *Proceedings of the International Compressor Engineering Conference, Purdue University*, 1557. <https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1557&context=icec>.
3. Yu, R. (2024). Study on the Design of Single-Seat Control Valve with Stable Flow Regulation and Its Fluid Flow Characteristics and Thermal Stress. *Journal of Manufacturing Processes*, 95, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.12.001>.
4. Zhang, Y. (2021). Numerical Evaluation on Aerodynamic Design of Pressure-Regulating Valve in Transonic Intermittent Wind Tunnel. *Journal of Fluids Engineering*, 143(10), 101201. <https://doi.org/10.1115/1.4050154>.
5. Zhu, M. (2022). Design of FOPID Controller for Pneumatic Control Valve. *Journal of Control and Decision*, 9(2), 123-130. <https://doi.org/10.1002/cac2.12345>.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ЗВАЖУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ У ГРАВІТАЦІЙНИХ ДОЗАТОРАХ НА ОСНОВІ СТАТИЧНОГО ТА ДИНАМІЧНОГО КАЛІБРУВАННЯ

**Серпутько Р.**, аспірант, e-mail: roman.s.serputko@lpnu.ua,

Національний університет «Львівська політехніка»

**Вступ.** Забезпечення високої точності вимірювання сипких матеріалів є одним із ключових завдань сучасних виробничих технологій. Від правильності дозування залежить не лише якість кінцевої продукції, але й економічна ефективність процесів, стабільність технологічних режимів та рівень втрат сировини [1,2]. У харчовій, сільськогосподарській, будівельній та фармацевтичній промисловості допустимі відхилення у дозуванні часто не перевищують 2-3%, що вимагає ретельної калібровки та корекції вимірювальних систем.

Гравітаційні дозатори широко застосовуються завдяки простоті конструкції, надійності та можливості роботи у безперервному режимі [3]. Водночас саме в таких системах найчастіше виникають проблеми з точністю вимірювання: на покази вагових датчиків впливають кут нахилу робочого органу, гранулометричний склад, вологість матеріалу, його сипкість, а також динамічні явища – вібрації, інерційні навантаження, хаотичний рух частинок [4,5].

У статичних умовах вимірювальні системи зазвичай демонструють високу лінійність калібрувальних характеристик  $R^2 < 0,99$ , що дозволяє досягати похибки  $< 1\%$  [6]. Проте у динамічному режимі, коли матеріал рухається в потоці, похибка може зростати у 5-7 разів. Це пов'язано з тим, що сигнал тензометричних датчиків зазнає флуктуацій і розбіжностей відносно статичної калібрувальної прямої [7-9].

Одним із перспективних підходів до зменшення похибки є застосування поєднання статичного та динамічного калібрування. Статичне калібрування дозволяє визначити базову функцію перетворення сигналу датчика у масу, тоді як динамічне враховує вплив реальних умов експлуатації. Використання обох методів у комплексі дає змогу підвищити точність вимірювання до рівня 2-3% [10].

Таким чином, актуальність роботи полягає у дослідженні точності зважування сипких матеріалів у гравітаційних дозаторах із використанням статичного та динамічного калібрування, що створює основу для удосконалення систем автоматизованого керування процесом дозування.

**Метою роботи.** Метою дослідження є оцінка та підвищення точності зважування сипких матеріалів у гравітаційних дозаторах шляхом поєднання статичного та динамічного калібрування. Робота спрямована на встановлення впливу кута нахилу робочого органу, фізико-механічних властивостей сипких матеріалів та режимів подачі на точність вимірювань, а також на визначення оптимальних параметрів роботи дозатора, які забезпечують мінімальні похибки у динамічних умовах.

**Матеріали і методи.** Об'єктом дослідження виступає гравітаційний дозатор сипких матеріалів, із тензометричною вимірювальною системою.



**Рисунок 1** – Гравітаційний дозатор з вимірювальною системою

1 – блок живлення; 2 – еталонна маса; 3 – гравітаційний дозатор;  
4 – тензопідсилювач; 5 – осцилограф

Предметом є точність вимірювання маси сипких матеріалів, що оцінюється шляхом проведення статичного та динамічного калібрування.

Методика калібрування:

- *Статичне калібрування.* Використовував еталонні масою 0,5–5 кг. Будував залежність «маса – сигнал». Оцінював лінійність ( $R^2$ ) середню похибку та чутливість датчика.

- *Динамічне калібрування.* Виконував шляхом пропускання потоку матеріалу через жолоб. Кут нахилу варіював від 10° до 25°. Фіксував середнє та миттєві значення сигналу у часі. Порівнював динамічні криві з еталонною статичною прямою.

Для перевірки впливу фізико-механічних властивостей використовував різні сипкі матеріали:

- зерно пшениці (густина 720 кг/м<sup>3</sup>, кут природного укосу 28°),
- кормові гранули (670 кг/м<sup>3</sup>, 30°),
- пісок дрібнозернистий (1600 кг/м<sup>3</sup>, 34°).

Ці матеріали відрізнялися сипкістю та гранулометричним складом, що дозволило оцінити залежність точності вимірювань від їхніх властивостей.

Для аналізу точності застосовував такі показники:

- Середня відносна похибка вимірювання:

$$\Delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{m_{\text{вм},i} - m_{\text{ет},i}}{m_{\text{ет},i}} \right| \cdot 100\% \quad (1)$$

- Середньоквадратичне відхилення (СКВ) сигналу, яке характеризує стабільність вимірювань.

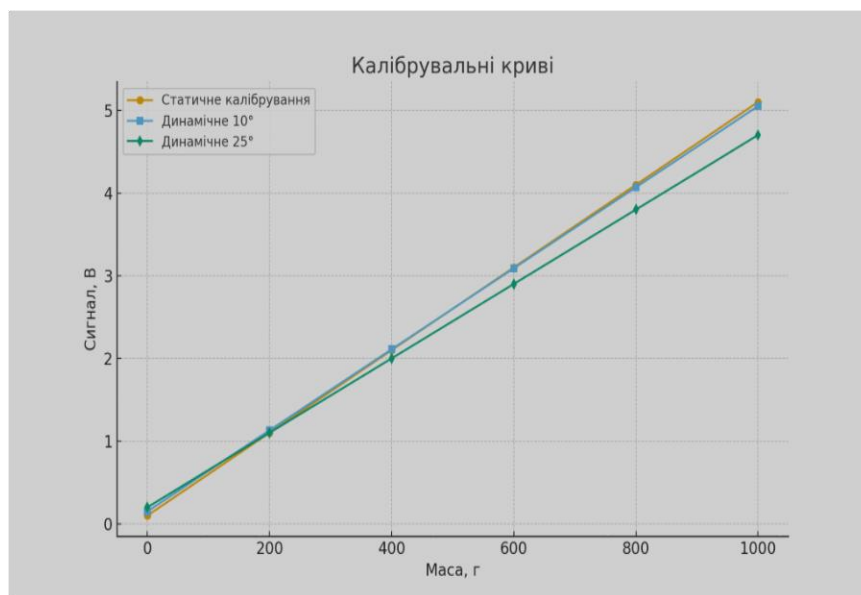
- Коефіцієнт варіації (CV) для оцінки відтворюваності серій експериментів.
- Порівняння калібрувальних кривих, визначення різниці між статичними та динамічними характеристиками.

Методи підвищення точності. Для зменшення похибок у динамічному режимі застосовував такі прийоми: цифрову фільтрацію сигналу; корекцію калібрувальних характеристик за результатами динамічних випробувань; калібрувальних характеристик за результатами динамічних випробувань; оптимізація кута нахилу робочого органу (вибір діапазону 10-15°).

Результати експериментів обробляв із застосуванням методів математичної статистики. Достовірність різниць між серіями вимірювань оцінювалась за t-критерієм Стюдента при рівні значущості  $\rho < 0,05$ .

**Результати та обговорення.** У результаті статичного калібрування встановив лінійну залежність сигналу тензометричного датчика від еталонних мас (рис. 2). Коефіцієнт детермінації становив  $R^2 = 0,998$ , що підтверджує високу

лінійність перетворення. Середня відносна похибка не перевищувала **0,9%**, що відповідає вимогам точних вагових систем [8].



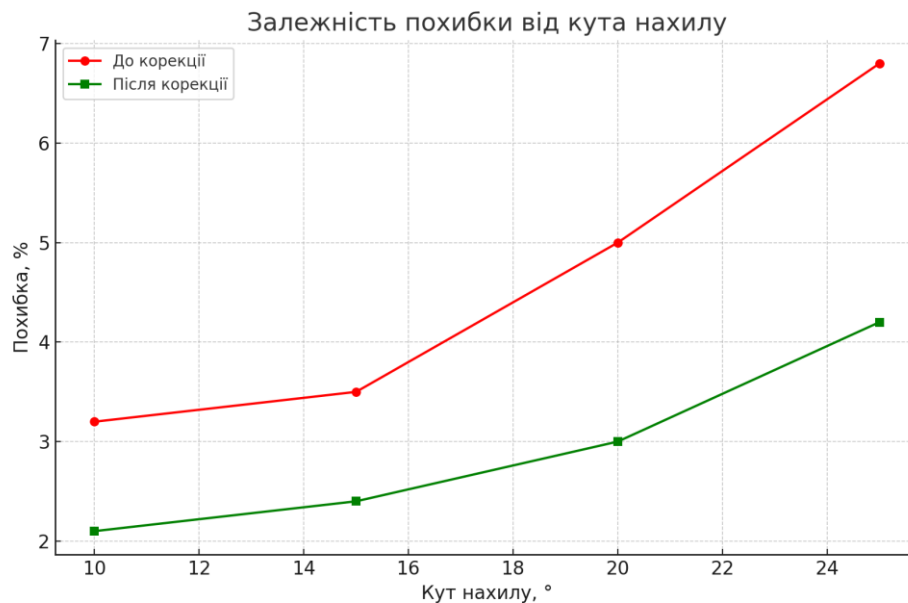
**Рисунок 2** – Калібрувальні криві у статичному та динамічному режимах.

У динамічному режимі (при протіканні матеріалу по жолобу) залежність «маса – сигнал» зберігала лінійність, проте середня похибка зростала до 3,5-6,7% залежно від кута нахилу робочого органу. Найбільші відхилення спостерігались при кутах 20–25°, де вплив інерційних явищ і вібрацій спричиняв систематичні зсуви сигналу (рис. 2).

Аналіз середньої похибки показав, що найменше відхилення спостерігається при кутах нахилу 10-15°. При збільшенні кута до 25° похибка зростає більш ніж удвічі.

**Таблиця 1** – Середня похибка вимірювання при різних кутах нахилу

| Кут нахилу, ° | До корекції, % | Після корекції, % |
|---------------|----------------|-------------------|
| 10            | 3,2            | 2,1               |
| 15            | 3,5            | 2,4               |
| 20            | 5,0            | 3,0               |
| 25            | 6,8            | 4,2               |



**Рисунок 3** – Залежність похибки вимірювання від кута нахилу.

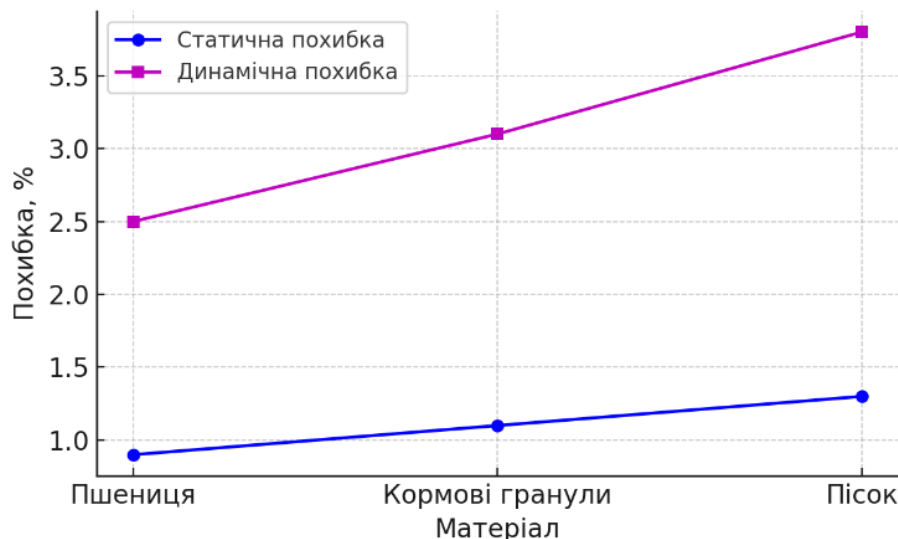
Ці результати підтверджують, що оптимальний діапазон нахилу робочого органу становить 10-15°, забезпечує найвищу точність і відтворюваність результатів.

При випробуванні різних сипких матеріалів було встановлено, що точність залежить також від їхніх властивостей:

- пшениця – найкраща відтворюваність, середня похибка 2,5%;
- гранульовані корми – похибка 3,1%;
- пісок – найбільша похибка (3,8%) через підвищене тертя та «підскоки» частинок у потоці.

**Таблиця 3** – Вплив матеріалу на точність вимірювання.

| Матеріал        | Густина, кг/м <sup>3</sup> | Кут природного укусу, ° | Середня похибка, % |
|-----------------|----------------------------|-------------------------|--------------------|
| Пшениця         | 720                        | 28                      | 2,5                |
| Кормові гранули | 670                        | 30                      | 3,1                |
| Пісок           | 1600                       | 34                      | 3,8                |



**Рисунок 4** – Графік порівняння точності для різних матеріалів.

Застосування цифрової фільтрації сигналу дозволило знизити флуктуації показів на 20-25%. Крім того, корекція динамічних кривих відносно статичних дала змогу зменшити систематичну похибку до рівня 2,2-2,7%, що відповідає вимогам до промислових систем дозування [5,10].

Отримані результати підтверджують, що:

- статичне калібрування забезпечує високу точність, але не враховує реальних умов роботи;
- динамічне калібрування дозволяє адаптувати систему до потоку матеріалу, проте супроводжується зростанням похибки;
- оптимальне рішення полягає у поєднанні обох методів, з урахуванням кута нахилу та властивостей матеріалу.

Таким чином, розроблена методика [9] дає змогу мінімізувати похибку вимірювань до 2-3% у динамічних умовах, що значно підвищує ефективність використання гравітаційних дозаторів у промислових лініях.

**Висновки.** Проведені експериментальні дослідження показали, що у статичних умовах тензометрична вимірювальна система забезпечує високу лінійність калібрувальної кривої ( $R^2 = 0,998$ ) та низьку похибку ( $<1\%$ ). У динамічному режимі середня похибка зважування зростає до 6-7%, що обумовлено впливом кута нахилу робочого органу, вібрацій та інерційних процесів.

Оптимальний діапазон нахилу жолоба становить 10-15°, при якому середня похибка не перевищує 3%. Фізико-механічні властивості сипких матеріалів суттєво впливають на точність: для пшениці похибка становила 2,5%, для кормових гранул – 3,1%, для піску – 3,8%. Застосування цифрової фільтрації сигналів та корекції динамічних кривих відносно статичних дозволяє знизити похибку до 2,2-2,7%, що відповідає вимогам промислових систем дозування.

Запропонована методика поєднання статичного та динамічного калібрування є ефективним підходом до забезпечення високої точності вимірювання сипких матеріалів у гравітаційних дозаторах, і може бути впроваджена у системи автоматизованого контролю технологічних процесів.

### Література

1. Peleg M. Flowability of food powders and methods for its evaluation – A review. J. Food Process Eng., 2005, 1(1), 7–20.
2. Melnyk O.I. Automated Systems for Dosing Bulk Materials. Kyiv: Tekhnika, 2020.
3. Osiptsov A.A. Modeling of granular material flow on rotating surfaces. Powder Technology, 2017, 316, 456–468.
4. Johanson J.R. Particle segregation and what to do about it. Chem. Eng. Progress, 2002, 98(1), 43–50.
5. Gupta M., Sharma V. Continuous powder mixing. Int. J. Pharmaceutics, 2021, 598, 120361.
6. Aguilera J. Dynamic weighing for gravimetric flowmeter calibration. Flow Measurement and Instrumentation, 2014, 37, 100–108.
7. Zhang H. et al. DEM calibration procedures for cohesive particles. Powder Technol., 2023.
8. Thakur A. et al. Gravimetric dosing dynamics under inclined feed. Appl. Sci., 2024, 14(16), 7373.
9. Serputko R. Методика дослідження процесу калібрування гравітаційного дозатора для сипких матеріалів у потоці. Техніка, енергетика, транспорт АПК, №1(128), 2025, с. 34–45.

## СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРУЖНО-ДЕМПФЕРНОЇ СИСТЕМИ

**Берегуляк С.**, аспірант кафедри проєктування машин та автомобільного інжинірингу, e-mail: [stepan.t.berehuliak@lpnu.ua](mailto:stepan.t.berehuliak@lpnu.ua)

**Дмитрів В.**, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри проєктування машин та автомобільного інжинірингу, e-mail: [vasyl.t.dmytriv@lpnu.ua](mailto:vasyl.t.dmytriv@lpnu.ua)

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

**Вступ.** В техніці широко використовуються механічні системи, які мають елементи з характеристиками пружності і в'язкості. З'єднання таких елементів, послідовне, паралельне, комбіноване дозволяє реалізувати характеристики технічної системи, яка може виконувати функції регулювання, коливання, демпферування та ін. [1-4]. Систему паралельного з'єднання пружного і в'язкого елементів, тіло Кельвіна-Фойгта, часто спрощують до моделі тертя та інтегрування [5]. Модель Кельвіна-Фойгта використовується для моделювання амортизаційних систем транспортних засобів. За складності математичного опису пружно-в'язкої механічної системи для її розв'язку використовують чисельні методи [6 - 8], що обмежує числовий діапазон параметрів.

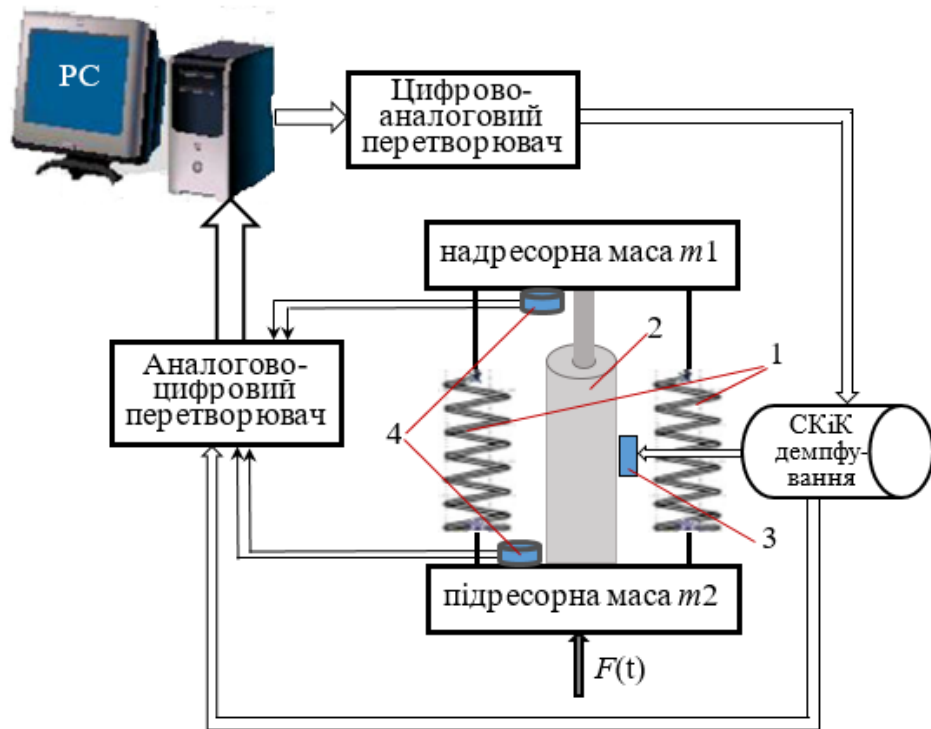
Для перевірки результатів математичного проєктування таких систем необхідно провести фізичний експеримент, що уможливить достовірність отриманих результатів аналітичним моделюванням системи.

**Мета роботи.** Метою є розроблення стенду для проведення планованого факторного експерименту з можливістю керування пружністю і демпферними параметрами системи.

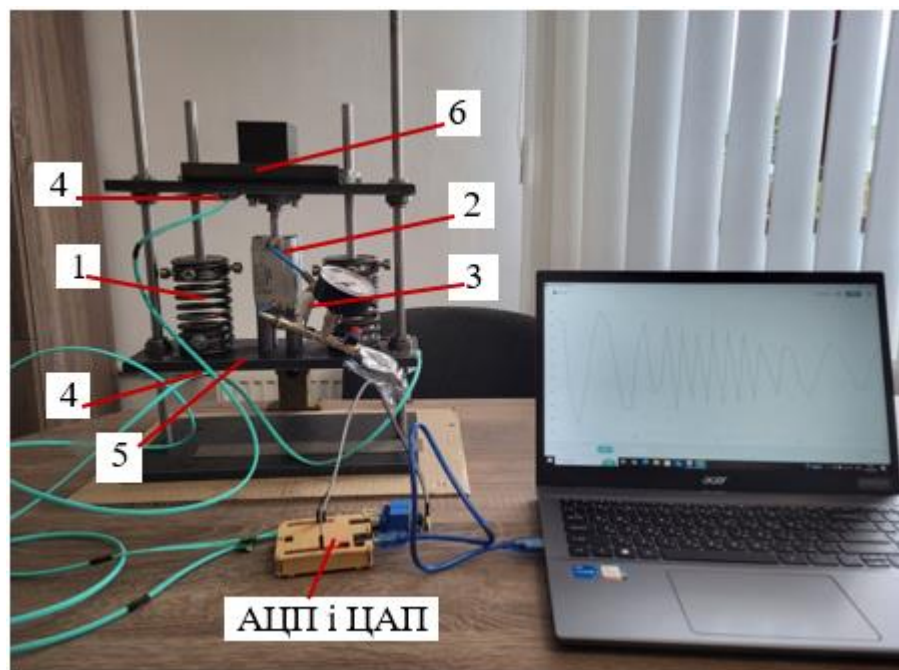
**Матеріали і методи.** Паралельне з'єднання пружного і демпферного елементів є класичним варіантом тіла Кельвіна-Фойгта. Структурна схема стенду показана на рис. 1., а загальний вигляд на рис. 2.

Пружні елементи (1) (рис. 1 і 2) з'єднані паралельно з пневматичним демпфером (2). До пневматичного демпферу приєднана система (3), яка вимірює тиск, регулює має перепускний дросель із змінним перепускним отвором.

Інформація від системи (3) надходить до системи керування і контролю (СКiК) демпфування, далі до аналогово-цифрового перетворювача (АЦП), інформація з якого зчитується комп'ютером (РС).



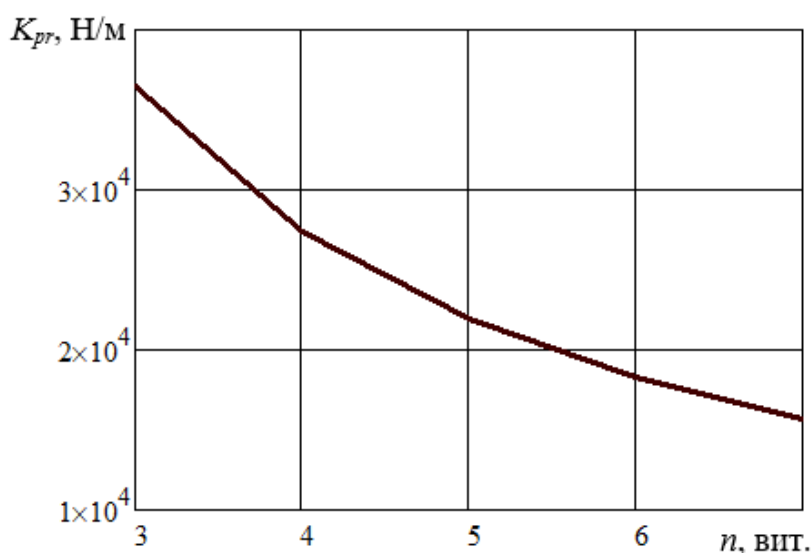
**Рисунок 1** – Структурна схема стенду дослідження пружно-демпферної системи



**Рисунок 2** – Загальний вигляд стенду для дослідження пружно-демпферної системи

Інформація про коливання надресорної маси  $m_1$  (6) і підресорної маси  $m_2$  (5) зчитується сенсорами (4), далі перетворюється АЦП і зчитується комп'ютером. Керування СКіК (рис. 2, поз. 3 в зборі) йде від комп'ютера через ЦАП. Вся інформація зчитується і обробляється комп'ютером.

**Результати.** Для проведення планованого факторного експерименту, лабораторний стенд має можливість зміни коефіцієнта пружності зміною кількості робочих витків пружини. Параметри пружини є такі: діаметр дроту пружини 6 мм, зовнішній діаметр пружини 62 мм, кількість робочих витків пружини регулюється від 3 до 7, модуль зсуву матеріалу пружини 80,5 ГПа. Графік зміни коефіцієнта пружності стенду показано на рис. 3. Дві пружини однотипні з'єднані паралельно.

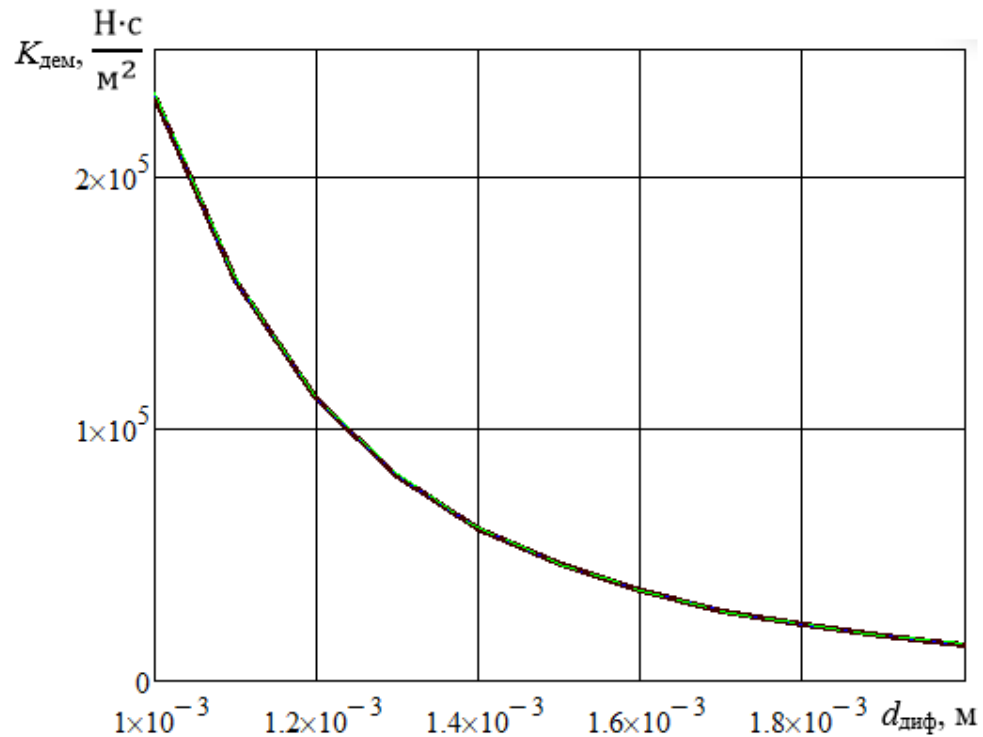


**Рисунок 3** – Характеристика зміни коефіцієнта пружності  $K_{pr}$  від кількості робочих витків  $n$  пружини

При трьох робочих витках пружини коефіцієнт пружності буде  $K_{pr} = 36480$  Н/м, при 7 робочих витках пружини -  $K_{pr} = 15630$  Н/м. Для п'яти робочих витків пружини коефіцієнт пружності становить  $K_{pr} = 21890$  Н/м.

Коефіцієнт демпфування регулюється тиском в пневмоциліндрі і діаметром перепускного отвору. Характеристика приведена на рис. 4.

При зміні тиску в пневмоциліндрі від 1 Атм до 4 Атм коефіцієнт демпфування зростає на 0,48 %. Це зростання є не значним і не впливає на коливання пружно-демпферної системи.



**Рисунок 4** – Характеристика зміни коефіцієнта демпфування  $K_{\text{дем}}$  від діаметру дифузора  $d_{\text{диф}}$

На коефіцієнт демпферування впливає перепускний діаметр дифузора. При перепускному діаметрі дифузора 1 мм коефіцієнт демпферування становить  $231700 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$ . Для перепускного діаметру 2 мм коефіцієнт демпферування становить  $14480 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$ .

**Висновки.** Розроблений стенд дозволяє реалізувати планований факторний експеримент для пружно-демпферної системи. Факторами є коефіцієнт пружності, коефіцієнт демпферування, надресорна маса і сила збурення  $F(t)$ . Проведення фізичного експерименту уможливить перевірити адекватність математичної моделі пружно-демпферної системи.

### Література

1. Huilai, S.; Ruichuan, L.; Jikang, X.; Funing, X.; Bo, Z.; Xinyuan, D. Fractional Modeling and Characteristic Analysis of Hydro-Pneumatic Suspension for Construction Vehicles. Processes 2021, 9, 1414. DOI : <https://doi.org/10.3390/pr9081414>

2. Zhang, J.; Chen, S.; Wu, Z.; Feng, J.; Fan, Y. Research on Damping Noncoincidence and Its Influence Factors of Multibranch Hydropneumatic Suspension. *Advances in Mechanical Engineering* 2015, 7(2). DOI : [10.1155/2014/362086](https://doi.org/10.1155/2014/362086)
3. Macháček, O.; Kubík, M.; Strecker, Z.; Roupec, J.; Mazurek, I. Design of a frictionless magnetorheological damper with a high dynamic force range. *Advances in Mechanical Engineering* 2019, 11(3). DOI : [10.1177/1687814019827440](https://doi.org/10.1177/1687814019827440)
4. Dmytriv, V.T.; Dmytriv, I.V.; Yatsunskyi, P.P. Experimental pulse generator combined with the milking machine collector. *INMATEH - Agricultural Engineering* 2019, 59(3), 219–226. DOI : <https://doi.org/10.35633/inmateh-59-24>
5. Bobyleva, T.; Shamaev, A. Problem of damping oscillations of a mechanical system with integral memory. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 2020, 869, 022011. DOI : 10.1088/1757-899X/869/2/022011
6. Jugulkar, L.M.; Singh, S.; Sawant, S.M. Analysis of suspension with variable stiffness and variable damping force for automotive applications. *Advances in Mechanical Engineering* 2016, 8(5), 1–19. DOI : 10.1177/1687814016648638
7. Monsia, M.D.; Kpomahou, Y.J.F. Simulating Nonlinear Oscillations of Viscoelastically Damped Mechanical Systems. *Engineering, Technology & Applied Science Research* 2014, 4(6), 714-723
8. Madeira, R.H.; Coda, H.B. Kelvin Viscoelasticity and Lagrange Multipliers Applied to the Simulation of Nonlinear Structural Vibration Control. *Latin American Journal of Solids and Structures* 2016, 13, 964-991. <http://dx.doi.org/10.1590/1679-78252624>

## **РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ОБСЯГІВ ЗБИРАННЯ БІОМАСИ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТВЕРДОПАЛИВНОГО ВИРОБНИЦТВА**

**Шворов С.**, д-р техн. наук, професор, e-mail: sosdok@nubip.edu.ua

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Халін С.**, канд. екон. наук,

ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

**Єременко О.**, канд. техн. наук, доцент, e-mail: eremolex@nubip.edu.ua,

**Саркісова М.**, студентка бакалаврату,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Вступ.** Виробництво та використання паливних гранул (пелет) з біомаси є перспективним сегментом розвитку біоенергетики в Україні з огляду на економічні, екологічні та соціальні вигоди, враховуючи наявність в країні щорічного енергетичного потенціалу 27-30 млрд т вторинної біомаси [1].

Для отримання інформації про прогнозовану кількість гранульованого палива з певних площ збирання біомаси [2, 3] доцільно розробити та застосовувати імітаційну модель визначення обсягів біомаси (ІМВОБ).

Виділяють три альтернативні методологічні підходи до створення імітаційної моделі будь-якого процесу: дискретно-подвійний підхід; підхід сканування активності; процесно-орієнтований підхід [4].

Перевагою процесно-орієнтованого підходу є те, що при опису функціонування складної системи використовуються певні процеси. Тобто ІМВОБ описується послідовністю складових моделі, які виникають за певною схемою. Складові моделі функціонують на основі множини дій, в яких приймають участь усі елементи процесу, а зміну дій задають умови початку та завершення дії (певні стани процесу). Виконання дії призводить до зміни стану системи та можливості виконання нових дій, якщо хоча б одна із умов не виконується, то дія не починається [4].



- площа  $k$ -го поля;
- площі з усіх полів господарства;
- по підрозділу збиральної техніки:
- витрати палива на кожний комбайн;
- витрати пального на усі комбайни та іншу техніку;
- по підрозділу транспортних засобів:
- кількість перевезеної біомаси з  $k$ -го поля на склад кожним транспортним засобом за зміну;
- загальна кількість перевезеної біомаси;
- витрати пального на усі транспортні засоби;
- траєкторії руху збиральних засобів.

Проведено апробації розробленої підсистеми моніторингу стану та визначення обсягів біомаси на полях Товариства з додатковою відповідальністю (ТДВ) «Терезине» Білоцерківського району Київської області.

**Результати і обговорення.** Визначено загальні дані про господарство ТДВ «Терезине», дані про поля з рослинною біомасою, технічне забезпечення збиральної кампанії, формалізовано основні характеристики технологічних підрозділів підприємства, проаналізовано методи планування збиральної кампанії, розглянуто завдання керування збиральною кампанією.

Парк зернозбиральної техніки ТДВ «Терезине» складається з комбайнів марки John Deere 9510 і KLAAS LEXION 560 та соломозбиральних машин. Парк транспортних засобів включав сім бортових вантажівок і три самоскида.

У господарстві для планування збирально-транспортних робіт використовували розрахунково-конструктивний та балансовий метод планування. Для цього застосовували програму «Інспектор», яка дозволяє отримати статистичні показники щодо переміщення техніки, вести облік витрат пального та контроль за виконанням планів робіт на полях. Фактичні знімки полів ТДВ «Терезине» з використанням WEB технологій [6] переформовували за допомогою статистичної програми моніторингу виконання польових робіт.

Для перевірки адекватності моделі процесу збирання біомаси та дослідження ефективності алгоритмів функціонування статистичної програми для умов ТДВ «Терезине» виконано етап початкової ідентифікації параметрів імітаційної моделі.

Ідентифікація ІМВОБ здійснювалась у такий спосіб. Середнє значення руху збиральної техніки – параметр  $v_p^k(t)$  визначався за нормальним законом з математичним очікуванням  $y_{kp}$  і середньоквадратичним відхиленням, яке дорівнює 0,6.

До вхідних змінних ІМВОБ були віднесені такі показники:  $x_1$  – марка комбайну;  $x_2$  – ширина захвату жатки, м;  $x_3$  – врожайність біомаси, ц/га;  $x_4$  – коефіцієнт густини;  $x_5$  – коефіцієнт стиглості біомаси, %.

Також були введені статистичні дані для комбайнів марок John Deere і KLAAS ( $x_1 = 10$  для John Deere;  $x_1 = 20$  для KLAAS).

У результаті використання попередньої статистичної інформації про процес збирання і транспортування біомаси були отримані наступні значення параметрів:  $\kappa_l^k = 0,92$ ;  $\varpi_l^k = 0,95$ ;  $\nu_l^k = 1,1$ ;  $\beta_0 = 0,78$ ;  $\beta_1 = 0,7$ ;  $\beta_2 = 0,63$ ;  $\sigma_0 = 0,967$ ;  $\sigma_1 = 0,938$ ;  $\sigma_2 = 0,953$ ,

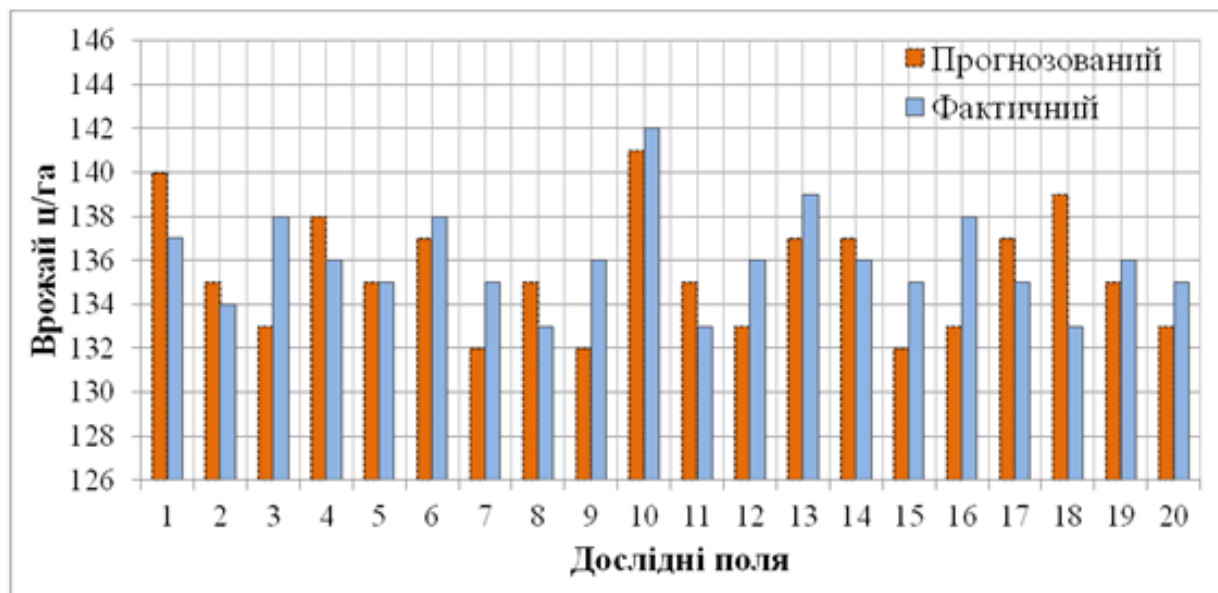
де  $\kappa_l^k$  – середнє значення інтенсивності заповнення кузова транспортного засобу;  $\varpi_l^k$  – середнє значення інтенсивності транспортування;  $\nu_l^k$  – середнє значення руху транспортного засобу без вантажу;  $\beta_0$  – коефіцієнт інтенсивності виконання операції попередньої обробки;  $\beta_1$  – коефіцієнт інтенсивності обробки;  $\beta_2$  – коефіцієнт інтенсивності виконання робіт;  $\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2$  – коефіцієнти зміни біомаси на полі.

Імітаційна модель була адаптована до умов ТДВ «Терезене». Впродовж проведення збиральної кампанії в роботі ІМВОБ проводилися корегування, що дало змогу отримати модель, що повністю відповідає фактичному процесу.

Перевірка ІМВОБ на адекватність та достовірність здійснена на основі статистичних даних про проведення збиральної кампанії, отриманих з програми

контролю та обліку «Інспектор», встановленої на підприємстві. Одержано фактичні дані збиральної кампанії на дослідних полях.

На рис. 2 зображено графік середнього значення прогнозованого та зібраного врожаю рослинної біомаси (центнерів з гектару) з дослідних полів.



**Рисунок 2** - Показники прогнозованих і фактичних обсягів збирання вторинної біомаси для виробництва пелет

Для перевірки адекватності зазначених показників складено таблицю середніх значень біомаси, зібраної комбайном з 1 га та витрат пального на тону зібраної сировини. У цій таблиці наведено прогнозні та фактичні значення показника біомаси, що зібрана за день, де прогнозні значення отримано шляхом імітаційного моделювання процесу збирання. Наведені вибірки залежні між собою тому, що умови імітаційного експерименту відповідали реальним умовам робіт.

Внаслідок залежності значень вибірок було перевірено статистичну гіпотезу відносно середньої різниці між парами взаємопов'язаних спостережень у генеральній сукупності у такій послідовності.

Сформульовано нульову ( $H_0$ ) та альтернативну гіпотези ( $H_\alpha$ ) [5]:

$$H_0 : \bar{d} = 0, H_\alpha : \bar{d} \neq 0. \quad (1)$$

Прийнято рівень значущості  $\alpha = 0,05$ , що гарантує прийняття гіпотези або відмову від неї з ймовірністю помилки не більше 5%.

Для перевірки гіпотези  $H_0$  використано  $t$ -критерій Ст'юдента [5]. При цьому, гіпотеза  $H_0$  буде прийнята, якщо фактичне значення  $t$ -критерію буде менше за його табличне значення, тобто якщо  $t_{\text{факт}} \leq t_{\alpha}$ .

Для оцінювання істотності гіпотези виконано наступні розрахунки [5]:

- визначено середні значення для прогнозованих і фактичних показників:

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{12} x_{1i}}{n_1} = \frac{314,54}{12} = 26,21 \text{ кг/м}^2; \quad \bar{x}_2 = \frac{\sum_{i=1}^{12} x_{2i}}{n_2} = \frac{301,37}{12} = 25,11 \text{ кг/м}^2. \quad (2)$$

- визначено середню різницю:

$$\bar{d} = |\bar{x}_1 - \bar{x}_2| = 26,21 - 25,11 = 1,1 \text{ кг/м}^2. \quad (3)$$

- обчислено скориговану дисперсію середньої різниці:

$$S_{\bar{d}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{12} d_i^2 - n(\bar{d})^2}{n-1} = \frac{67,94 - 12 \cdot 1,1^2}{12-1} = 4,86 \text{ кг/м}^2. \quad (4)$$

- визначено середню помилку середньої різниці:

$$\mu_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{S_{\bar{d}}^2}{n}} = \sqrt{\frac{4,86}{12}} = 0,64. \quad (5)$$

- обчислено фактичне значення  $t$ -критерію Ст'юдента:

$$t_{\text{факт}} = \frac{|\bar{d}|}{\mu_{\bar{d}}} = \frac{1,1}{0,64} = 1,72. \quad (6)$$

- визначено число ступенів свободи варіації, виходячи з чисельності пар різниць:

$$k = n - 1 = 12 - 1 = 11. \quad (7)$$

- знайдено табличне значення  $t$ -критерію Ст'юдента при  $k = 11$ ;  $\alpha = 0,05$ :

$$t_{0,05} = 2,2.$$

- порівняно фактичне і табличне значення критерію:

$$t_{\text{факт}} = 1,72 < t_{\alpha} = 2,2.$$

Отже, фактичне значення критерію нижче за табличне, відтак нульова гіпотеза  $H_0$  приймається.

**Висновки.** Відхилення план-факт, які виникли при порівнянні фактичних даних і даних імітаційного моделювання, зумовлені дією випадкових причин і є

несуттєвими. Це свідчить про те, що імітаційна модель є адекватною реальним технологічним умовам проведення збиральної кампанії.

### **Література**

1. Практичний посібник з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України. К.: 2017. [http://bioenergy.in.ua/media/filer\\_public/af/5d/af5d3b77-9e35-4b70-83b1-cfb57281ead4/bio\\_posobiea5.pdf](http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/af/5d/af5d3b77-9e35-4b70-83b1-cfb57281ead4/bio_posobiea5.pdf).
2. Panoutsou C., Labalette F. Cereals straw for bioenergy and competitive uses. In: European Commission (Ed.), Proceedings of the Cereals Straw Resources for Bioenergy in the European Union, Pamplona, Pamplona, 18–19 October 2006. Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.
3. Ціп Є., Сидорчук О., Тимочко В. Імітаційна модель роботи зернозбирального комбайна впродовж сезону. Вісник Львів. ДАУ: Агроінженерні дослідження. 2001. № 5. С. 17-26.
4. Шворов С.А., Чирченко Д.В. Метод планування робіт по збору врожаю безпілотними комбайнами. Енергетика і автоматика. 2017. № 1. С. 28-36.
5. Єременко О.І., Поліщук В.М., Шворов С.А., Скібчик В.І. Розрахунок обладнання для отримання біопаливних гранул і брикетів: монографія. К.: НУБіП України, 2021. 244 с.
6. Klas Nordberg Per-Erik Forssen, Johan Wiklund. A flexible runtime system for image processing in a distributed computational environment for an unmanned aerial vehicle. In the proceedings of the 9th International Workshop on Systems, Signals and Image Processing, IWSSIP. 2002.

## СОЦІАЛЬНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ В УКРАЇНІ

**Скляр О.**, канд. техн. наук, професор, e-mail: [oleksandr.sklyar@tsatu.edu.ua](mailto:oleksandr.sklyar@tsatu.edu.ua) ,

**Скляр Р.**, канд. техн. наук, доцент

ел. пошта: [radmila.skliar@tsatu.edu.ua](mailto:radmila.skliar@tsatu.edu.ua) ,

**Болтянський Б.**, канд. техн. наук, доцент

e-mail: [borys.boltianskyi@tsatu.edu.ua](mailto:borys.boltianskyi@tsatu.edu.ua)

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Вступ.** Біогаз – це поновлюване джерело енергії, що утворюється в процесі анаеробного бродіння органічних відходів (таких як відходи тваринництва, харчової промисловості та рослинні залишки) за допомогою бактерій. Його склад подібний до природного газу, містить приблизно 98% метану, а також вуглекислий газ, сірководень та інші домішки. Виробництво та спалювання біогазу є частиною природного вуглецевого циклу, що робить його екологічно безпечною альтернативою викопному паливу [1]. Використання біогазу не призводить до додаткового накопичення парникових газів в атмосфері.

На відміну від природного газу, запаси якого обмежені, біогаз є невичерпним джерелом енергії, оскільки його сировина постійно відновлюється. Крім того, виробництво біогазу може бути децентралізованим, що дозволяє розміщувати установки поблизу джерел сировини та споживачів. Це значно знижує витрати на транспортування і підвищує енергетичну незалежність регіонів [2,3].

**Мета роботи.** Обґрунтування економічних та соціальних перспектив виробництва та використання біогазу в Україні шляхом комплексного аналізу його потенціалу, оцінки економічної ефективності, виявлення ключових факторів, що стримують розвиток галузі, та розробки практичних рекомендацій для її інтенсифікації в сучасних умовах.

**Матеріали і методи.** В даному дослідженні використовувались наступні методи аналізу даних: теоретичний аналіз, статистичний аналіз, SWOT-аналіз.

Матеріали: нормативно-правові акти, наукові публікації, звіти міжнародних організацій, галузеві та експертні дані, дані сільськогосподарської статистики.

**Результати та обговорення.** Процес вироблення біогазу здійснюється за участю чотирьох основних груп мікроорганізмів, які послідовно перетворюють складну органічну сировину на метан. Це включає гідроліз, ацидогенез, ацетогенез і метаногенез. Розуміння цих етапів є ключовим для оптимізації роботи біогазових установок, оскільки ефективність виробництва залежить від контролю температури, рН-рівня та співвідношення субстратів [4].

За даними Міжнародного енергетичного агентства (ІЕА), біогаз та біометан розглядаються як важливі компоненти глобального енергетичного переходу [2]. У 2022 році світове виробництво біогазу становило близько 37 млрд. м<sup>3</sup>, причому значна частина використовується для виробництва електроенергії та тепла. Це підтверджує, що біогаз є не просто нішевою технологією, а глобальним трендом.

Виробництво біогазу забезпечує потужний економічний та соціальний ефект [2-5]:

1) економічна вигода: хоча початкові інвестиції у будівництво біогазових установок значні, термін їх окупності становить приблизно три роки. Важливо враховувати, що установки виконують не лише енергетичну, а й утилізаційну функцію. Їхня цінність підвищується, якщо до економічних розрахунків включити економію на утилізації відходів та продажу високоякісних добрив, які є побічним продуктом виробництва біогазу.

2) створення робочих місць: розвиток біогазової індустрії створює нові робочі місця, особливо у сільській місцевості.

3) децентралізація енергетики: біогазові установки дають можливість регіонам стати більш енергетично незалежними, забезпечуючи власні потреби в електриці, теплі та паливі.

На додаток до зазначених переваг, важливо розглянути конкретні економічні моделі. Вартість біогазової установки коливається залежно від її потужності та типу. Наприклад, будівництво промислової установки потужністю 1 МВт може коштувати від 2 до 5 мільйонів євро. Однак цей високий капітальний внесок компенсується за рахунок кількох джерел доходу [2,6-8]:

1) продаж електроенергії та тепла за «зеленим» тарифом. Наприклад, в Україні до 2020 року «зелений» тариф для біогазу був значно вищим, ніж для традиційних джерел, що стимулювало інвестиції;

2) продаж біометану в газові мережі. Це стає все більш привабливим, оскільки ціни на природний газ зростають;

3) економія на утилізації відходів. Великі агропідприємства, наприклад, тваринницькі комплекси, несуть значні витрати на очищення стічних вод і утилізацію гною. Біогазова установка вирішує цю проблему, перетворюючи відходи на цінні продукти.

4) додатковий дохід від продажу дигестату – високоякісного органічного добрива, що залишається після бродіння. За даними наукових досліджень, дигестат є більш ефективним за гній, оскільки він гомогенізований, позбавлений патогенної мікрофлори та має стабільний вміст поживних речовин.

Виробництво біогазу є дуже гнучким процесом, оскільки може використовувати широкий спектр органічних субстратів [7,8]:

- відходи сільського господарства: гній, послід, рослинні залишки;
- відходи харчової та переробної промисловості: харчові відходи, залишки виробництва;
- енергетичні культури: спеціально вирощені рослини.

Біогаз виробляється у спеціальних ферментаторах, де підтримуються оптимальні умови для життєдіяльності бактерій. Це забезпечує високу ефективність процесу та мінімізує собівартість кінцевого продукту.

Крім того, біогаз може бути очищений до якості природного газу (біометан) та подаватися в існуючі газорозподільні мережі. Це дозволяє ефективно транспортувати його до споживачів та використовувати для різних цілей [2,4,6]:

- виробництво електроенергії та тепла на ТЕЦ;
- використання як автомобільного палива;
- постачання тепла для промислових і побутових потреб.

В Україні, хоча існують законодавчі ініціативи, вони часто є недосконалими. Наприклад, Закон України «Про альтернативні джерела енергії» визначає

«зелений» тариф, проте відсутність чітких механізмів підключення до газових мереж для біометану, а також бюрократичні перешкоди, стримують розвиток.

Так, аналіз Національного університету біоресурсів і природокористування показав, що за їх оцінками, потенціал виробництва біогазу з агропромислової сировини в Україні становить близько 1,6 млн тонн умовного палива на рік. Ця цифра є консервативною і може бути значно збільшена за рахунок використання інших видів біомаси.

Німеччина є світовим лідером у виробництві біогазу. Завдяки державній підтримці (Закон про поновлювані джерела енергії – EEG), кількість біогазових установок зросла з кількох десятків на початку 2000-х до понад 9000 сьогодні. Цей приклад демонструє, як цілеспрямована державна політика може трансформувати енергетичний сектор.

А дослідження Київського політехнічного інституту доводять, що біогазові технології можуть бути використані не лише для виробництва енергії, а й для очищення навколишнього середовища. Утилізація відходів з тваринницьких комплексів через біогазові установки значно знижує викиди метану в атмосферу (який у 25 разів ефективніший за CO<sub>2</sub> як парниковий газ) та запобігає забрудненню ґрунту та водних ресурсів.

Україна має унікальні можливості для розвитку біогазової галузі завдяки своєму потужному аграрному сектору. Наявність великих обсягів сировини (гною, соломи, кукурудзяного силосу тощо) створює ідеальні передумови для масштабного виробництва.

Щоб реалізувати цей потенціал, Україні необхідно:

- 1) створити сприятливе законодавче поле, що включає спрощені процедури отримання дозволів, фінансові стимули та гарантії для інвесторів;
- 2) розробити дорожню карту для впровадження біометану в газотранспортну систему, включаючи стандарти якості та методики сертифікації;
- 3) стимулювати науково-дослідні роботи та інновації у сфері біогазових технологій, особливо з урахуванням українських реалій та доступної сировини.

**Висновки.** Біогазовий сектор є не лише частиною глобального енергетичного переходу, але й стратегічним інструментом для зміцнення енергетичної безпеки

України, розвитку сільських територій та вирішення нагальних екологічних проблем. Завдяки правильно спланованим діям, Україна може стати лідером у регіоні з виробництва біогазу, перетворивши свої відходи на дохід та чисту енергію.

### Література

1. Болтянський Б. В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник/ Б. В. Болтянський та ін. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.
2. Матеріали Біоенергетичної асоціації України. URL: <https://uabio.org/> .
3. Komar A. S. Methodological approaches to the optimization of machine technologies of animal waste disposal. Scientific research in the modern world. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Toronto, Canada. 2023. Pp. 194-198.
4. Скляр Р. В., Скляр О. Г. Основи біогазових технологій та параметри оптимізації процесу зброджування. Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2009. Вип. 9. Т. 1. С. 18–28.
5. Komar A. Definition of priority tasks for agricultural development. Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. “Multidisciplinary research”. Bilbao, Spain 2020. P. 431–433.
6. Скляр О.Г., Скляр Р. В. Методи інтенсифікації процесів метанового зброджування. Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь, 2014. Вип.4. Т.1. С. 3-9: сайт. URL: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf4t1/3.pdf>
7. Комар А. С. Удосконалення конструкції біогазової установки з рекуперацією теплоти збродженої біомаси. Праці ТДАТУ: наукове фахове видання. Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. Вип. 24. Т. 3. С. 62–70. DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-5.
8. Комар А. С., Акулов В. Д. Технологічні аспекти оптимізації біогазових установок. Науковий вісник ТДАТУ. Запоріжжя, 2025. Вип. 15. Т. 1. С. 129-135. <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-25-1-15> .

## ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛЬНОГО В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ УКРАЇНИ

Скляр О., канд. техн. наук, професор, e-mail: [oleksandr.sklyar@tsatu.edu.ua](mailto:oleksandr.sklyar@tsatu.edu.ua) ,

Кюрчев В., док. техн. наук, професор, e-mail: [volodymyr.kyurchev@tsatu.edu.ua](mailto:volodymyr.kyurchev@tsatu.edu.ua)

Скляр Р., канд. техн. наук, доцент, e-mail: [radmila.skliar@tsatu.edu.ua](mailto:radmila.skliar@tsatu.edu.ua) ,

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Вступ.** Сільське господарство України є одним із ключових секторів економіки, який забезпечує продовольчу безпеку та експортний потенціал. Основу механізованих робіт у цій галузі становить використання дизельного пального, яке живить трактори, комбайни, обприскувачі, зернозбиральну та ґрунтообробну техніку. У зв'язку зі зростанням вартості енергоресурсів, а також із глобальними кліматичними викликами, виникає потреба в глибокому аналізі ефективності та наслідків використання дизельного пального в агросекторі [1,2].

**Мета роботи.** Комплексно проаналізувати енергоефективність та екологічні аспекти використання дизельного пального в сучасному сільському господарстві України.

**Матеріали і методи.** Для всебічного аналізу енергоефективності та екологічних аспектів використання дизельного пального в сільському господарстві України були застосовані наступні матеріали та наукові методи дослідження. Матеріали: офіційна статистика щодо обсягів споживання пального в агропромисловому комплексі, структури витрат та показників урожайності; наукові публікації, галузеві звіти.

Методи: системний аналіз, статистичний метод, метод порівняння.

### **Результати та обговорення.**

1. Роль дизельного пального в сільському господарстві.

1.1 Основні сфери застосування.

Дизельне пальне застосовується у таких видах сільськогосподарських робіт: оранка, культивація, сівба; збирання врожаю; транспортування вантажів; обслуговування об'єктів тваринництва [3,4].

На оранці та глибокому рихленні використовують, як правило, потужні трактори класу 5 (наприклад, Case IH Quadtrac, John Deere 9R), які споживають найбільше пального. Для збирання ж зернових використовуються комбайни (Claas Lexion, New Holland CR), що потребують стабільного і якісного палива.

## 1.2 Частка дизельного пального в енергоспоживанні.

За даними Держстату України (останні доступні роки), дизельне пальне становить до 80% загального обсягу пального, спожитого в агросекторі [1]. Його популярність обумовлена потужністю двигунів внутрішнього згоряння, які забезпечують високий крутний момент і ефективність у польових умовах. Але цей показник залежить від спеціалізації господарства. Наприклад, у великих агрохолдингах, які займаються зерновими культурами, частка дизеля може сягати 90-95%, тоді як у господарствах, що спеціалізуються на овочівництві чи тваринництві, ця частка може бути нижчою [2].

## 2. Економічна ефективність.

### 2.1. Вартість дизельного пального.

Залежно від сезону та регіону України, вартість дизельного пального змінюється в межах 45...60 грн/л (дані на 2025 рік) [1]. Це значно впливає на собівартість аграрної продукції, особливо зернових. Тому що вартість пального є одним із найменш прогнозованих факторів, що значно ускладнює бізнес-планування. Наприклад, зростання цін на 10 грн/л (з 50 до 60 грн/л) може збільшити витрати на гектар на 200-250 грн, що є критичним для рентабельності.

### 2.2. Витрати пального.

Типова витрата пального на оранку становить 20–25 л/га, культивування 8-12 л/га, сівбу 5-7 л/га, збирання зернових: 10-15 л/га. Ці норми залежать від типу ґрунту, вологості, стану техніки та кваліфікації механізатора. Наприклад, використання системи GPS-навігації може зменшити витрати пального на 5-10% за рахунок мінімізації перекриттів. Таким чином, витрати на пальне можуть сягати до 20–30% загальних витрат господарства на польові роботи [5].

## 3. Екологічні наслідки.

### 3.1. Викиди CO<sub>2</sub> та інших шкідливих речовин.

Згоряння дизельного пального спричиняє викиди: вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ); сірчаного ангідриду ( $\text{SO}_2$ ), оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ); твердих частинок (сажі). Так при спалюванні 1 т дизельного пального в атмосферу викидається приблизно 3,15 т  $\text{CO}_2$ . Якщо господарство за сезон спалює 1000 т дизельного пального, воно генерує близько 3150 т  $\text{CO}_2$ . А викиди оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) є попередниками кислотних дощів та смогу та сажі, яка є канцерогеном.

Тому ці викиди не тільки погіршують якість повітря, але й сприяють зміні клімату. У сільських регіонах, де агротехніка працює поблизу житлових масивів, це створює додаткову екологічну загрозу [2,6].

### 3.2. Вплив на ґрунти та біорізноманіття.

Через витік пального або мастил можливе локальне забруднення ґрунтів, що негативно впливає на мікрофлору та родючість.

## 4. Альтернативи дизельному пальному

### 4.1. Біопаливо

Біодизель з ріпаку, сої або відходів харчової промисловості є перспективною альтернативою, однак має обмежене поширення через вартість та нестачу інфраструктури. Біопаливо може мати нижчу енергетичну щільність, а також вимагати модернізації паливної системи техніки [2].

### 4.2. Електротехніка

Застосування електротракторів та акумуляторних машин поки що обмежене невеликими господарствами або тепличним виробництвом. Наприклад, електротрактори Solectrac вже використовуються в малих господарствах. Головна їх перевага – нульові викиди під час роботи, а недоліки – висока вартість, обмежений радіус дії та тривалий час зарядки.

### 4.3. Воднева енергетика

Хоча водень вважається чистим джерелом енергії, його застосування у сільському господарстві поки що є на стадії експериментальних розробок.

**Висновки.** Дизельне пальне залишається критично важливим джерелом енергії в сільському господарстві України, забезпечуючи надійність і продуктивність технічного парку. Водночас високі економічні витрати та негативні

екологічні наслідки зумовлюють потребу в поступовому переході до енергоощадних та екологічно безпечних альтернатив.

Для досягнення сталого розвитку агросектору слід: впроваджувати енергоменеджмент на фермах, підтримувати дослідження в галузі альтернативної енергетики, стимулювати інвестиції в сучасну техніку з низьким рівнем викидів.

### Література

1. Державна служба статистики України. Енергетичне споживання аграрного сектору. URL:[https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/energ.htm](https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/energ.htm)

2. FAO (Food and Agriculture Organization). Diesel use in agriculture – Global overview. URL:<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/313b0161-6176-4a76-b505-6f6d3836b9c7/content>

3. Голубєв Р. М., Скляр О. Г. Покращення експлуатаційних показників дизельного пального шляхом модифікації його складу. Технічний прогрес в АПК: матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції, 21-22 травня 2025 р. Харків: ДБТУ, 2025. С. 218-220.

4. Bulgakov, V., Nadykto, V., Kaletnik, H. & Ivanovs, S. Field experimental investigations of performance-and-technological indicators of operation of swath windrower asymmetric machine-and-tractor aggregate. Eng. Rural Dev. 17, 227–233. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N269> (2018) .

5. Скляр О. Г., Голубєв Р. М. Поліпшення експлуатаційних властивостей дизельного пального в умовах агропідприємств. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Запоріжжя, 01- 25 листопада 2024 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. С. 32-34. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/18217>

6. Скляр О. Г., Скляр Р. В., Григоренко С. М. Особливості роботи машин для внесення рідких органічних добрив. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Запоріжжя, 01- 25 листопада 2024 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. С. 51-54. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/18222>.

## **ВПЛИВ ФОРМИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТА ЇХ КОМБІНАЦІЙ НА ЯКІСТЬ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧАМИ ЗА УМОВ ПЕРЕУЩІЛЬНЕННЯ**

**Лещенко С.**, канд. техн. наук, доцент, декан агротехнічного факультету,

e-mail: [leshchenkosm@kntu.kr.ua](mailto:leshchenkosm@kntu.kr.ua)

Центральноукраїнський національний технічний університет;

**Вступ.** Значною проблемою сучасного виробництва продукції рослинництва є переущільнення ґрунтів, що виникає внаслідок інтенсивного використання металоємкої сільськогосподарської техніки, проведення ряду робіт ерозійно небезпечними знаряддями, повної чи часткової відмови від сівозмін, різкого зменшення вмісту органіки в оброблюваному шарі ґрунту тощо. Переущільнення ґрунту негативно впливає на його фізичні властивості, за таких умов спостерігається зменшення пористості, водопроникності та аерації, що в кінцевому підсумку знижує родючість та врожайність сільськогосподарських культур. За даними вітчизняних і зарубіжних дослідників [1, 2, 4], ущільнення ґрунту на глибині 25...40 см, за інших сприятливих умов вирощування, може знижувати врожайність до 30 %.

Для усунення негативних наслідків переущільнення на етапі обробітку ґрунту реалізують різні технологічні заходи, однак основний обробіток найкраще проводити різними за конструкціями комбінованими глибокорозпушувачами, зокрема чизельними. Зазначені агрегати забезпечують глибоке розпушення ґрунту без обертання скиби, сприяють збереженню вологи та структури ґрунтового середовища, а також суттєво знижують енерговитрати на глибокий обробіток порівняно із класичними полицевими плугами.

Відомо, що визначальним фактором ефективності різних за конструкцією глибокорозпушувачів є геометрична форма основних і додаткових робочих органів (чизельних лап, долота, стояка, додаткових крил, інших активаторів, та допоміжних елементів, наприклад зубчатих, кільчастих, борончастих котків,

дискових елементів тощо) в поєднанні з їх комбінацією в межах одного ґрунтообробного агрегату. Конструктивні особливості робочих органів глибокорозпушувачів визначають характер руйнування ущільненого шару, рівномірність і глибину розпушення, енергоємність процесу та ступінь збереження агрофізичних властивостей обробленого ґрунту.

**Мета роботи.** Метою даної роботи є оцінка впливу форми робочих органів глибокорозпушувачів та комбінації цих робочих органів в межах одного агрегату на якісні показники основного обробітку за умов переущільнення.

### **Матеріали і методи.**

У працях [1, 2, 3] розглянуто науково-технічні основи обґрунтування конструкції та параметрів комбінованих чизельних агрегатів. Автори обґрунтували параметри робочих органів, що забезпечують раціональне співвідношення глибини обробітку та енергоємності процесу. Зокрема, наголошується, що застосування комбінованих схем із чизельними лапами та встановленими на стояках додатковими конструктивними елементами (наприклад, крилами) дозволяє підвищити якість обробітку ущільнених ґрунтів без значного збільшення тягового опору.

Зарубіжні дослідники, зокрема А. Godwin, R. Spoor, M. Chen [4, 5] підкреслюють, що форми поверхонь ґрунтообробних робочих органів, матеріали їх виготовлення та розміщення робочих органів в межах одного агрегату мають вирішальний вплив на механіку руйнування ґрунтового середовища. Так, вузькі чизельні лапи забезпечують локальне глибоке розпушення (у вертикальній площині), тоді як стрілчасті лапи, чи додатково встановлені на стояку крила, більш ефективні для поверхневого руйнування, розпушування оброблюваного шару або ж зрушення необроблених виступів на дні борозни, які виникають в результаті роботи чизельних лап. Дослідження М. Chen, R. Spoor [4, 5] доводять, що оптимальні результати досягаються при використанні комбінованих систем, де відбувається поєднання різних типів робочих органів.

Таким чином, актуальним завданням є пошук раціональної комбінації робочих органів чизельних глибокорозпушувачів, яка б забезпечила високу якість

обробітку ґрунту за умов його переущільнення та водночас процес основного безполицевого обробітку характеризувався зниженими енерговитратами.

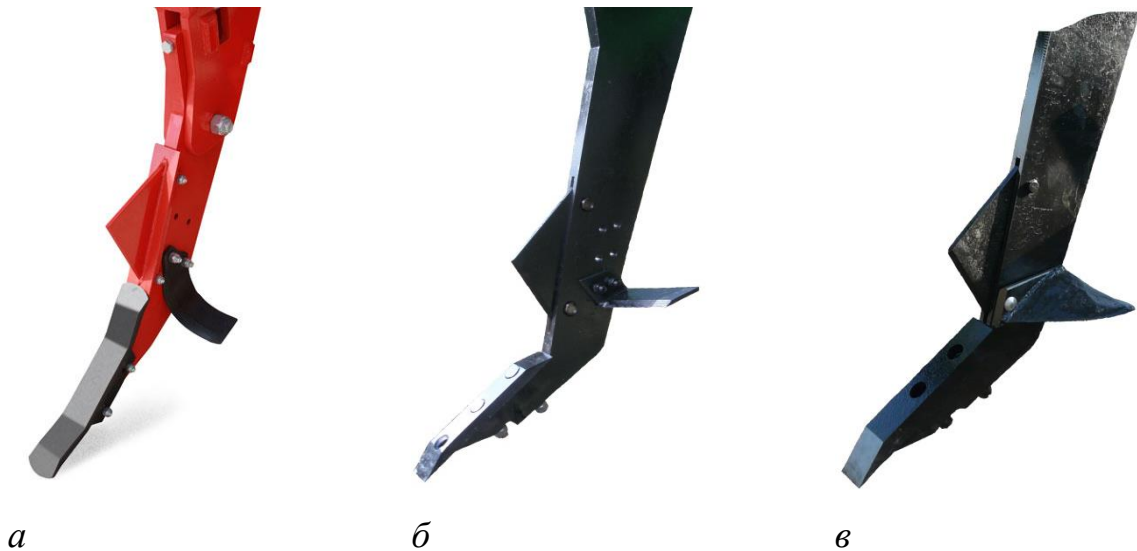
**Результати і обговорення.** Фізико-механічні основи руйнування необроблених монолітів ґрунту заключаються в тому, що процес руйнування ґрунтових шарів комбінованими робочими органами відбувається за рахунок утворення в товщі ґрунту, під час руху робочого органу на заданій глибині, системи тріщин та розривів у ґрунтовому масиві. Форми робочих органів та їх елементів і визначають характер напружено-деформованого стану ґрунту та загальний механізм його руйнування під час механічного обробітку.

Стрілчасті лапи та різні за конструкцією крила плоских форм, що встановлюються на стояках глибокорозпушувачів створюють переважно вертикальні тріщини, що сприяють покращенню водопроникності та аерації ґрунту. Долотоподібні робочі елементи ґрунтообробних робочих органів формують більш складну систему тріщин, включаючи горизонтальні та похилі деформації, що забезпечує більш повне руйнування щільних шарів.

Дослідження [1-3] підтвердили, що форма робочих органів глибокорозпушувачів суттєво впливає на енергетичні витрати при обробітку переущільнених ґрунтів, так встановлено:

- зменшення кута входження крил та стрілчастих лап з  $25^{\circ}$  до  $20^{\circ}$  знижує тяговий опір на 12...15%;
- використання опуклих форм доліт глибокорозпушувачів дозволяє зменшити питомі витрати енергії на 18...22%;
- раціональне поєднання різних типів робочих органів в межах агрегату забезпечує синергетичний ефект, знижуючи загальні енергозатрати на обробіток до 8...10%.

Згідно з дослідженнями, проведеними на полях Центральної України [2], раціональна конструкція чизельного глибокорозпушувача включає чизельні лапи з додатково встановленими вертикальними деформаторами (крилами) (рис. 1). Така конструкція працюючи в товщі ґрунту забезпечує ефективніше руйнування монолітів за рахунок створення додаткових зон деформації.



**Рисунок 1** – Чизельні лапи з додатково встановленими деформаторами (крилами):

а – чизельна лапа із серповидними крилами (Gaspardo); б – чизельна лапа із плоскими крилами (ПП «Савицький», «БМ-Системс»); в – чизельна лапа із криволінійними (опуклими) крилами

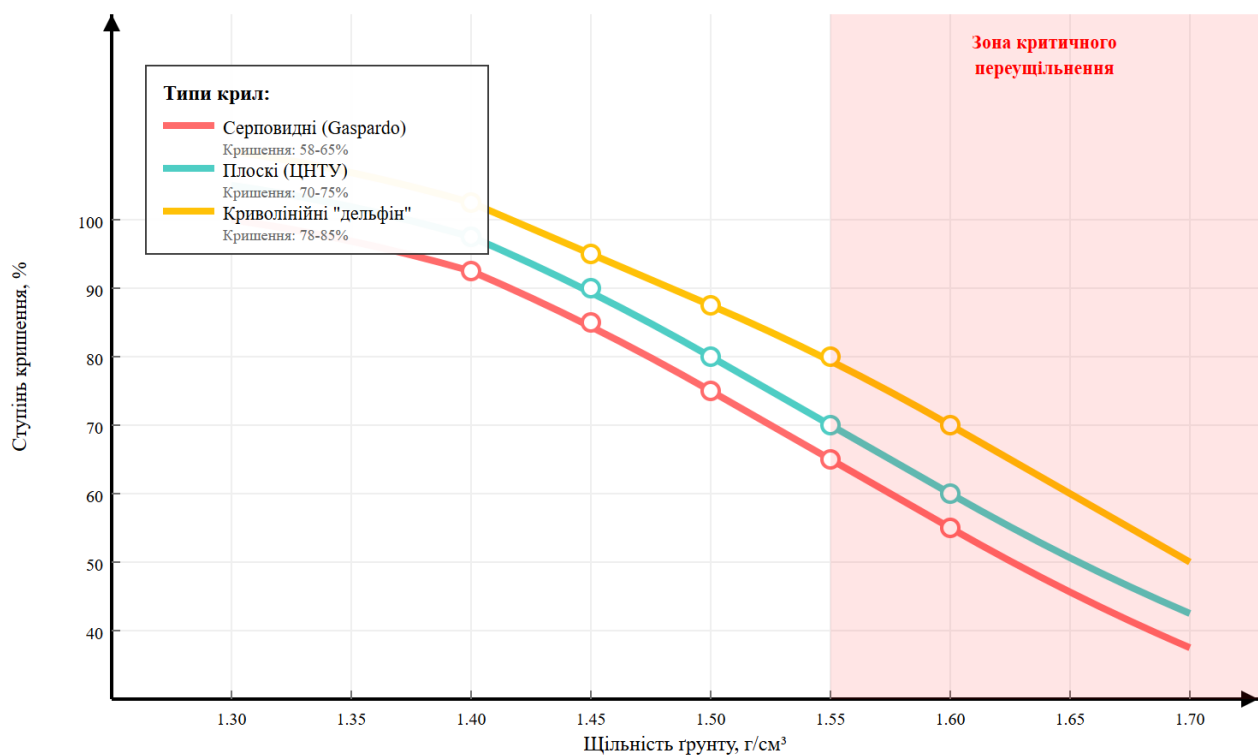
На основі аналізу сучасних конструкцій чизельних глибокорозпушувачів та досліджень [1-5] можна виділити три основні типи крил (горизонтальних деформаторів), які використовуються для підвищення ефективності обробітку переущільнених ґрунтів:

1. Серповидні крила (фірма Gaspardo) (рис. 1 а), що характеризуються серповидною формою в поперечному до напрямку руху перерізі. Такі крила забезпечують плавне підрізання та переміщення ґрунту в горизонтальній площині. За механізмом дії серповидні крила створюють плавний потік ґрунту в горизонтальній площині, що забезпечує рівномірне розпушування без різких змін напрямку деформації. Недоліком таких крил є обмежена здатність до руйнування щільних шарів ґрунту.

2. Плоскі крила (рис. 1 б) з кутом розхилу близько  $60^\circ$ , які за своїм принципом роботи в товщі ґрунту, в залежно від їх кута установки, можуть працювати подібно до стрільчастої лапи. Плоскі крила забезпечують інтенсивне кришення ґрунту за рахунок створення зустрічних потоків. Ефективні при роботі в середньо ущільнених ґрунтах.

3. Крила з криволінійною робочою поверхнею (наприклад типу «хвіст дельфіна»), форма яких запропонована В.І. Корабельським [1], характеризуються складною криволінійною формою робочої поверхні, що забезпечує оптимальний розподіл напружень в ґрунті. Завдяки складній геометрії створюють оптимальний розподіл напружень, що дозволяє ефективно руйнувати навіть сильно переущільнені шари при мінімальних енергозатратах.

Результати порівняння ефективності роботи різних типів крил, встановлених на чизельних лапах, що працюють в умовах переущільнених ґрунтів (рис. 2) наступні:



**Рисунок 2** – Порівняння ефективності роботи різних типів крил на чизельних лапах в умовах переущільнених ґрунтів

- криволінійні крила забезпечують найвищу ефективність в усьому діапазоні щільностей ґрунту;
- в зоні критичного переущільнення ( $>1.55$  г/см³) перевага криволінійних крил досягає 15-20%;
- плоскі крила показують стабільні результати в середньому діапазоні щільностей;

- серповидні крила ефективні тільки при низьких та середніх рівнях ущільнення.

### **Висновки.**

1. Встановлення крил на чизельні лапи підвищує якість розпушування переущільнених ґрунтів на 35...45% при збільшенні енергозатрат на процес не більше 12...15%.

2. Розміщення чизельних лап з крилами у 2, 3 ряди забезпечує більш рівномірний розподіл зусиль та створення суцільної зони розпушування. Для середньо переущільнених ґрунтів достатньо 2 рядів з кроком 400...500 мм, для сильно переущільнених – 3 ряди з кроком 350...400 мм.

3. Технологічні рекомендації. Для максимальної ефективності в умовах переущільнених ґрунтів рекомендується:

- використання криволінійних крил типу «хвіст дельфіна» для критично переущільнених ґрунтів ( $>1,55 \text{ г/см}^3$ );
- застосування плоских крил для середньо переущільнених ґрунтів ( $1,45...1,55 \text{ г/см}^3$ );
- серповидні крила доцільні тільки для слабо ущільнених ґрунтів ( $<1,45 \text{ г/см}^3$ );
- проведення основного безполицевого обробітку має відбуватися при вологості 18...22% та швидкості агрегату до 12 км/год.

### **Література**

1. Машина 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. – Х.: Мачулін, 2016. – 244 с.

2. Лещенко С.М. Оцінка енергоємності глибокого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами / Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 31. – Кропивницький: КНТУ, 2018 р. – С. 10–20.

3. Шевченко І.А. Теоретичне обґрунтування розміщення робочих органів глибокорозпушувача на рамі знаряддя / І.А. Шевченко, Ю.М. Лобатюк // Механізація та електрифікація сільського господарства – В. 97, Т.1. – Глеваха, 2013. – С. 168–176.

4. Zeng, Z., Ma, X., Chen, Y., & Qi, L. (2020b). Modelling residue incorporation of selected chisel ploughing tools using the discrete element method (DEM). *Soil and Tillage Research*, 197, 104505.

5. Spoor G. Fundamentals of cultivator design and performance / G. Spoor, R.J. Godwin // *Journal of Agricultural Engineering Research*. – 2019. – Vol. 43, № 2. – P. 147-165.

УДК 631.816.33

## **КОМБІНОВАНЕ ЗНАРЯДДЯ ДЛЯ ВНУТРІШНЬОГРУНТОВОГО ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ ЧИ СІВБИ**

**Жук Д.**, аспірант, e-mail: frenki4palca1994@gmail.com

**Москальченко Р.**, аспірант, e-mail: romanmoskalchenko2016@gmail.com

**Дейкун В.**, канд. техн. наук, e-mail: a.viktor.deikyn@gmail.com

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Вступ.** Урожайність сільськогосподарських культур значною мірою залежить від ефективної родючості ґрунтів і є результатом дії ряду факторів: тепла, світла, вологи, поживних речовин та деяких інших.

Однією із найбільш важливих складових, що впливають на підвищення врожайності сільськогосподарських культур є своєчасне та правильне з точки зору агротехніки внесення основної дози добрив, оскільки органічні добрива через значне зменшення поголів'я тваринництва, є недоступними. Тому розв'язання питання підживлення культурних рослин в процесі їх вегетації залишається за мінеральними добривами, які в достатній кількості присутні на аграрних ринках України.

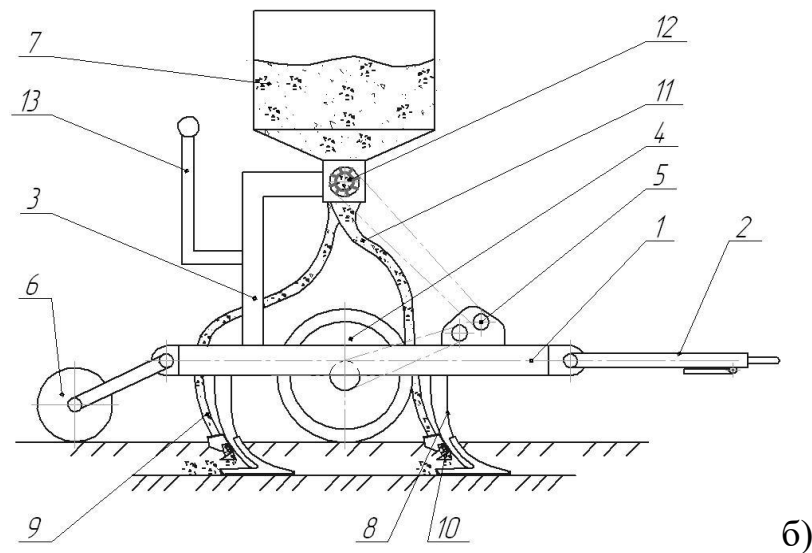
**Мета роботи.** Найбільш широкого застосування набуло внесення добрив методом поверхневого розсіювання з подальшою заробкою різноманітними ґрунтообробними знаряддями. Даний метод є досить високопродуктивним, що позитивно впливає на економічну ефективність польових робіт.

Негативною стороною методу поверхневого розсіювання є значна нерівномірність розподілення матеріалу по площі поля, яка може сягати 25-30%. Аналіз літературних джерел показує, що при подальшій заробці гранул добрив ґрунтообробними знаряддями, розсіяних поверхнево, вони нерівномірно перемішуються з ґрунтом (по закону випадкового розподілення), і значна їх частина не переміщується до місця призначення.

Локальне внесення, на наш погляд, є більш прийнятним з точки зору агротехніки вирощування сільськогосподарських культур та ефективності використання добрив, так як при такому способі не потрібна додаткова операція заробки туків у ґрунт, а також відсутні втрати добрив за рахунок вивітрювання та вимивання опадами [3, 4]. Локальний спосіб дозволяє більш продуктивно використовувати малі дози мінеральних добрив, що знижує загальні витрати та витрати часу на виконання операції підживлення рослин.

Вітчизняний та закордонний досвід ґрунтознавців [1, 2, 4] свідчить про високу ефективність застосування в землеробстві комбінованих безполицевих знарядь, які не лише дозволяють захистити ґрунт від ерозійних процесів, а також зменшують шкідливу дію сільськогосподарських агрегатів на ґрунт за рахунок зменшення числа їх проходів, знижують затрати праці та витрати паливно-мастильних матеріалів на отримання врожаю

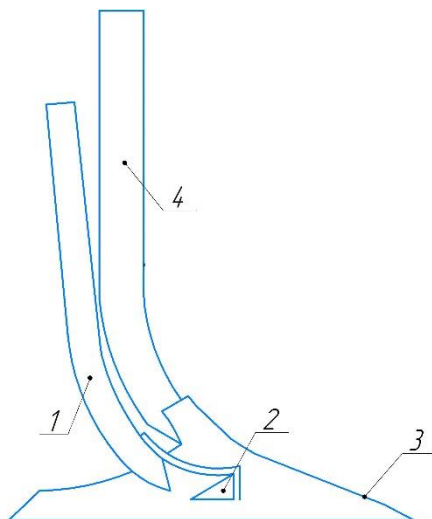
За результатами наукових досліджень та конструкторських розробок, виконаних науковцями кафедри сільськогосподарського машинобудування ЦНТУ, було розроблено конструкторську документацію, на основі якої виготовлено дослідний зразок розпушувача-удобрювача-сівалки, призначеного для внутрішньогрунтового внесення гранульованих мінеральних добрив або ж виконання суцільної сівби одночасно з безполицевим обробітком ґрунту (рис. 1), який успішно пройшов випробування на працездатність на полях приватних фермерських господарств Кропивницького району Кіровоградської області.



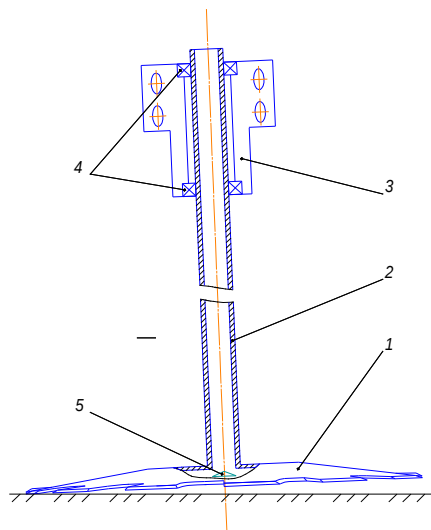
**Рисунок 1** – Загальний вигляд (а) та технологічна схема (б) агрегата для здійснення безвідвального обробітку ґрунту з одночасним внесенням мінеральних добрив чи суцільної сівби: 1 – рама; 2 – причіпний механізм;

3 – кронштейн; 4 – опорні колеса; 5 – механізм передач; 6 – прикочуючий коток; 7 - бункер 8 –робочі органи; 9 – туконапрямник; 10 – розподільник; 11 – тукопроводи; 12 – висівні апарати.

**Матеріали і методи.** В якості основного робочого органа комбінованого агрегату використовується важка культиваторна лапа, оснащена туконапрямником та розподільником оригінальної конструкції [6] (рис. 2) Також можливе застосування іншого комбінованого дискового робочого органа [7] (рис. 3).



**Рисунок 2** – Комбінований  
робочий орган 1 – туконапрямник;  
2 – розподільник;  
3 – стрільчата лапа; 4 – стійка.



**Рисунок 3** – Комбінований  
дисковий робочий орган:  
1 – диск; 2 – стояк; 3 –  
кронштейн;  
4 – підшипники; 5 – розподільник

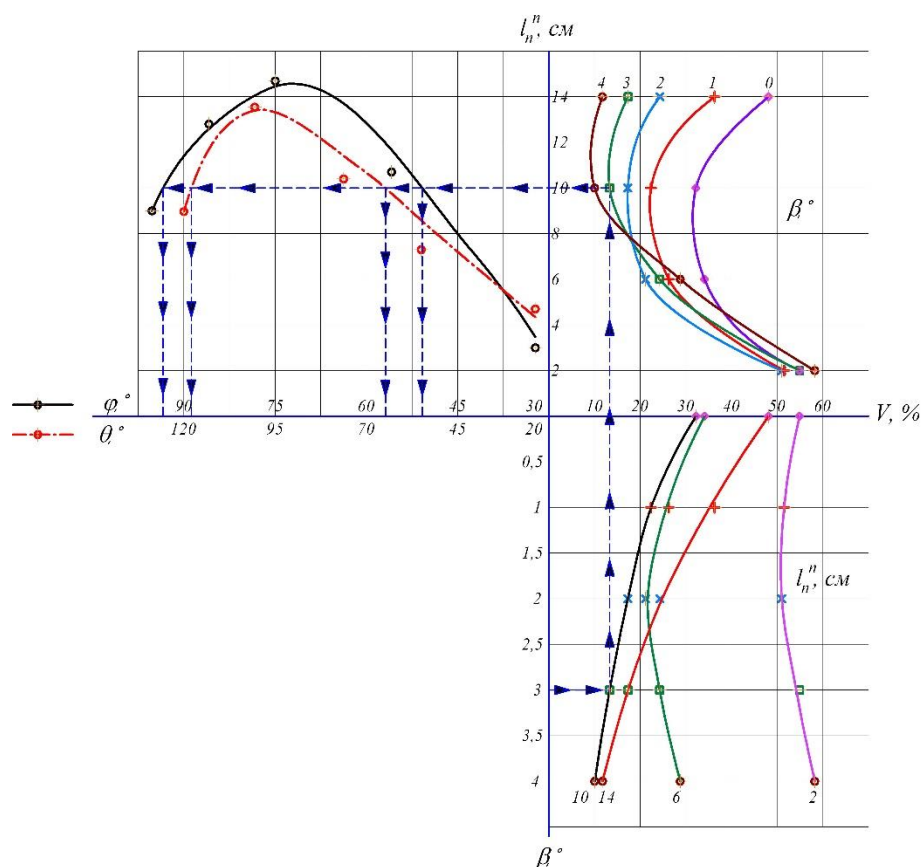
Результати польових випробувань комбінованого знаряддя підтвердили його працездатність, високу ефективність (табл. 1) та якість виконання технологічного процесу.

**Таблиця 1** – Технічна характеристика комбінованого знаряддя

| №<br>п/п | Найменування                                      | Од. вим.        | Показники            |
|----------|---------------------------------------------------|-----------------|----------------------|
| 1        | Засіб агрегування                                 |                 | Т-150К               |
| 2        | Продуктивність                                    | га/год.         | 16,8                 |
| 3        | Діапазон внесення добрив                          | кг/га           | 20÷300               |
| 4        | Ширина захвату                                    | м               | 4,0                  |
| 5        | Об'єм бункера для добрив                          | дм <sup>3</sup> | 680                  |
| 6        | Тип туковисівного апарата                         | —               | катушково-штифтовий  |
| 7        | Робоча швидкість                                  | км/год.         | 7-12                 |
| 8        | Маса машини                                       | кг              | 1360                 |
| 9        | Габаритні розміри:<br>ширина<br>висота<br>довжина | мм              | 4270<br>2050<br>3850 |
| 10       | Кількість обслуговуючого персоналу                | чол.            | 1                    |
| 11       | Витрати палива                                    | л/га            | 11,2                 |
| 12       | Глибина ходу робочих органів                      | см              | до 16                |

Так як структура та механічний склад ґрунтів в Україні значно різняться від легких та середньої важкості на Поліссі до важких та дуже важких в зоні Лісостепу та Степу, тому застосовування запропонованого робочого органа з чітко встановленими параметрами на різних типах ґрунтів є неможливим.

Робочі органи, типу стрільчата чи дискова лапа, можуть якісно виконувати технологічні процеси на легких ґрунтах при кутах входження –  $0^\circ$ ; на ґрунтах середньої важкості та важких ґрунтах –  $1-2^\circ$ ; на дуже важких –  $2,5-3,5^\circ$ . Тому, спираючись на результати теоретичних та лабораторних досліджень, рекомендовано для якісного функціонування запропонованого комбінованого робочого органа залежно від властивостей ґрунту, проводити регулювання розташованого в підлаповому просторі розподільника туків чи насіння за трьома основними параметрами згідно розробленої номограми (рис. 4), при яких якість розподілу гранул по ширині смуги в підлаповому просторі буде задовольняти агротехнічним вимогам [5].



**Рисунок 4** – Номограма визначення раціональних параметрів робочого органа із пасивним розподільником для внутрішньогрунтового внесення мінеральних добрив чи сівби.

**Результати і обговорення.** Економічна оцінка машини проведена за результатами експлуатаційно-технологічного оцінювання згідно з ГОСТ 24055, ГОСТ 24057, ГОСТ 24059, ОСТ 102.18-2001 та ДСТУ 4397:2005 та чинними нормативними документами, що відображають надійність машин, якість їх роботи, безпечність та умови праці механізаторів.

Критерієм економічного оцінювання є річний економічний ефект від експлуатації нової машини, величина якого має забезпечувати рівень ефективності інвестиційних вкладень не нижче нормативного (на етапі випробувань приймають рівним 0,2).

Показниками порівняльної економічної ефективності є річний економічний ефект, термін окупності додаткових інвестиційних вкладень у роках, річна економія ресурсів.

**Висновки.** Згідно проведених розрахунків впровадження нового комбінованого знаряддя для внутрішньогрунтового внесення гранульованих мінеральних добрив чи суцільної сівби здатне забезпечити значний економічний ефект у виробника продукції рослинництва який отримується за рахунок більш ефективного використання мінеральних добрив і як наслідок зниження на 30-40% норми їх внесення зі збереженням запланованої врожайності.

### **Література**

1. Dowell F.E. No-till drill design for atrazine treated soils / F.E. Dowell, J.B. Solie, T.F. Peeper // Trans. ASAE. St. Joseph, Mich. – 1986. – Vol. 29, X26. – P. 1554-1560.
2. Koolen A.J. Soil loosening processes in tillage. Analysis and predictability. Tillage Laboratory Agriculture University Wageningen, Netherlands, 1977.
3. Дейкун В.А. Аналіз дальності польоту часток мінеральних добрив у підлаповому просторі / В.А. Дейкун, В.М. Сало, В.В. Гончаров. Motrol // Motorizacja i energetyka rolnictwa, Lublin, 2012, Tom 14 A. – P. 177-179.
4. Дейкун В.А. Аналіз способів внесення мінеральних добрив / В.А. Дейкун, В.М. Сало, О.М. Васильковський // Наукові записки. – Вип. 5. – Кіровоград, КНТУ, 2004. – С. 12-15.

5. Дейкун В.А. Вплив конструктивних параметрів тукопровода на швидкість потоку гранул добрив / В.А. Дейкун, В.М. Сало, С.Я. Гончарова // Електронний збірник – К: Збірник праць НУБІП, 2012. – [http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2012\\_7/12svm.pdf](http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2012_7/12svm.pdf).

6. Комбінований дисковий робочий орган. Пат. 154287 Україна, А01В 13/08 (2006.01) у 2023 01449 / Дейкун В.А., Жук Д.Г., Артеменко Д.Ю. // заявл. 04.04.2023, 02.11.2023, бюл. №44/2023.

7. Робочий орган для локального внесення мінеральних добрив чи посіву. Пат. 129713 Україна, А01В 49/06 (2006.01) № u201804789 / Дейкун В.А., Сало В.М., Лещенко С.М., Полухович А.В. // заявл. 02.05.2018; 12.11.2018, бюл. №21/2018.

УДК 631.354.2.026.001.5

## **ОЦІНКА ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ НА РИНКУ ТА В ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ ЗЕРНА В УКРАЇНІ**

Халін С., канд. екон. наук, <https://orcid.org/0000-0002-7510-5056>

Гайдай Т., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0001-9141-4820>,

Занько М., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0001-8964-0706>),

Лень О., <https://orcid.org/0000-0003-0454-119X>

ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого; смт Дослідницьке

**Вступ.** На ринку України присутнє та широко використовується для виробництва теплоагенту в технологіях сушіння зерна теплогенеруюче обладнання - теплогенератори та теплогенераторні комплекси на їх базі [1-7].

Важлива роль в складі теплогенераторного комплексу відведена теплообміннику. Теплообмінники є критично важливими компонентами в різних промислових застосуваннях і потребують ефективного управління для підвищення теплових характеристик та енергоефективності [1-3].

Теплообмінник використовується для завершення процесу теплопередачі між різними речовинами/газами/повітрям без прямого змішування. У його процесах

між різними енергетичними системами важливу роль в ефективності перетворення та обміну формами енергії мають такі фактори, як тип конструкційного матеріалу, навколишнє середовище та ряд інших факторів [1].

Теплообмінники класифіковано на типи згідно їх застосування згідно теплової продуктивності та потужності. Розроблено програмне забезпечення для розрахунку і моделювання теплопередачі та його ефективності [2].

Теплообмінники сьогодні широко використовуються завдяки їхнім перевагам для промислових процесів. У більшості випадків існує поріг для максимальної робочої температури теплообмінників. Поза цим температурним рівнем потрібні спеціальні конструктивні та матеріальні аспекти. Отримані результати досліджень представляють вичерпну інформацію про різні конструкції теплообмінників, їх матеріали та теплоносії, шляхи підвищення їх ефективності, економічної доцільності та безпеки [3].

Комплектація зерносушильних комплексів твердопаливними теплогенераторами активно триває останні 10 років [4-7]. Виробничу перевірку витримує обладнання, яке узгоджене із зерновою сушаркою, працює безвідмовно протягом тривалого часу та подає планову кількість теплоагента із теплообмінника в сушарку [5]. Важливе значення для експлуатаційної характеристики теплогенеруючого обладнання має його здатність спалювати різнобічне біопаливо та виробляти при цьому проектну кількість тепла [6-7].

Не всі теплогенератори та комплекси на їх базі відповідають вимогам сьогодення, особливо – вимогам збереження екології. Їх режим спалювання біопалива також потребує вдосконалення [3-4].

Майбутні власники провадять ретельний аналіз наявного на ринку теплогенеруючого обладнання. Однак часто придбане обладнання не виправдовує надій його власників. І основна причина – неповна інформованість про всі ті особливості, які в повній мірі характеризують теплогенеруюче обладнання, дозволяють йому потрапити на ринок і зокрема – присутність на ринку в кількісному відношенні, підприємства-виробники та їх виробнича характеристика, теплова потужність, енергоефективність, паливна та економічну ефективність [7].

**Мета роботи.** Встановити стан і виконати оцінку ринку та зробити прогноз відповідності теплової потужності теплогенеруючого обладнання технологічним потребам в технологіях сушіння зерна в АПК України.

**Методи:** маркетингові дослідження, експертний аналіз, експериментальні дослідження, експлуатаційне та економічне оцінювання, стандартизовані методи.

**Результати та обговорення.** Дослідження свідчать, що теплогенеруюче обладнання в останнє десятиліття знаходить достатньо значне застосовуються в технологіях сушіння зерна і виробляється більш ніж на 30 - ти українських підприємствах. Сумарна тепла потужність теплогенеруючого обладнання всіх типів та класів знаходиться на рівні 6 ГВт. Лідирують у виробництві кілька підприємств. Вони постачають теплогенератори гібридного типу та теплогенераторні комплекси з тепловою потужністю 6-12 МВт. Таке теплогенеруюче обладнання використовується в середніх господарства в складі зерносушильних комплексів. Сумарна тепла потужність реалізованого теплогенеруючого обладнання цих підприємств-лідерів становить від 1000 до 2000 МВт. По кількості теплогенеруючого обладнання і по його потужності зазначені підприємства виробляють майже 90% від загального числа на ринку.

Теплогенератори малої потужності знаходять обмежене використання. Основні причини – наступні:

- мала тепла потужність недостатньо узгоджується з технологічною потребою в теплоагенті зерносушарок;
- теплогенератор малої теплової потужності та разом з тим – спрощеної конструкції в більшості випадків здійснює вироблення теплоагенту з присутніми продуктами горіння.

Виконані дослідження дозволи виконати зробити оцінку експлуатаційних показників – витрат на вироблення 1 Гкал тепла та питомих витрат палива для виробництва 1 Гкал тепла.

Встановлена номенклатура та технічні характеристики теплогенеруючого обладнання, наявного на ринку України, дозволяє зробити його розподіл/ранжування. За методичну основу при цьому прийнято теплову потужність, яка є

основним функціональним показником призначення і визначає його основну споживчу характеристику.

У конструкційному відношенні більшість теплогенераторів та комплексів на їх базі, що використовуються в технологіях сушіння зерна в Україні, потребують суттєвого технічного доопрацювання у питаннях:

- комплектації системами аспірації;
- збільшення енергоефективності: зменшення теплових втрат та тим самим – підвищення ККД;
- більшого використання в складі конструкції термостійких сталей та збільшення внаслідок цього терміну служби.

У використанні запитом користуються теплогенератори гібридного типу (потужність – до 8 МВт) та теплогенераторні комплекси (потужність 8-12 МВт), які в найбільшій мірі здатні забезпечити технологічну потребу зернових сушарок середньої продуктивності.

У конструкційному відношенні більшість теплогенераторів та комплексів на їх базі, що використовуються в технологіях сушіння зерна в Україні, потребують суттєвого технічного доопрацювання у питаннях:

- комплектації системами аспірації;
- збільшення енергоефективності: зменшення теплових втрат та тим самим – підвищення ККД;
- більшого використання в складі конструкції термостійких сталей та збільшення внаслідок цього терміну служби.

Розрахунки свідчать, що при урожаї зерна кукурудзи в Україні (на рівні 26,86 млн тонн, станом 2024 рік) наявне теплогенераторне обладнання здатне впродовж терміну, що трохи більше календарного місяця виконати сушіння урожаю зерна кукурудзи, самої «тяжкої» в технологічному відношенні для сушіння культури.

Значних об'ємів сушильних та теплогенеруючих робіт потребують при доведенні до «кондиції» соя (зібрано в 2024 році 6 млн 14 тис тонн) та соняшник – врожай на рівні 10 млн тонн (станом на 2024 рік). В сумі урожай становить кількість зерна, яке сушиться впродовж одного місяця, в термін, що передусь збиранню кукурудзи – кінець серпня місяця та весь вересень.

За результатами експлуатаційного оцінювання теплогенеруючого обладнання з тепловою потужністю до 6 МВт в УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого впродовж 2020-2025 років визначено основні експлуатаційно - теплоенергетичні показники. Проведено оцінювання експлуатаційних витрат на вироблення 1 Гкал тепла (\$ / Гкал) в залежності від теплової потужності теплогенератора.

У відповідності з номенклатурою та тепловою потужністю теплогенеруючого обладнання (табл. 1) зроблено його розподіл/ ранжування для ефективного використання в різних за потужністю зернових господарствах.

**Таблиця 1 – Виробники теплогенеруючого обладнання та їх продукція на ринку України (фрагмент)**

| Підприємство-виробник                                  | Теплогенератори та їх теплова потужність/ кількість реалізовано: шт x теплова потужність, МВт                                                                                                                      | Сумарна потужність, МВт |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Приватне підприємство «НВТ - ТЕХНОЛОГІЯ» (м. Чернігів) | Теплообмінники повітряні вертикальні серії «КПП»; повітряні вертикальні теплообмінники серії «КДП», теплогенераторний комплекс типу «ТПГ» - (0,25 - 6,0 МВт) / (102,5 МВт + 67,5 МВт + 1430 МВт)                   | 1600                    |
| ВПВКМП «ЛОТІРОН» (м. Вінниця)                          | Теплогенератори типу «ТГБ» – ТГБ-0,35, ТГБ-0,75, ТГБ-1,5, ТГБ-1,85 і ТГБ-3 (0,35 – 3,0 МВт) / (280 шт x 2 МВт)                                                                                                     | 560                     |
| ТДВ «Бриг» (м. Миколаїв)                               | Теплогенератори ТГС-500 і ТГС-650 (0,2 і 0,5 МВт)/(450 шт x 0,5 МВт)                                                                                                                                               | 225                     |
| ТОВ КК «Дунаєвецький ЛМЗ»                              | Біотеплогенератори: типу «ЗТД», гібридного типу «ТГД» (до 3 МВт), теплогенератори типу «ОТД» (3,0 МВт), типу «ТДД» (0,2 -2,7 МВт), типу «ТГД» (0,3 - 3,0 МВт); ТГ-1000 «Енергія - Еко» (1,0 МВт) / (50 шт x 2 МВт) | 100                     |
| ТОВ «Агро-спецмонтаж ЛТД» (м. Умань)                   | Теплогенераторний твердопаливний комплекс типу «ТГТП «AGROSM» (1,5 - 5 МВт) / (19 шт x 2,5 МВт)                                                                                                                    | 46                      |
| Компанія «Фарм Мак Україна» (м. Кропивницький)         | Теплогенератори твердопаливні типу «ТПК» (1,5-6,2 МВт)/ (10 шт x 3 МВт)                                                                                                                                            | 30                      |
| ТОВ «ТЕФФ» (м. Одеса)                                  | Пальник вихровий автоматизований ПВ (а)-3500 (1,0-15,0 МВт); теплогенератор ТГГВТ-6.0-1 (6,0 МВт), теплогенератор твердопаливний із м'яким футеруванням ТГТ-16 (16 МВт)                                            | 500                     |
| ТОВ «ТОП Енерджі» (м. Ужгород)                         | Теплогенеруюча твердопаливна установка ТГ-2,0 (2-7 МВт)/(1 шт – 7 МВт, 1 шт – 5 МВт)                                                                                                                               | 12                      |

Для ранжування теплогенераторного обладнання прийняті господарства з наступною площею: 5 - 50 га – для виробництва теплоагенту і сушіння зерна використовуються теплогенератори малої потужності (до 2 МВт), 50 - 200 га – 3-8 МВт – теплогенератори гібридного типу, 200 - 500 га – теплогенератори гібридного типу, теплова потужність – 9-15 МВт, 500 - 2000 га - необхідне застосування теплогенеруючих комплексів з тепловою потужністю 16 -20 МВт.

Критичними проблемами у високотемпературних теплообмінниках є корозія, деградація матеріалу з часом, погіршення якості та обмежений термін служби. Основними контрольними показниками, необхідними для проектування високотемпературних теплообмінників, є необхідна швидкість транспортування теплоагента та попередження його втрат. Дослідження являє собою короткий, але інформативний огляд сучасного стану справ та обговорює прогалини для кожного з цих параметрів, надаючи читачам чіткий напрямок майбутніх досліджень [3].

Необхідний аналіз нових матеріалів і конструкцій та його тестування для підтвердження можливості використання в складі конструкції. Це сприяє збільшенню продуктивності теплообмінника та покращенню його екологічності [1]. Затребуваність теплогенератора також в значній мірі визначає його енергетична ефективність – по питомим витратам біопалива та електроенергії. Енерговитрати теплогенератора постійно знаходяться в полі зору потенціальних споживачів. Вони обумовлені витратами / спалюванням при роботі теплогенератора твердого біопалива, а також використанням електроенергії для приводу наявних електродвигунів. Однак, не ці великі цифри є визначальними при енергетичній оцінці теплогенератора. Для цього використовуються інші показники – економічності: питомі витрати палива та електроенергії на виробництво 1 Гкал тепла [7].

Продуктивність теплоутворення визначає функціональну здатність теплогенератора забезпечити проектну теплову потужність і в першу чергу визначається ефективністю спалювання біопалива. У цьому процесі важливе місце по ефективності вироблення тепла належить джерелам вироблення теплоносія – топці та системі автоматики, яка керує процесом спалювання в топці. Адже саме вони забезпечують умови і режими спалювання палива та продуктивність

утворення горючих газів, а разом з ними – теплоагенту. На продуктивність теплоутворення мають також вплив і інші фактори, до яких першочергово слід віднести видовий склад та вологість біопалива, погодні умови – температура повітря оточуючого середовища, сила / швидкість вітру в даній місцевості в період роботи теплогенератора. В залежності від зазначених факторів один і той же вид біопалива може мати різючі енергетичні відмінності [4-6].

**Висновки.** За результатами виконаних досліджень зроблено наступні висновки:

1. Ринок теплогенеруючого обладнання, що призначено для використання у технологіях сушіння зерна України, сформовано продукцією більш ніж тридцяти вітчизняних підприємств-виробників.

2. Сумарна теплова потужність теплогенеруючого обладнання, що використовується в Україні, становить близько 6 ГВт. Його достатньо, щоб після збору урожаю, в осінній час, фактично протягом одного календарного місяця, здійснити сушіння всього щорічного урожаю зерна /насіння сої, гречки та соняшника та в послідууючому, впродовж фактично 1 календарного місяця, всього щорічного урожаю кукурудзи (зі зйомом вологи з 24 до 14 %).

3. Лідерами ринку та у використанні є теплогенеруюче обладнання фактично кількох підприємств - лідерів. Його теплова потужність становить 5200 МВт (або це 93 % від сумарної потужності);

4. Основу парку теплогенеруючого обладнання, що знаходиться у використанні в Україні, становлять теплогенератори гібридного типу та теплогенераторні комплекси потужністю 3-12 МВт. В експлуатації домінує теплогенеруюче обладнання середнього (3-9 МВт) та високого (10-15 МВт) класу теплової потужності.

5. Встановлено, що при збільшенні теплової потужності теплогенератора /комплексу, потужністю від 0,5 до 4 МВт, прямі експлуатаційні витрати на вироблення 1 Гкал тепла зростають від 6 до 22 \$ /Гкал.

6. Теплогенеруюче обладнання ринку, диференційоване на класи згідно теплової потужності (низький – теплова потужність до 2 МВт, середній – (3-9) МВт,

високий – (10-15) МВт, надвисокий – (16-20) МВт) ранжоване для використання в господарствах різної виробничої потужності.

### Література

1. Alrwashdeh, S. S., Ammari, H., Madanat, M. A., & Al-Falahat, A. A. M. (2022). The effect of heat exchanger design on heat transfer rate and temperature distribution. *Emerging Science Journal*, 6(1), 128-137. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2022-06-01-010>
2. Edreis, E., & Petrov, A. (2020, November). Types of heat exchangers in industry, their advantages and disadvantages, and the study of their parameters. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 963, No. 1, p. 012027). IOP Publishing. DOI:10.1088/1757-899X/963/1/012027
3. Mahmoudinezhad, S., Sadi, M., Ghiasirad, H., & Arabkoohsar, A. (2023). A comprehensive review on the current technologies and recent developments in high-temperature heat exchangers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 183, 113467. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113467>
4. Гайдай, Т., Халін, С., Занько, М. (2024). Державні приймальні випробування теплогенератора «ТБ-2»: достовірність та об'єктивність оцінки. *AgroTestMachinery*. № 4 (1). С. 19-27.
5. Занько, М. (2021). Універсально та функціонально. «ЗЕРНО», №10.
6. Халін, С., Гайдай, Т., Занько, М. (2025). Сучасне сушіння зерна: інноваційний теплогенераторний комплекс «ТПГ» змінює правила гри в українському АПК. *AgroTest Machinery*. – 2025. – № 2(3). – С. 24-26.
7. Халін, С., Занько, М., Гайдай, Т. (2024) Повітряні теплообмінники серії «КДП»: спалювання дров і вироблення теплоагента для зернової сушарки у процесі сушіння зерна кукурудзи. «ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ АПК». № 3. С. 29-35.

## COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) NO 1322/2014: ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ТА ГАРМОНІЗАЦІЯ БЕЗПЕКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ І ЛІСОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

**Коробко А.**, д-р техн. наук, доц., <sup>1</sup>провідний науковий співробітник, <sup>2</sup>професор  
e-mail: [ak82andrey@gmail.com](mailto:ak82andrey@gmail.com),

<sup>1</sup>Харківська філія ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Вступ.** Європейський Союз (ЄС) упродовж багатьох років послідовно розробляє систему гармонізованих технічних вимог до транспортних засобів. Одним із ключових напрямів є підвищення рівня безпеки та екологічності сільськогосподарської та лісової техніки. З огляду на специфіку використання тракторів, причепів та змінного обладнання, виникла потреба в уніфікації правил, які б забезпечували однакові стандарти для всіх держав-членів.

У цьому контексті був ухвалений Commission Delegated Regulation (EU) № 1322/2014 від 19 вересня 2014 року [1] (далі – Регламент). Він є делегованим актом до Regulation (EU) № 167/2013 [2] і встановлює технічні вимоги, процедури випробувань та правила типового схвалення (type-approval) для тракторів, причепів й змінного обладнання. Регламент набрав чинності 1 січня 2016 року та став обов’язковим для виконання у всіх країнах ЄС.

**Мета роботи:** дослідження вимог основних положень до конструкції транспортного засобу та загальних вимог для затвердження типу сільськогосподарських і лісогосподарських транспортних засобів, вимог для виробників і постачальників сільськогосподарських і лісогосподарських тракторів, причепів та змінних причіпних машин та їхніх систем, складових частин та окремих технічних вузлів.

**Матеріали та методи.** Дослідження направлене на виконання робіт з приведення національного технічного законодавства у сфері оцінки відповідності, введення в обіг, надання на ринку чи введення в експлуатацію

сільськогосподарських та лісогосподарських транспортних засобів у відповідність до європейського технічного законодавства, зокрема стосовно вимог до конструкції транспортного засобу та загальних вимог для затвердження типу сільськогосподарських і лісогосподарських транспортних засобів.

### **Результати та обговорення.**

*Загальні цілі та значення Регламенту.* Метою прийняття акта стало:

- створення єдиної системи вимог до конструкції та безпеки сільськогосподарських й лісових машин;
- зниження ризику травматизму серед операторів й працівників, які контактують із технікою;
- гармонізація європейських правил із міжнародними стандартами UNECE та OECD;
- усунення технічних бар'єрів у торгівлі та спрощення виходу продукції на ринок Європейського союзу (ЄС).

Таким чином, Регламент виконує подвійну роль: він підвищує рівень безпеки користувачів та одночасно сприяє економічній інтеграції у сфері виробництва сільськогосподарської техніки.

*Сфера застосування Регламенту.* Регламент поширюється на такі категорії машин:

- трактори колісні (Т) та гусеничні (С);
- причепа (R) для сільського господарства та лісівництва;
- змінне буксирне обладнання (S).

Окрему увагу приділено спеціалізованим машинам (вузькоколіїм, широким, гусеничним), для яких допускається застосування національних вимог окремої країни, якщо це не суперечить основним принципам безпеки ЄС.

*Основні технічні вимоги Регламенту.* Регламент детально описує технічні параметри, яким мають відповідати машини. Найважливіші з них наступні.

Захисні конструкції:

- ROPS – конструкції, що запобігають травмам під час перекидання трактора. Передбачено як динамічні, так і статичні випробування;
- FOPS – системи, що захищають водія від падіння предметів;

Робоче місце оператора:

- вимоги до ергономіки кабіни;
- доступність органів керування;
- захист від шуму та вібрацій;
- правила встановлення пасажирських сидінь.

Загальні параметри безпеки:

- системи освітлення та сигналізації;
- гальмівні системи та шини;
- ремені безпеки й вимикачі аварійного живлення;
- екологічні норми (викиди, використання матеріалів).

*Визнання міжнародних стандартів.* Важливим нововведенням стало взаємне визнання результатів випробувань за кодами OECD та вимогами UNECE. Це дозволяє уникати дублювання процедур сертифікації, зменшує витрати виробників і сприяє виходу європейської техніки на глобальні ринки.

*Процедури типового схвалення (Type-Approval).* Виробники зобов'язані:

- доводити відповідність продукції шляхом фізичних або віртуальних випробувань;
- гарантувати відповідність серійного виробництва заявленим параметрам;
- надавати інформацію для ремонту та обслуговування;
- співпрацювати з технічними службами, які здійснюють оцінку.

Регламент також дозволяє самотестування, але лише в умовах, коли це прямо передбачено додатками, і за умови контролю компетентних органів.

*Значення для держав-членів та виробників.* Прийняття Регламенту має низку наслідків:

- держави-члени більше не можуть відмовити у національному схваленні техніки, яка відповідає вимогам 1322/2014;
- виробники отримують прозорі правила виходу на ринок;
- фермери та оператори користуються більш безпечними й надійними машинами;
- спрощується інтеграція з міжнародними ринками завдяки UNECE та OECD.

**Висновки.** Розробка й запровадження Commission Delegated Regulation (EU) No 1322/2014 є важливим кроком у розвитку правової бази ЄС у сфері сільськогосподарської та лісової техніки. Він забезпечує уніфіковані стандарти безпеки, гармонізацію з міжнародними нормами, підвищення захисту працівників, сприяння розвитку внутрішнього ринку ЄС.

Регламент не лише встановив чіткі технічні рамки для виробників, але й зробив вагомий внесок у підвищення безпеки праці в аграрному секторі. Його застосування дозволяє поєднати економічні інтереси з пріоритетом охорони життя та здоров'я людини.

### **Література**

1. Commission Delegated Regulation (EU) № 1322/2014 of 19 September 2014 supplementing and amending Regulation (EU) № 167/2013 of the European Parliament and of the Council with regard to vehicle construction and general requirements for the approval of agricultural and forestry vehicles. URL: <http://eur-lex.europa.eu>.

2. Regulation (EU) No 167/2013 of the European Parliament and of the Council of 5 February 2013 on the approval and market surveillance of agricultural and forestry vehicles. URL: <http://eur-lex.europa.eu>.

**COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2018/985:  
ЕКОЛОГІЧНІ ВИМОГИ ТА СИЛОВІ УСТАНОВКИ ДЛЯ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ І ЛІСОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

**Коробко А.**, д-р техн. наук, доц., <sup>1</sup>провідний науковий співробітник, <sup>2</sup>професор  
e-mail: [ak82andrey@gmail.com](mailto:ak82andrey@gmail.com),

<sup>1</sup>Харківська філія ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Вступ.** У Європейському Союзі одним із ключових напрямів розвитку правового регулювання у сфері транспорту є встановлення уніфікованих стандартів безпеки та екологічних вимог. Особливу увагу приділяють сільськогосподарській і лісовій техніці, адже такі машини експлуатуються в інтенсивних умовах та мають значний вплив на довкілля.

Прийнятий 12 лютого 2018 року Commission Delegated Regulation (EU) 2018/985 [1] (далі – Регламент) є делегованим актом до Regulation (EU) No 167/2013 [2]. Його мета – встановлення екологічних вимог та правил оцінки силових установок для сільськогосподарських і лісових транспортних засобів, з урахуванням положень Regulation (EU) 2016/1628 (так званого «Stage V» щодо викидів для нерейкового рухомого обладнання).

Цей документ замінив попередній Delegated Regulation (EU) 2015/96, що втратив актуальність у зв'язку з посиленням європейських екологічних стандартів.

**Мета роботи:** дослідження вимог до охорони навколишнього середовища та експлуатаційних характеристик двигунів сільськогосподарських і лісогосподарських транспортних засобів.

**Матеріали та методи.** Дослідження направлене на виконання робіт з приведення національного технічного законодавства у сфері оцінки відповідності, введення в обіг, надання на ринку чи введення в експлуатацію сільськогосподарських та лісогосподарських транспортних засобів у відповідність до європейського технічного законодавства, зокрема стосовно вимог до охорони

навколишнього середовища сільськогосподарських і лісгосподарських транспортних засобів.

### **Результати та обговорення.**

*Мета та завдання Регламенту.* Основними цілями прийняття Регламенту 2018/985 є:

- забезпечення єдиних екологічних норм для всіх держав-членів ЄС у сфері сільськогосподарської техніки;
- узгодження правил із загальноєвропейськими вимогами для двигунів нерейкового обладнання (Stage V);
- зменшення шкідливих викидів у довкілля від використання тракторів, причепів та іншої спеціалізованої техніки;
- створення прозорої системи типового схвалення (type-approval) для виробників;
- скасування попередніх норм, які втратили ефективність, зокрема Delegated Regulation (EU) 2015/96.

Таким чином, Регламент виконує подвійну функцію: охорона довкілля та спрощення умов виходу продукції на внутрішній і міжнародний ринок.

*Законодавча основа.* Делегований Регламент прийнято на підставі статей 19(6), 20(8), 28(6) і 53(12) Regulation (EU) No 167/2013 [2].

Він безпосередньо пов'язаний із Regulation (EU) 2016/1628, який визначає вимоги до викидів для двигунів, що встановлюються на нерейкові машини (зокрема будівельні, промислові й аграрні). Завдяки цьому відбувається інтеграція норм для різних видів техніки, що забезпечує єдиний екологічний підхід на ринку ЄС.

*Основні положення Регламенту. Адаптація вимог до агротехніки.*

У тексті 2016/1628 замінено терміни: «non-road mobile machinery» → «agricultural and forestry vehicle», а «OEM» → «vehicle manufacturer». Це означає, що екологічні вимоги, які раніше стосувалися загального нерейкового обладнання, тепер офіційно застосовуються і до тракторів та іншої агротехніки.

*Технічні умови.* Двигуни повинні відповідати критеріям Stage V, що передбачають істотне зниження рівня викидів твердих частинок, оксидів азоту та вуглеводнів. Виробники зобов'язані забезпечити відповідність силових установок

не лише на момент сертифікації, а й протягом усього строку експлуатації. Передбачені механізми випробувань, перевірок та моніторингу, які здійснюють технічні служби.

*Скасування попередніх норм.* Delegated Regulation (EU) 2015/96 втратив чинність, оскільки його вимоги не відповідали новим екологічним стандартам. Таким чином, 2018/985 став основним нормативним документом для регулювання екологічних аспектів у сфері сільськогосподарських транспортних засобів.

Значення для виробників і держав-членів. Для виробників:

- встановлено чіткі та єдині правила сертифікації, що дозволяє спростити вихід на ринок ЄС;
- гармонізація із міжнародними стандартами сприяє експорту продукції та зниженню витрат на подвійні сертифікаційні процедури;
- підвищені вимоги стимулюють розвиток інноваційних технологій двигунобудування.

Для держав-членів ЄС:

- зменшення рівня шкідливих викидів сприяє покращенню екологічної ситуації;
- виключається можливість відмови у національному схваленні техніки, що відповідає 2018/985;
- зростає довіра фермерів та споживачів до техніки, яка пройшла єдину процедуру перевірки.

Пропозиції щодо термінів запровадження означених вимог в Україні представлено в таблиці 1.

**Таблиця 1 – Пропозиції щодо термінів запровадження в Україні норм викидів забруднювальних речовин**

| Рівень норм викидів Stage | Категорія двигуна  | Діапазон потужності, кВт | Запровадження рівня норм викидів в Україні |                  |
|---------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------------------|------------------|
| Stage IIIB                | L                  | $130 \leq P \leq 560$    | 01.01 2030                                 |                  |
|                           | M                  | $75 \leq P < 130$        | 01.01 2030                                 |                  |
|                           | N                  | $56 \leq P < 75$         | 01.01 2031                                 |                  |
|                           | P                  | $37 \leq P < 56$         | 01.01 2032                                 |                  |
| Stage IV                  | Q                  | $130 \leq P \leq 560$    | 01.01.2035                                 |                  |
|                           | R                  | $75 \leq P < 130$        | 01.01.2035                                 |                  |
|                           |                    |                          | Затвердження типу двигунів                 | Надання на ринку |
| Stage V                   | NRE-v-7<br>NRE-c-7 | $P > 560$                | 01.01.2039                                 | 01.01.2040       |
|                           | NRE-v-6<br>NRE-c-6 | $130 \leq P \leq 560$    | 01.01.2039                                 | 01.01.2040       |
|                           | NRE-v-5<br>NRE-c-5 | $56 \leq P < 130$        | 01.01.2040                                 | 01.01.2041       |
|                           | NRE-v-4<br>NRE-c-4 | $37 \leq P < 56$         | 01.01.2040                                 | 01.01.2041       |
|                           | NRE-v-3<br>NRE-c-3 | $19 \leq P < 37$         | 01.01.2039                                 | 01.01.2040       |

**Висновки.** Commission Delegated Regulation (EU) 2018/985 став важливим кроком у вдосконаленні європейського законодавства у сфері агротехніки. Його значення полягає у:

- переході до нових екологічних стандартів (Stage V);
- гармонізації правил для всіх держав-членів;
- забезпеченні більшої прозорості та спрощенні виходу на ринок;
- стимулюванні інновацій і розвитку більш екологічних силових установок.

Завдяки цьому Регламенту Європейський Союз демонструє прихильність до збалансованого розвитку, де економічна ефективність поєднується з охороною довкілля та безпекою громадян.

Впровадження Commission Delegated Regulation (EU) 2018/985 в Україні може зіткнутися з технічними та економічними труднощами, особливо для малих

виробників. Крім того, виникає необхідність модернізації інфраструктури для обслуговування нових систем очищення газів, що також вимагає додаткових ресурсів.

Для завершення дослідження необхідно оцінити реальні витрати і вигоди для виробників, користувачів та суспільства в цілому, розробити рекомендації для вдосконалення регуляторної бази та підтримки галузі в умовах адаптації.

### **Література**

1. Commission Delegated Regulation (EU) 2018/985 of 12 February 2018 supplementing Regulation (EU) № 167/2013 of the European Parliament and of the Council as regards environmental and propulsion unit performance requirements for agricultural and forestry vehicles and their engines and repealing Commission Delegated Regulation (EU) 2015/96.

2. Regulation (EU) No 167/2013 of the European Parliament and of the Council of 5 February 2013 on the approval and market surveillance of agricultural and forestry vehicles.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТРАКТОРА У ЗМІННИХ ПАРАМЕТРАХ СТАНУ

**Лебедєв А.**, д-р техн. наук, проф., e-mail: [tiaxntusg@gmail.com](mailto:tiaxntusg@gmail.com),

Сумський національний аграрний університет;

**Лебедєв С.**, канд. техн. наук, директор, e-mail: [hfukrndipvt@gmail.com](mailto:hfukrndipvt@gmail.com),

Харківська філія ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

**Коробко А.**, д-р техн. наук, доц., провідний науковий співробітник,  
e-mail: [ak82andrey@gmail.com](mailto:ak82andrey@gmail.com),

Харківська філія ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

**Войновский В.**, e-mail: [vladimir.voinovs@ukr.net](mailto:vladimir.voinovs@ukr.net),

ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

**Вступ.** Працездатність – стан трактора при якому значення всіх параметрів, що характеризують його здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної документації (НТД) [1, 2]. У зв'язку з цим обґрунтування методів оцінки працездатності тракторів дозволить підвищити ефективність їх роботи під час експлуатації.

**Мета роботи:** обґрунтування методології оцінки працездатності трактора при змінних параметрах стану.

**Матеріали та методи.** Методологічна база дослідження ґрунтується на узагальненні та аналізі наукових даних щодо працездатності тракторів і прогнозування їхнього залишкового ресурсу. Для формулювання наукової проблеми, визначення мети та постановки завдань дослідження було застосовано аналітичний підхід і метод порівняльного аналізу. При створенні емпіричних моделей використано основні принципи оцінки працездатності тракторів.

**Результати та обговорення.** Стан трактора в момент часу  $t_0$  визначається як мінімальний набір відомостей про його роботу, які разом із вхідною функцією  $U(t)$ , заданою на певному часовому інтервалі, забезпечують можливість однозначного визначення вихідної функції  $y(t)$  для цього інтервалу. Для опису стану трактора

використовується система змінних  $x_1(t), x_2(t), x_3(t), \dots, x_n(t)$ . Знання їхніх початкових значень  $x_1(0), x_2(0), x_3(0), \dots, x_n(0)$ , а також вхідної дії  $U(t)$  дозволяє визначити подальший розвиток динаміки системи. Такі змінні  $U(t)$  прийнято називати змінними стану [3].

З метою оцінки працездатності трактора в умовах зміни параметрів стану у Харківській філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого було проведено випробування трактора ХТЗ-17221 під час виконання одного з найбільш енергоємних технологічних процесів – глибокого обробітку ґрунту [4].

На зміну стану трактора у складі ґрунтообробного агрегату ХТЗ-17221 + ГРУ-2,5 основний вплив надає швидкість оптимальна за продуктивністю ( $v_w$ ). Вважаючи, що у продовж зміни складу агрегату ( $B_p = \text{const}$ ), можна вважати, що на тракторний агрегат як об'єкт оптимізації за продуктивністю впливають дві змінні: швидкість агрегату  $v$ , час  $t$ .

Для даного випадку функціонал оптимізації  $v_w$  записується у вигляді:

$$J = \int_{t_0}^t W_{em}(v; t) dt, \quad (1)$$

де  $W_{em} = 0,1Bv \cdot T_p$ ;  $T_p$  – чистий робочий час за зміну, год.

Рішення даного функціонала зручно методами варіаційного обчислення [5], перетворивши його у рівняння Ейлера:

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial W_{em}}{\partial v} = 0, \quad (2)$$

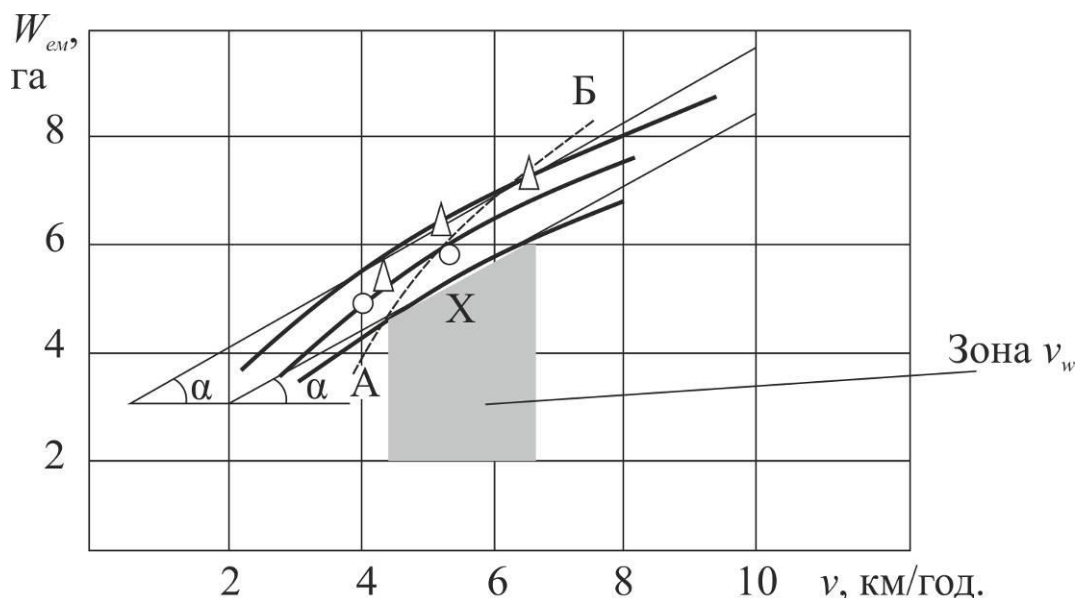
Із (2) отримаємо умову вибору оптимальної по продуктивності швидкості тракторного агрегату (критерій оптимальності):

$$\frac{\partial W_{em}}{\partial v} = tg\alpha = C_w, \quad (3)$$

де  $\alpha$  – кут нахилу дотичної до  $W_{em} = f(v)$ ;

$C_w = \text{const}$  – коефіцієнт оптимальності продуктивності агрегату.

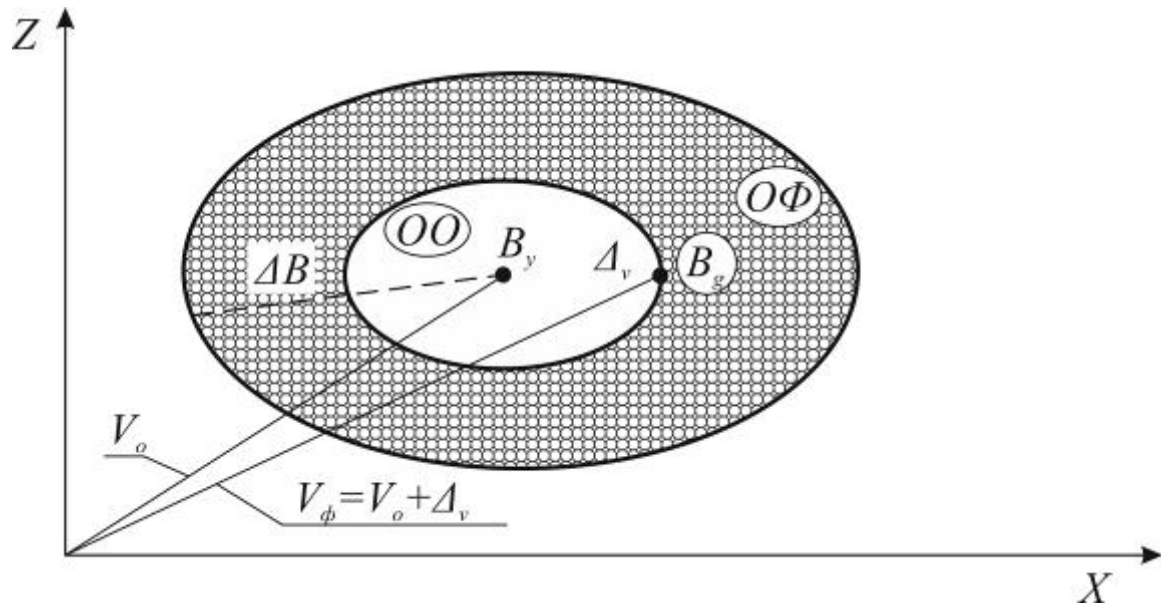
Отже, виробіток тракторного агрегату за зміну буде найбільшим, якщо швидкість агрегату обрана з умови збереження постійного відношення прирощення продуктивності агрегату до прирощення швидкості (рис. 1).



**Рисунок 1** – Експериментальні залежності змінного ( 5 годин) виробітку  $W_{ем}$  трактора ХТЗ-17221 при агрегуванні з глибокорозпушувачем ГРУ-2,5 від швидкості руху  $v$  при розпушуванні стерні озимої пшениці на глибину:  
 $\Delta... \Delta$  – 20-22 см;  $O...O$  – 25-27 см;  $X...X$  – 27-30 см

Аналіз виробітку агрегату ХТЗ-17221 + ГРУ-2,5 показує, що зона оптимальних швидкостей  $v_w$  по продуктивності в залежності від глибини обробітку знаходяться у межах 4,5-6,5 км/год., причому нижня межа відноситься до більших глибин обробітку, верхній – менших. Зі зміною глибини обробітку ґрунту оптимальна швидкість  $v_w$  визначається перетинанням кривої АБ, для якої критерій оптимальності  $C_w$  має постійне значення, з кривою виробітку агрегату за зміну.

При експлуатації трактора на транспортних роботах вирішується завдання забезпечення його функціонування в одній з двох областей:  $ОФ$  – область функціонування, в якій трактор працює відповідно до призначення (забезпечується необхідне тягове зусилля, стійкість напрямку руху та ефективність гальмування тощо);  $ОО$  – область оптимальної роботи, наприклад за критерієм енергозбереження, в якій трактор працює при допустимій зміні швидкості руху (зміна прискорення руху в допустимих межах) (рис. 2).



**Рисунок 2** – Співвідношення областей оптимальної роботи (*ОО*) та функціонування (*ОФ*) трактора:

$\Delta_v$  – запас оптимального функціонування;  $V_o$ ,  $V_\phi$  – вектора функціонування оптимальний, фактичний;  $\Delta B$  – запас функціонування в *ОФ*

Кожна точка *ОФ* характеризує певний режим роботи трактора в даний момент часу і описується певним поєднанням значень функціональних параметрів, які характеризуються швидкістю руху  $v(t)$ , стійкістю напрямку руху  $y_n(t)$  і ефективністю гальмування  $y_z(t)$ . Відхилення точки  $B_g$  від точки  $B_y$  відображує запас оптимального функціонування  $\Delta_v$  трактора, який визначається за формулами:

$$\Delta B_z = \frac{Z_{jk} - Z_{jn}}{Z_{jn}} = \frac{\Delta Z_j}{\Delta Z_{jn}}; \Delta B_x = \frac{X_{ik} - X_{in}}{X_{in}} = \frac{\Delta X_i}{\Delta X_{in}}, \quad (4)$$

де  $Z_{jk}, Z_{jn}$ ;  $X_{ik}, X_{in}$  – критичні значення досліджуваного і граничного параметрів за координатами  $X, Z$ ;

$\Delta Z_j, \Delta X_i$  – запас оптимального функціонування трактора за координатами  $Z$  і  $X$  при відхиленнях їх від номінальних значень на величини  $\Delta Z_{jn}$  і  $\Delta X_{in}$ .

**Висновки.** Методологічною основою роботи є узагальнення та аналіз наукових результатів відносно працездатності трактора та прогнозування його залишкового ресурсу. При цьому виробіток тракторного агрегату буде найбільшим, якщо швидкість агрегату обрана з умови збереження постійного відношення прирощення

продуктивності агрегату до прирощення швидкості. Тракторний агрегат буде працездатним, тобто виконувати задані функції, якщо його технічний стан забезпечує зміна координат швидкості і напрямку руху та глибини ходу робочого органу ґрунтообробного сільгоспзнаряддя в межах, обумовлених нормативно-технічною документацією. При цьому працездатні всі системи, що входять в трактор, а при непрацездатності хоч би однієї системи – трактор не працездатний.

Складовою частиною працездатності трактора є його експлуатаційна технологічність, що визначається організацією та якістю проведення технічного обслуговування і ремонтів, кваліфікацією та компетентністю штату виконавців, організацією зберігання тракторів тощо.

### **Література**

1. Гуцаленко О.В., & П'ясецький А.А. (2016). Техніко-експлуатаційні характеристики сільськогосподарських тракторів іноземного виробництва. Довідник для фахівців з механізації сільського господарства та студентів вищих аграрних закладів. Вінниця : ВНАУ. 104 с
2. Endrenyi J. (2011). The Present Status of Maintenance Strategies and the Impact of Maintenance on Reliability. A Report of the Probability Application Subcommittee. IEEE Transactions on Power Systems. Vol. 16. 4. 638–646.
3. Douglas A. Lawrence, & Robert L. Williams. (2007). Linear State-Space Control Systems. . New York: John Wiley and Sons Ltd. 480 p.
4. Лебедєв С., & Лебедєв А. (2021) Технологічна адаптація тракторів загального призначення. Техніка і технології АПК. № 4 (121). С. 17-21.
5. Моклячук М. П. (2009). Варіаційне числення. Екстремальні задачі. Підручник. К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». 380 с.

**COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2015/68:  
ГАЛЬМІВНІ ВИМОГИ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ  
І ЛІСОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

**Коробко А.**, д-р техн. наук, доц., <sup>1</sup>провідний науковий співробітник, <sup>2</sup>професор  
e-mail: [ak82andrey@gmail.com](mailto:ak82andrey@gmail.com),

<sup>1</sup>Харківська філія ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Вступ.** Європейський Союз упродовж останніх десятиліть послідовно працює над створенням гармонізованої системи вимог до технічного стану сільськогосподарських і лісових транспортних засобів. Одним із ключових аспектів є безпека гальмівних систем, адже від їхньої ефективності напряду залежить життя та здоров'я операторів і учасників дорожнього руху.

У цьому контексті був прийнятий Commission Delegated Regulation (EU) 2015/68 від 15 жовтня 2014 року [1] (далі – Регламент), який є делегованим актом до Regulation (EU) № 167/2013 [2]. Його завданням стало встановлення уніфікованих вимог до гальмівних систем, компонентів і процедур типового схвалення (type-approval) для тракторів, причепів і змінного обладнання.

**Мета роботи:** дослідження основних положень вимог до гальмівної системи транспортного засобу для затвердження типу сільськогосподарських і лісгосподарських транспортних засобів.

**Матеріали та методи.** Дослідження направлене на виконання робіт з приведення національного технічного законодавства у сфері оцінки відповідності, введення в обіг, надання на ринку чи введення в експлуатацію сільськогосподарських та лісгосподарських транспортних засобів у відповідність до європейського технічного законодавства, зокрема стосовно вимог до гальмівних систем сільськогосподарських і лісгосподарських транспортних засобів.

## **Результати та обговорення.**

*Мета та завдання Регламенту.* Прийняття Регламенту 2015/68 переслідувало кілька ключових цілей:

- створення єдиної нормативної бази для перевірки й схвалення гальмівних систем у сільськогосподарській техніці;
- врахування сучасних технологій (гідростатичні приводи, ABS, EBS, інерційні системи);
- поступова відмова від застарілих рішень, зокрема однопровідних гідравлічних гальмівних систем;
- узгодження вимог із міжнародними стандартами, зокрема UNECE Regulation № 13.

Таким чином, Регламент підвищив рівень безпеки і водночас зменшив технічні бар'єри в торгівлі.

*Сфера застосування.* Регламент поширюється на всі сільськогосподарські та лісові транспортні засоби, а також на їхні системи, компоненти та окремі технічні вузли. Це включає:

- трактори колісні та гусеничні (категорії T і C);
- причепа та змінне обладнання, що буксирується;
- системи гальмування, включаючи робочі, стоянкові та аварійні.

Таким чином, Регламент охоплює весь спектр техніки, яка може бути використана в аграрному секторі ЄС.

*Нові технології у гальмівних системах.* Регламент визнає та регламентує сучасні рішення:

- гідростатичні приводи;
- інерційні гальмівні системи;
- антиблокувальні системи (ABS);
- електронні гальмівні системи (EBS);
- складні електронні системи керування, що відповідають стандартам Annex 18 UNECE Regulation № 13.

Ці положення дозволили інтегрувати інноваційні технології у сферу сільськогосподарської техніки.

*Перехідні періоди.* Регламент встановлює конкретні часові рамки:

– з 1 січня 2016 року – держави-члени не відмовляють у схваленні, якщо транспортний засіб відповідає новим вимогам;

– з 1 січня 2018 року – не випускаються на ринок техніка, що не відповідає вимогам до безпеки гальмівних систем;

– однопровідні гідравлічні системи (single-line):

1) з 31 грудня 2019 року – забороні для нових типів транспортних засобів;

2) з 31 грудня 2020 року – забороні для всіх нових транспортних засобів.

Таким чином, було створено етапний перехід до сучасніших і безпечніших систем.

*Технічні вимоги та додатки.* Регламент містить докладні додатки (Annexes), де описано:

– вимоги до конструкції й підключення (Annex I);

– випробування інерційних систем (Annex VIII);

– стандарти для гідростатичних приводів (Annex IX);

– положення для ABS (Annex XI);

– вимоги для EBS та ISO 7638 data link (Annex XII);

– правила щодо однолінійних систем (Annex XIII).

*Значення для виробників і держав-членів.* Для виробників:

– чіткі вимоги спрощують процедуру типового схвалення в межах ЄС;

– можливість використовувати результати випробувань за стандартом UNECE Regulation № 13 знижує витрати на сертифікацію;

– стимулюється розвиток інноваційних та безпечніших рішень у сфері гальмівних систем.

Для держав-членів ЄС:

– зростає рівень безпеки на дорогах та в сільськогосподарських операціях;

– заборонено реєструвати техніку, яка не відповідає вимогам Регламенту;

– гармонізація правил забезпечує єдиний ринок і полегшує взаємне визнання сертифікатів.

**Висновки.** Commission Delegated Regulation (EU) 2015/68 є ключовим нормативним актом у сфері безпеки сільськогосподарських і лісових транспортних засобів. Він:

- встановлює уніфіковані вимоги до гальмівних систем;
- враховує сучасні технології (ABS, EBS, електронні системи контролю);
- визначає перехідні періоди для поступового відходу від застарілих систем;
- гармонізує законодавство ЄС із міжнародними стандартами.

Завдяки цьому документу вдалося підвищити рівень технічної безпеки та довіри до сільськогосподарської техніки на європейському ринку, а також закласти основу для подальших інновацій.

Впровадження Commission Delegated Regulation (EU) 2015/68 в Україні забезпечить гармонізацію технічних вимог на рівні Європейського Союзу, що полегшить виробникам доступ до ринку, зменшить технічні бар'єри для експорту та сприятиме конкуренції.

Для виробників з України може виникнути необхідність модернізації виробничих процесів та розробки нових моделей транспортних засобів, що потребує додаткових інвестицій. Водночас довгострокові вигоди включають підвищення конкурентоспроможності продукції на міжнародних ринках.

### **Література**

1. Commission Delegated Regulation (EU) 2015/68 of 15 October 2014 supplementing Regulation (EU) No 167/2013 of the European Parliament and of the Council with regard to vehicle braking requirements for the approval of agricultural and forestry vehicles Text with EEA relevance.

2. Regulation (EU) No 167/2013 of the European Parliament and of the Council of 5 February 2013 on the approval and market surveillance of agricultural and forestry vehicles.

## **ANPASSUNG VON ALLRADANGETRIEBENEN RADFAHRZEUGEN AN NATÜRLICHE UND KLIMATISCHE BEDINGUNGEN**

**Korobko A.**, Dr. der technischen Wissenschaften, Dozent,

e-mail: [ak82andrey@gmail.com](mailto:ak82andrey@gmail.com),

Charkower Nationale Automobil- und Straßenuniversität

**Semenov I.**, Doktorand<sup>1</sup>, wissenschaftlicher Mitarbeiter<sup>2</sup>,

e-mail: [illia.semenov@outlook.com](mailto:illia.semenov@outlook.com),

<sup>1</sup> Charkower Nationale Automobil- und Straßenuniversität

<sup>2</sup> Charkiwer Zweigstelle der Staatlichen Wissenschaftlichen Forschungseinrichtung  
«UkrNDIPVT im. L. Pogorily»

**Einleitung.** Allradgetriebene Transport und Zugmaschinen (PKT) sind für Transportarbeiten unter besonders schwierigen natürlichen und klimatischen Bedingungen ausgelegt. In der Regel werden diese Maschinen unter verschiedenen klimatischen und Straßenbedingungen bei instabilen Lastbedingungen eingesetzt. Es ist bekannt, dass die Instabilität der Atmosphäre wesentlich von vier klimabezogenen Faktoren beeinflusst wird: Feuchtigkeit, Wärmeversorgung, thermische Bedingungen der Kaltperiode und Kontinentalität des Klimas. Der Betrieb von PKT ist auf Straßen in Tiefland- und Hochgebirgsregionen bei unterschiedlichem Luftdruck möglich, was zu einer Instabilität seiner Zugkraft und Leistungswerte führt.

Allradfahrzeuge werden auf Straßen unterschiedlicher Qualität und in einigen Fällen auch im Gelände eingesetzt. Es ist schwierig, die Vielfalt der Straßenverhältnisse zu klassifizieren und quantitativ zu bewerten, insbesondere wenn man bedenkt, dass je nach Jahreszeit und den spezifischen Bedingungen der Region die komplexe Wechselwirkung gleichartiger Straßen beim Fahren eines Fahrzeugs unterschiedlich sein kann. Daher hat sich für die Bewertung der Straßen- und Klimabedingungen für den Betrieb von PKT folgender Ansatz durchgesetzt: Die Gesamtbewertung der Komplexität der Betriebsbedingungen ist qualitativ; eine quantitative Bewertung wird nur für einzelne

Indikatoren vorgenommen, die die eine oder andere Eigenschaft der Straße, den Faktor der Straßen- und Klimabedingungen, charakterisieren.

Die Durchgängigkeit eines PKT wird durch eine Reihe von Merkmalen charakterisiert, die in hohem Maße miteinander verbunden sind:

- Anzahl der Antriebsachsen oder Radformel – zweiachsige (4K4), dreiachsige (6K6), vierachsige (8K8) und mehrachsige (10K10, 12K12 usw.) Fahrzeuge und Lastzüge mit aktiven Sattelanhängern;

- dem bedingten mittleren Bodendruck (kPa), der von den Antrieben eines voll beladenen Fahrzeugs erzeugt wird und dem Verhältnis der Gesamtlast auf die Räder des Fahrzeugs zur Projektionsfläche der Gesamtabmessungen aller Reifen auf die Auflagefläche entspricht;

- gleichmäßige Verteilung der Gesamtmasse des PKT auf die Achsen, die für Fahrzeuge mit erhöhter Geländegängigkeit nahezu optimal ist, da dadurch weniger Radbildung und ein geringerer Fahrwiderstand gewährleistet sind;

- Um den Rollwiderstand auf schlechten Straßen und im Gelände zu verringern, ist es bei einem PKT-Autotransport erforderlich, dass die Spurweite und die Reihenfolge der Reifen auf dem Zugfahrzeug und dem Anhänger übereinstimmen, wenn das Gewicht des Zugfahrzeugs das Gewicht des Anhängers übersteigt.

**Ziel der Arbeit.** Ziel ist es, neue Bestimmungen zur Anpassung von Allradfahrzeugen an natürliche und klimatische Bedingungen darzulegen.

**Materialien und Methoden.** Die Untersuchungen zielen auf die Lösung praktischer Aufgaben im Zusammenhang mit der Konstruktion, den Zugkraft- und Leistungsmerkmalen sowie der Steuerbarkeit von Allradfahrzeugen ab.

Aufgabe 1. Bestimmung der Bedingungen, denen der Radstand und die Lage des Schwerpunkts eines mehrachsigen Radzuges (Betriebsgewicht 120 kN) entsprechen müssen, um eine Überlastung der Räder um mehr als 20 % zu vermeiden und eine gleichmäßige Lastverteilung während des Betriebs zu gewährleisten.

Aufgabe 2. Berechnung des Leistungsgleichgewichts eines Lastzugs (Sattelzugmaschine 15 t + Anhänger 10 t) in Tiefland- und Hochgebirgsregionen unter Berücksichtigung von Änderungen des Luftdrucks, der Temperatur und des Fahrwiderstands.

Aufgabe 3. Begründung der Methode zur Verbesserung der Manövrierfähigkeit eines Fahrzeugs mit der Radformel 8K8 durch Verringerung des effektiven Längsabstands bei verschiedenen Drehgeschwindigkeiten und Haftungsbedingungen.

**Ergebnisse und Diskussion.** Bei den Berechnungen wurde festgestellt, dass die Überlastung der Räder vom Lagepunkt des Schwerpunkts relativ zur Mitte der Basis abhängt. Bei maximaler Zugkraft am Haken wird das Hinterrad überlastet, bei Bewegung ohne Zugkraft das Vorderrad. Dies bestätigte die Zweckmäßigkeit der Suche nach der optimalen Lage des Schwerpunkts, die eine gleichmäßige Lastverteilung gewährleistet.

Bei der Untersuchung des Leistungsgleichgewichts wurden die Auswirkungen von Rollwiderstand, Neigung, Schleudern und Luftwiderstand berücksichtigt. Es wurde gezeigt, dass sich bei sinkendem Luftdruck und sinkender Temperatur in den Bergen die Luftdichte ändert, was den Luftwiderstand verringert, aber gleichzeitig zu einer Verringerung der Zugkraft führt. Dies führt zu einem Unterschied in der Leistungsfähigkeit des Zuges zwischen flachen und bergigen Bedingungen.

In Bezug auf die Manövrierfähigkeit hat die Analyse der kinematischen Parameter gezeigt, dass eine Verringerung des Längsradstands zu einer Verringerung des minimalen Wenderadius beiträgt, insbesondere bei Manövern auf begrenztem Raum (z. B. beim Umstellen oder bei einer 180°-Drehung). Gleichzeitig wurde festgestellt, dass der Effekt der Verkürzung des Radstands mit zunehmender Drehgeschwindigkeit und abnehmendem Haftungskoeffizienten der Räder zum Boden abnimmt.

**Schlussfolgerungen.** Allradgetriebene Radfahrzeuge sind für Transportarbeiten unter besonders schwierigen natürlichen und klimatischen Bedingungen ausgelegt. Die Überlastung der Räder eines 8-Rad-Traktors mit einem Betriebsgewicht von 120 kN beträgt nicht mehr als 20 %, wenn der Schwerpunkt um 0,38 m nach vorne verlagert wird. Beim Betrieb dieses Traktors mit einem beladenen Anhänger mit einem Gewicht von 10 t in hochgelegenen Gelände verringert sich seine Zugkraft um 6,0 % im Vergleich zum Betrieb in flachem Gelände.

Eine Möglichkeit, die Manövrierfähigkeit von Allrad-Radfahrzeugen zu verbessern, besteht darin, ihren Radstand zu verkürzen. Gleichzeitig ist anzumerken, dass mit zunehmender Drehgeschwindigkeit und abnehmender Bodenhaftung der Räder von verkürzten Fahrzeugen deren Manövrierfähigkeit nicht wesentlich verbessert wird.

## **Literatur**

1. Lebediev, A.T., Myhal, V.D., Shevchenko, I.O., Shuliak, M.L.; herausgegeben von Prof. Lebediev, A.T. (2021). Avtomobil vantazhnyi. Suchasni konstruktsii, Charkiw: TOV «Planeta-Print», 369 S.
2. Zinko R.V., Krainyk L.V., Horbai O.Z., (2019). Grundlagen der konstruktiven Synthese und Dynamik von Spezialfahrzeugen und technologischen Maschinen: Monografie. Lemberg: Verlag der Lemberger Polytechnischen Universität, 256 S.
3. Maidanovych N. (2021). Die Agrarwirtschaft der Ukraine unter den Bedingungen des Klimawandels. Technik und Technologien der Agrarwirtschaft. Nr. 1 (118). 25-29 S.
4. Mandryka V.R., Mandryka A.V. (2005). Verbesserung der Steuerbarkeit von Mehrrad-Transportmitteln. Visnyk KhTU «KhPI» «Avtomobile ta traktorobuduvannia». 10. 107-111 S.
5. Kravchuk V., Shustik L., Nilova N., Stepchenko S., Suprun V. (2018). Synthese technischer und technologischer Lösungen zur Erschließung der natürlichen Ressourcen der Agrarsphäre. Tekhnika i tekhnolohii APK. Nr. 7 (106). 17-20 S.
6. Hasagasioglu, S., Kilicaslan, K., Atabay, O. et al. (2012). Fahrzeugdynamikanalyse eines schweren Nutzfahrzeugs unter Verwendung von Mehrkörpersimulationsmethoden. Int J Adv Manuf Technol 60. 825–839 S. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3588-8>.
7. Heisler H. (2002). Advanced Vehicle Technology. 2. Auflage. Imprint: Butterworth-Heinemann. 656 S.

**ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА  
ТУРБУЛЕНТНОЇ В'ЯЗКОСТІ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ  
ПНЕВМОРОЗПОДІЛЬНИКА ПОСІВНОГО КОМПЛЕКСУ**

**Халін С.**, канд. екон. наук, доц., директор, e-mail: ndipvt@ukr.net

**Сербій В.**, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., e-mail: svk\_84@ukr.net

ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»,

**Вступ.** Протиріччя між агротехнічною необхідністю обробітку ґрунту і негативним його впливом на родючість, яке проявляється в посиленні ерозійних процесів, і переущільненні ґрунту, призвело до переоцінки доцільності багаторазових ґрунтообробок при вирощуванні сільськогосподарських культур. Ця обставина привела також до впровадження нових технологій із значним зменшенням кількості операцій обробітку ґрунту і об'єднання різних за призначенням операцій в єдиний технологічний комплекс з допомогою технічних засобів.

Одним з перспективних напрямків розвитку комплексної механізації сільськогосподарського виробництва є створення комбінованих технічних засобів, що дозволяють одночасно в одному технологічному процесі виконувати кілька операцій з оброблення ґрунту, посіву і внесення добрив. Застосування таких технічних засобів скорочує число проходів машинно-тракторних агрегатів по полю, зменшує втрати часу на холості проходи, збільшує продуктивність і знижує грошові і трудові затрати [1].

Таке поєднання доцільно і з агрономічної точки зору, оскільки створюються сприятливі умови для росту і розвитку рослин за рахунок прискорення ведення польових робіт, кращого забезпечення водного і теплового режимів, зменшується ущільнення ґрунту і руйнування його структури.

Комбіновані технічні засоби також найбільш повно відповідають сучасній тенденції в тракторобудуванні, яка полягає в створенні енергонасичених тракторів,

завантажити які одноопераційними машинами не завжди можливо, особливо на полях малих розмірів, на схилових і зрошуваних ділянках.

При роздільному виконанні операцій значна частина енергії трактора витрачається на багаторазове транспортування по полю так званого «мертвого вантажу» (ваги трактора, машин, причепа і т. ін.). Застосування комбінованих машин знижує непродуктивні витрати енергії і палива.

В теперішній час комплексна механізація повинна представляти собою систему автоматичних комбінованих машин. У комплексно механізованому сільськогосподарському виробництві має розроблятися теорія автоматичних машин, комплексно механізованих процесів, галузей та всього сільськогосподарського виробництва.

Розробка сучасних сільськогосподарських машин має виходити з вимог, що забезпечують найбільш ефективне виконання машиною цілого ряду технологічних взаємопов'язаних операцій, у тому числі допоміжних, а також більш високу якість роботи та здійснення комплексної механізації всіх виробничих процесів. Цим умовам повніше і краще задовольняють комбіновані машини чи агрегати, чи так звані комбайни.

Структурно-функціональна схема комбінованої посівної машини для одночасного виконання технологічних операцій обробітку ґрунту та різноглибинного внесення технологічного матеріалу, в основному, складається з таких елементів: висівний модуль з секційним бункером, дозаторами і вентилятором; пневмотранспортувача і розподільча система; опорні колеса; загортачі; опорно-прикотуючі колеса; сошники для висіву технологічного матеріалу.

Пневморозподільники застосовуються у централізованих пневмомеханічних висівних системах сівалок для розподілу потоку аеросуміші (повітря і посівного матеріалу) на декілька рівних потоків.

Застосовувані в даний час на сівалках пневморозподільники можна класифікувати за технологічним принципом на дві групи: вертикальні і горизонтальні.

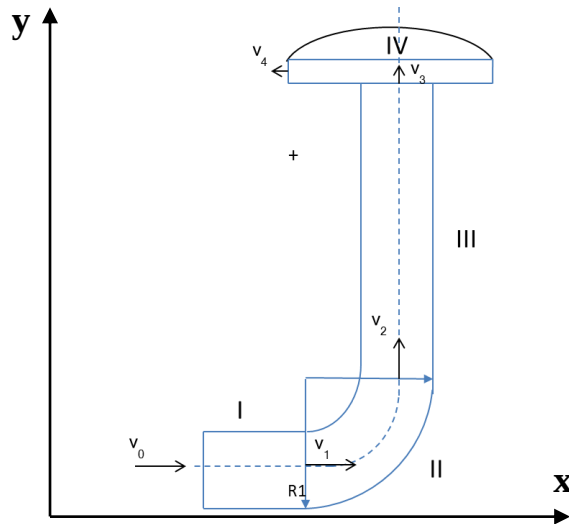
Основна перевага розподільників з вертикальним підвідним трубопроводом полягає у тому, що дозволяє частково уникнути впливу на розподіл матеріалу гравітаційних сил, що значно спрощує розподіл матеріалоповітряної суміші. Ці розподільники прості за конструкцією і надійні в експлуатації.

**Мета роботи.** Підвищення ефективності визначення енергетичних параметрів пневморозподільників при проектуванні посівних комплексів для реалізації перспективних енергоощадних технологій.

**Матеріали і методи.** Використовувались аналітичні та експериментальні методи досліджень, основи фотограмметрії застосовувались при обробці та аналізі даних відеорядів. Апробація методу проводилась на пневморозподілювачі сівалки Sfoggia RAPIDO 480 з 40-ка висівними відводами. Прототипом заводської кришки слугувала встановлена термоформована з прозорого ПВХ спеціальна виготовлена за розмірами аналогу. На внутрішній стороні кришки діаметрально встановлено сітку з міліметровим кроком комірки. В якості димогенератору використовувався целюлозний матеріал оброблений нітроамофоскою та ретельно висушений, таким чином, що при тлінні відбувалося інтенсивне виділення диму, який захоплювався нагнітаючим вентилятором і подавався у пневмотранспортну систему, а далі потрапляв у пневморозподілюючу головку пневматичної сівалки. Параметри руху вогнища збуреного повітря визначали за допомогою швидкісного фотоапарату налаштованого у режим відеозйомки з частотою кадрів 1000 к/с. Отриманий відеоряд оброблявся за допомогою VLC media player. За допомогою функції покрокової ітерації кадрів відео програвача зроблено розкадровку відео та ідентифіковано вогнища вихрової в'язкості.

**Результати та обговорення.** Найчастіше пневморозподільники з вертикальним підвідним трубопроводом конструкційно складаються з чотирьох зон: I – підвідний патрубок, II – коліно, III – вертикальний патрубок, IV – розподільчу головку (рисунок 1).

Повітряний двохфазний потік, що транспортує тверду фракцію – технологічну суміш, піддається дії силі тертя по внутрішній поверхні повітряпроводу, силі в'язкості повітря, відцентрової силі, силі тяжіння, силі турбулентної в'язкості повітря [2].



**Рисунок 1** – Схема пневморозподільного вузла

Силовий баланс пневморозподільника (на ділянці IV), відповідно до 2-го закону Ньютона, має наступний вираз:

$$-mx'' = -F_{\text{тр}} - F_{\text{вяз}} - F_{\text{турб}} \quad (1)$$

де  $F_{\text{тр}}$  – сила тертя повітря по внутрішній поверхні повітряпровода, Н;

$F_{\text{вяз}}$  – сила в'язкості повітря, Н;

$F_{\text{турб}}$  – сила турбулентної в'язкості повітря, Н.

Після розкриття складових рівняння 1 отримаємо вираз:

$$m \frac{dv}{dt} = mgf + \eta \frac{dv}{dy} S + \mu_t \frac{dv}{dy} S \quad (2)$$

де  $S$  – площа контакту шарів повітря у повітряпроводі,  $\text{м}^2$ ;

$\eta$  – динамічна в'язкість повітря,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ ;

$f$  – коефіцієнт тертя повітря;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;

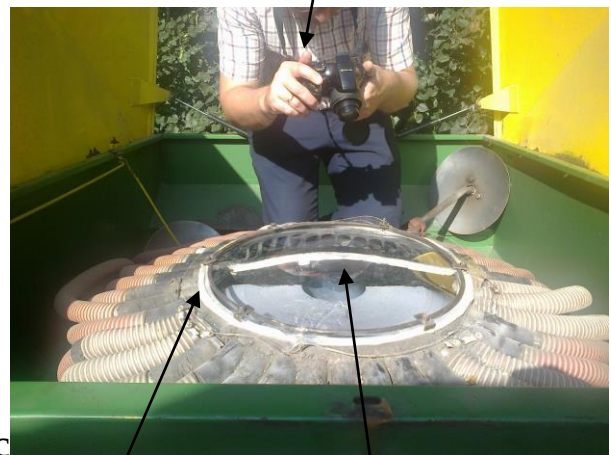
$\frac{dv}{dy}$  – градієнт швидкості повітря,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\mu_t$  – коефіцієнт турбулентної в'язкості,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ .

Для числового вирішення даного рівняння необхідно визначити експериментально значення коефіцієнта турбулентної в'язкості  $\mu_t$ . Для цього було розроблено експериментальну установку для дослідження характеру руху повітря у пневморозподільнику.

Експериментальна установка для дослідження характеру руху повітря у пневморозподільнику (рис. 2) представляє собою машинно-тракторний агрегат, який складається з трактора МТЗ-80 та пневматичної зернової сівалки Sfoggia RAPIDO 480. Трактор через ВОМ приводить в дію вентилятор і всмоктує генераторний дим. Через прозору кришку розподільювача виконувалась відео зйомка з метою реєстрації руху вогнищ збуреного повітря.

Швидкозйомна камера



Прозора кришка

Координатна сітка

**Рисунок 2** – Експериментальна установка для дослідження характеру руху повітря у пневморозподільнику і визначення коефіцієнта турбулентної в'язкості потоку

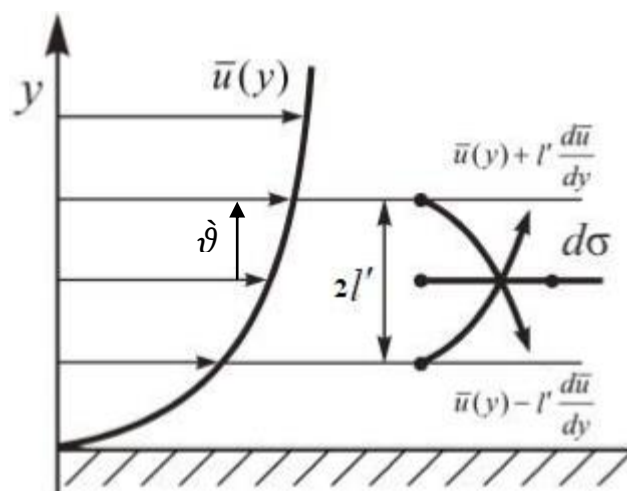
За визначенням П. Бредшоу (1971) [32]: «Турбулентність – це нестационарний рух, у якому внаслідок розтягування вихорів створюється безперервний розподіл пульсацій швидкості в інтервалі довжин хвиль від мінімальних, що визначаються в'язкими силами, до максимальних, що визначаються граничними умовами течії».

Вивчаючи умови переходу ламінарної течії рідини в трубах у турбулентну, Рейнольдс встановив існування загального критерію динамічної подібності, названого згодом його ім'ям:  $Re = U \cdot L / \nu$  – число Рейнольдса, де  $U$  та  $L$  – характерні масштаби швидкості та довжини, а  $\nu$  – кінематичний коефіцієнт в'язкості. При досягненні числом  $Re$  критичного значення  $Re_{кр} \approx 2000$  збурювання не згасають і рух стає турбулентним.

Основним механізмом генерації енергії турбулентності є деформація структур при нелінійній взаємодії великомасштабних структур з меншими структурами і т.д. у результаті реалізується так званий каскадний механізм передачі енергії. Згідно Річардсону каскадний процес передачі енергії в турбулентному потоці, що базується на уявленні про існування ієрархії вихорів, завершується на найдрібніших структурах в'язкою дисипацією кінетичної енергії в тепло.

За гіпотезою Буссінеска, що ґрунтується на концепції вихрової в'язкості, тензор турбулентної напруги можна визначити подібно тензору в'язких напруг, додавши відповідну складову у рівняння Нав'є-Стокса, що представляє найпростішу модель турбулентності Буссінеска.

Продовженням розвитку моделі турбулентності Буссінеска є модель турбулентності Прандтля, яка зв'язує коефіцієнт турбулентної в'язкості з характеристиками осередненої течії. Через площадку  $d\sigma$  (рис.3) проходять лінії струму пульсуючої течії. У тому напрямі переноситься кількість руху суміжних шарів, причому швидкістю переносу служить поперечна пульсаційна швидкість. У відповідних шарах швидкість осереднюється до значень  $\bar{u}(y) + l' \frac{d\bar{u}}{dy}$  та  $\bar{u}(y) - l' \frac{d\bar{u}}{dy}$ .



**Рисунок 3** – Схема моделі шляху змішування по Прандтлю

Турбулентні напруження Рейнольдса, описують турбулентні дотичні напруження  $\tau_t = \rho \overline{u'v'}$  в рідині. Так як, пульсуюча швидкість дорівнює  $u' = u - \bar{u}$  і має запис у диференціальній формі  $u' = l' \frac{du}{dy}$ , а пульсації проявляються як в повздовжньому так і в поперечному напрямі, припускають що  $u'$  та  $v'$  величини одного порядку та після осереднення вираз дотичних напружень набуває вигляд

$\tau_T = \rho \bar{l} \frac{du}{dy} \bar{l} \frac{du}{dy} \rightarrow \rho \bar{l}^2 \left( \frac{du}{dy} \right)^2$ . Згідно закону в'язкості Ньютона  $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ , для турбулентної в'язкості приймається аналогічний запис для турбулентної в'язкості  $\tau_T = \mu_T \frac{du}{dy}$ , де  $\mu_T = \rho \bar{l}^2 \frac{du}{dy}$  коефіцієнт турбулентної в'язкості, що залежить від пульсаційної швидкості та довжини шляху змішування.

Для числового знаходження значення коефіцієнта турбулентної в'язкості використовується  $k - \varepsilon$  модель турбулентності відповідно до якої складено алгоритм методу визначення значення коефіцієнта турбулентної в'язкості за виразом Колмогорова-Прандтля згідно якого можна ототожнити вирази  $\bar{l}^2 \frac{du}{dy} = C_\mu \frac{k^2}{e}$ , де  $k$  – кінетична енергія турбулентної енергії та  $e$  – швидкість дисипації енергії турбулентності.

Визначення значень параметрів  $k$  та  $e$  [4] турбулентних потоків стає можливим завдяки розвитку інформаційним технологіям, забезпечуючи швидкісну відеозйомку зі збереженням відео потоку на цифрові носії даних.

Алгоритм методу обробки відеорядів складається з 7-ми кроків :

1. Визначення масштабу по осям  $[X], [Y]$ .
2. Визначення координат центрів формацій вогнища збуреного повітря, м:

$$X_c = \left[ \frac{(x_i + x_{i-1})}{2} \right], Y_c = \left[ \frac{(y_i + y_{i-1})}{2} \right]$$

де  $x_i, x_{i-1}$  – координати початку та кінця формації по осі  $x$ , м;

$y_i, y_{i-1}$  – координати початку та кінця формації по осі  $y$ , м.

3. Визначення швидкості руху центрів формацій вогнищ збуреного повітря, м/с:

$$U_x = \frac{(X_{c_i} - X_{c_{i-1}})}{0.001}, U_y = \frac{(Y_{c_i} - Y_{c_{i-1}})}{0.001}$$

де  $X_{c_i}, X_{c_{i-1}}$  – координати центру формації по осі  $x$ , м;

$Y_{ci}, Y_{ci-1}$  – координати  
центру формації по осі  $y$ , м.

4. Визначення швидкості  
повітря, м/с:

$$U = \sqrt{U_x^2 + U_y^2}$$

5. Визначення кінетичної  
енергії турбулентної енергії,  $\text{м}^2/\text{с}^2$ ;

$$k = 0.5 \cdot U_y \cdot U_y$$

6. Визначення швидкості  
дисипації енергії турбулентності,  
 $\text{м}^2/\text{с}^3$ :

$$e = \gamma \frac{(\partial U_x \cdot \partial U_y)}{(\partial X_x \cdot \partial X_y)}$$

де  $\gamma$  – кінематична в'язкість  
повітря,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

7. Визначення значення  
коефіцієнта турбулентної в'язкості  
за формулою Колмогорова-  
Прандтля:

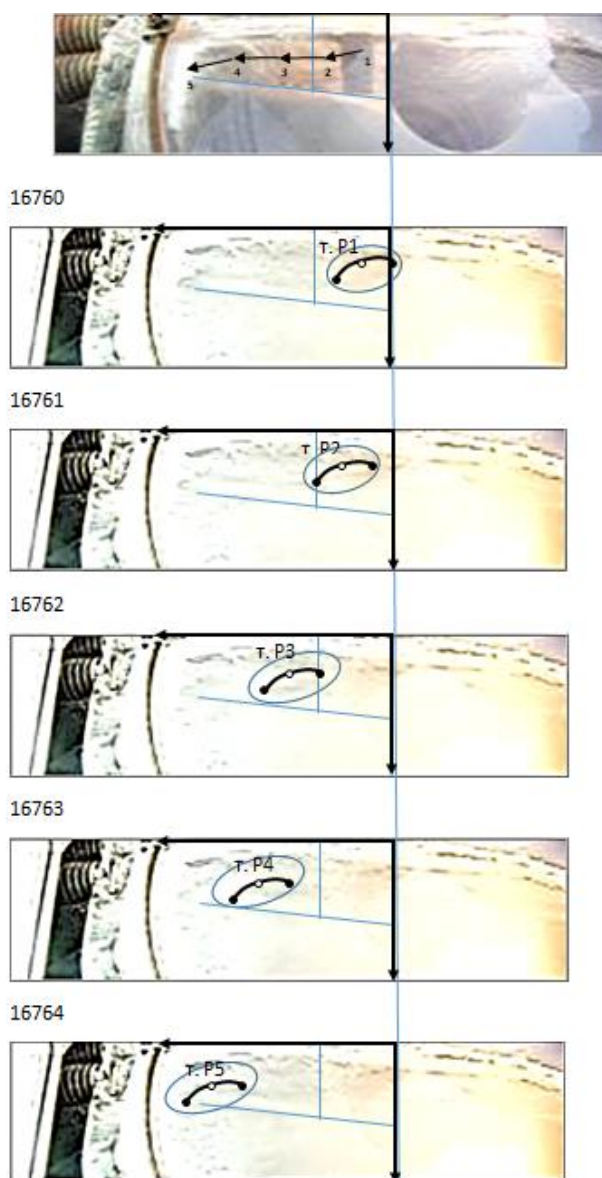
$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{e}$$

де  $C_\mu = \text{const}$  – коефіцієнт,

що залежить від значень кутової швидкості та швидкості обертання, деформації та параметрів  $k$ - $e$  моделі турбулентності;

$\rho$  – щільність газу,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

В результаті проведених експериментів на експериментальній установці (рис. 2) отримано кінематичні параметри руху вихрового вогнища збуреного повітря (табл. 1). Після обробки за алгоритмом запропонованого методу, аналітично розраховано турбулентну в'язкість повітряної течії (рис. 4).



**Рисунок 4** – Розкадрування та  
обробка даних відеоряду з виявленим  
вогнищем збуреного повітря

**Таблиця 1** - Результати обробки експериментальних даних отриманих за допомогою оптичних методів вимірювання

| Параметр                                                | Позначення   | Значення                                  |
|---------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------|
| Масштаб по осі x та y, см/см                            | [X]   [Y]    | 3.5   6                                   |
| Координата точки початку формації по осі x, т.Р1   т.Р5 | $x_i$        | $0   10,9 \cdot 10^{-2}$                  |
| Координата точки початку формації по осі y, т.Р1   т.Р5 | $y_i$        | $1 \cdot 10^{-2}   1,8 \cdot 10^{-2}$     |
| Координата точки кінця формації по осі x, т.Р1   т.Р5   | $x_{i-1}$    | $12,6 \cdot 10^{-2}   23,5 \cdot 10^{-2}$ |
| Координата точки кінця формації по осі y, т.Р1   т.Р5   | $y_{i-1}$    | $5,0 \cdot 10^{-2}   7,8 \cdot 10^{-2}$   |
| Координата центру формації по осі x, т.Р1               | $X_{ci}$     | $6,3 \cdot 10^{-2}$                       |
| Координата центру формації по осі y, т.Р1               | $Y_{ci}$     | $3,0 \cdot 10^{-2}$                       |
| Координата центру формації по осі x, т.Р5               | $X_{ci-1}$   | $17,2 \cdot 10^{-2}$                      |
| Координата центру формації по осі y, т.Р5               | $Y_{ci-1}$   | $4,8 \cdot 10^{-2}$                       |
| Пульсація швидкості у повздовжньому напрямку течії, м/с | $\delta U_y$ | 6                                         |
| Пульсація швидкості у поперечному напрямку течії, м/с   | $\delta U_x$ | 6                                         |
| Зміщення формації у поперечному напрямку течії, м       | $\delta X_x$ | $1,2 \cdot 10^{-2}$                       |
| Зміщення формації у повздовжньому напрямку течії, м     | $\delta Y_y$ | $0,3 \cdot 10^{-2}$                       |
| Гradient швидкості, $c^{-1}$                            | $grad(u)$    | 642                                       |

За приведеною методикою розрахунку коефіцієнта турбулентної в'язкості встановлено його значення  $\mu_t = 0.73$  Па·с для умов експериментальних досліджень.

Для продовження вирішення рівняння 2 проведемо заміну  $dt = \frac{dL}{v}$  та скорочення

$$\frac{vdv}{dL} = gf + \eta grad(v) \frac{s}{m} + \mu_t grad(v) \frac{s}{m} \quad (3)$$

$$vdv = (gf + \eta grad(v) \frac{s}{m} + \mu_t grad(v) \frac{s}{m}) dL \quad (4)$$

Проінтегрувавши рівняння (4) отримаємо

$$\frac{v^2}{2} = (gf + \eta grad(v) \frac{s}{m} + \mu_t grad(v) \frac{s}{m})L \quad (5)$$

Виразивши швидкість  $v$

$$v_{IV} = \sqrt{2} \sqrt{\frac{l_4(grad \vartheta S_4(\mu_t + \eta) + fgV\rho)}{\rho V}} \quad (6)$$

Вирішення рівняння (6) провели у програмі MathCad з початковими умовами  $R=0,25$  м,  $f=0,02$ ,  $g=9,8$  м/с<sup>2</sup>,  $\rho = 1.2$  кг/м<sup>3</sup>,  $\eta = 18 \cdot 10^{-6}$  Па·с визначили, що пневмоопір у головці пневморозподільвача спричинює затухання швидкості повітряного потоку, яке дорівнює  $v_{IV}=34$  м/с.

З аналізу науково-технічної інформації встановлено [5-9], що на даний момент дослідниками не враховувалася компонента вихрової в'язкості у теоретичних розрахунках пневморозподільників, також інформація відсутня, щодо експериментального дослідження та визначення значень турбулентної в'язкості у пневморозподільвачах посівних комплексів.

Наведений метод оцінки емпіричних параметрів моделі турбулентності  $k$ - $\epsilon$  на основі експериментальних полів швидкостей потоку, отриманих за допомогою оптичних методів вимірювання, з використанням осцилограм компонент вектора швидкості у кожній точці простору допоміг визначити параметри  $k$  та  $\epsilon$  і загалом значення коефіцієнта турбулентної в'язкості  $\mu_t$ .

**Висновки.** Складено та апробовано установку для визначення характеру руху повітря та повітряно-добриво-зернової суміші у пневморозподільнику висівної системи за допомогою швидкісної фотокамери. За даними фотограмметричної обробки фотографічних даних отриманого відеоряду, вперше експериментально та аналітично встановлено значення коефіцієнта турбулентної в'язкості  $\mu_t=0,73$  Па·с, який можна використовувати у подальших розрахунках.

Аналітично отримано рівняння для визначення падіння швидкості повітряно-зернової суміші у пневморозподільнику на ділянці IV, що зумовлює витрати енергії на подолання сил турбулентного повітряного потоку. Аналітично встановлено втрати швидкості в результаті подолання пневмоопору у головці пневморозподільника на рівні  $v_{IV}=34$  м/с.

### Літературні джерела:

1. Крючков М.М. Применение почвообрабатывающих и посевных комбинированных агрегатов в условиях Рязанской области /М.М. Крючков, Л.В. Потапова, О.В. Лукьянова // Рязань.—2013.—158 с.
2. Стернин Л.Е., Швайбер А.А. Многофазные течения газа с частицами. — М.: Машиностроение, 1994. — 320 с.
3. Бредшоу П. Введение в турбулентность и ее измерение. М.:Мир, 1974.
4. B. Mohammadi, O. Pironneau. Analysis of the K-Epsilon turbulence model. M. John Wiley & Sons, 1994
5. Wilcox, D. C. "Turbulence modeling for CFD," DCW Industries, Inc., 460 p, 1994.
6. Lien, F.S., Chen, W.L., and Leschziner, 1996, M.A. "Low-Reynolds-Number Eddy-Viscosity Modelling Based on Non-Linear Stress-Strain/Vorticity Relations," Proc. 3rd Symp. on Engineering Turbulence Modelling and Measurements, Crete, Greece.
7. Jagadeesh, P. and Murali, K., 2005, "Application of Low-Re Turbulence Models for Flow simulations past Underwater Vehicle Hull Forms," Journal of Naval Architecture and Marine Engineering, June 2005, pp. 41-54.
8. Hwang, C.B., Lin, C.A., 1999, "A low Reynolds number two-equation k-e model to predict thermal fields" International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 42, pp. 3217-3230.
9. Menter, F.R., Kuntz, M., and Langtry, R., 2003, "Ten years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model," Turbulence, Heat and Mass Transfer 4, Begell House, Inc.

## **АДАПТАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕГУЛЮВАНЬ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА ДО СКЛАДНИХ УМОВ ЗБИРАННЯ ВРОЖАЮ**

**Келемеш А.**, канд. техн. наук, доцент, e-mail: anton.kelemesh@pdau.edu.ua,

**Ляшенко С.**, канд. техн. наук, доцент, e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua,

**Бурлака О.**, канд. техн. наук, доцент, e-mail: oleksii.burlaka@pdau.edu.ua,

Полтавський державний аграрний університет

**Вступ.** Актуальність наукового дослідження щодо підвищення ефективності та якості використання зернозбиральних комбайнів не викликає сумніву, так як така сільськогосподарська машина виконує заключну механізовану операційну технологію – збирання врожаю з обмолотом зерна, тому якість роботи комбайна вагомо впливає на підсумок всієї технології виробництва сільськогосподарської культури [1, 2, 5].

**Мета роботи.** Метою даної статті є адаптація та оптимізація технологічних регулювань молотильно-сепарувального пристрою зернозбирального комбайна. Це робиться для того, щоб мінімізувати втрати зерна та ушкодження зернової маси в складних умовах збирання врожаю.

**Результати і обговорення.** Якщо беремо до уваги більш поширені в нашій країні моделі сучасної зернозбиральної техніки [3], то технологічні параметри молотильно-сепарувального пристрою таких машин залежать від сільськогосподарської культури, агротехнічних умов збирання врожаю і є рекомендованими для первинного налаштування, знаходяться в пам'яті автоматичних комп'ютеризованих систем контролю і управління технологічним процесом.

Налаштування та корегування технологічних параметрів молотарки комбайна можливо здійснювати з робочого місця оператора комбайна, використовуючи, як правило монітори спеціалізованого програмного забезпечення.

У разі перевантаження жниварки чи робочих органів похилої камери чи молотильно-сепарувального пристрою, останнє фіксується величиною пробуксовування пасових передач відповідних контр-приводів і здійснюється автоматичне сповільнення руху комбайна чи його зупинка.

Така система гарно себе зарекомендувала в відносно «ідеальних» умовах збирання врожаю – на чистих посівах (рис.1 (а)) і в такому випадку варіація і корегування основних технологічних регулювань молотарки комбайна в більшому ступені буде залежати від вологості та солоmistості збіжжя.



(а)



(б)

**Рисунок 1** – Приклад прямого комбайнування при обмолоті сої в чистих посівах (а) та з локаціями зеленої маси бур'янів (б)

Але у складних умовах збирання врожаю – частково забур'янених посівах рис.1 (б) автоматична фіксація перевантаження основних вузлів та механізмів технологічного процесу збирання врожаю комбайном шляхом вимірювання ступеню пробуксовування пасів контрприводів може бути недостатньо

ефективною, особливо враховуючи сучасні швидкості проходження листостеблової маси та збільшену продуктивність молотарок зернозбиральних комбайнів.

Відповідно, нами пропоновано починати зміну технологічних регулювань жниварки та молотильно-сепарувального пристрою зернозбирального комбайну до початку моменту збирання локацій з бур'янами [4].

Така концепція обґрунтовується спостереженнями на виробництві непоодиноким випадком забивання молотарки зернозбиральних комбайнів листостебловою масою збіжжя. Останнє трапляється, в тому числі і доволі сучасними моделями фірм CLAAS, John Deere та інших відомих виробників сільськогосподарської техніки. Враховуючи втрати фермерів від просторів зернозбиральних комбайнів на жнивах та зростання імовірності непланових відмов, таке явище є вкрай негативним.

Відповідно, пропонуємо направити подальші дослідження на розробку комп'ютеризованих систем та обладнання, що дає змогу виявляти локації бур'янів перед жниваркою зернозбирального комбайна, оцінювати їх кількісні характеристики (вологість, густину засмічення, вид бур'яну щодо механічних властивостей стебла...). Ця інформація є важливою до прийняття комп'ютеризованим алгоритмом контролю технологічного процесу обмолоту зерна комбайна дій відносно зміни технологічних регулювань в автоматичному режимі.

Акцентуємо увагу і на тому, що сучасні молотильно-сепарувальні пристрої – це або тангенційні з декількома барабанами; або роторні, що самі по собі схильні до намотування в так звані «коси» соломи з включенням стебел бур'янів підвищеної вологості; або комбіновані [3], що мають і барабани і ротори. вищезгадані системи обмолоту зерна доволі складні, відповідно, забивання останніх листостебловою масою є вкрай небажаним технологічним аварійним явищем.

**Висновки.** Таким чином, пропоноване нами попереднє оцінювання ділянок поля, що безпосередньо знаходяться перед жниваркою зернозбирального комбайна з визначенням основних кількісних та якісних характеристик збіжжя – ступеня

забур'яненості, полеглості хлібостою, визначення локацій зеленої маси бур'янів в динаміці – безпосередньо перед жнивваркою зернозбирального комбайна, дасть змогу вчасного зреагувати та зміни регулювання технологічного процесу в напрямку запобігання появи непланових перевантажень та аварійних режимів складних сучасних робочих органів молотильно-сепарувального пристрою зернозбиральних машин.

### Література

1. Amerttet S., Gebresenbet G., Alwan H.M. Application of hyper-automation in farming – an analysis. Smart Agricultural Technology. 2024. Volume 9, 100516. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100516>
2. Mahore V., Soni P., Patidar P., Nagar V., Chouriya A., Machavaram R. Development and implementation of a raspberry Pi-based IoT system for real-time performance monitoring of an instrumented tractor. Smart Agricultural Technology. 2024. Volume 9, 100530. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100530>
3. Бурлака О., Яхін С., Падалка В., Бурлака А. 100 тон за годину, а що далі? Порівнюємо та аналізуємо характеристики флагманських моделей високопродуктивних зернозбиральних комбайнів. Scientific Progress & Innovations. 2021. № 3. С. 274-288. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.03.34>
4. Kanivets, O. V., Kanivets, I. M., Burlaka, O. A., Bilovod, O. I., & Kelemesh, A. O. (2025). Improving a grain combine with a machine vision system to track weed locations during harvesting. Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes, (2), 20-25. <https://doi.org/10.32782/msnau.2025.2.3>
5. Литвинюк Л. Деякі особливості підвищення продуктивності зернозбирального комбайна і покращення родючості ґрунту. Техніка і технології АПК. 2015. № 10. С. 25–27.

## **РОЗРОБЛЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЬ РІЗАННЯ СТЕБЕЛ**

**Дудніков І.**, к.т.н., доцент, e-mail: [dudnikovigor17@gmail.com](mailto:dudnikovigor17@gmail.com)

Полтавський державний аграрний університет

**Шейченко В.**, д.т.н, професор, професор кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту, e-mail: [vsheychenko@ukr.net](mailto:vsheychenko@ukr.net)

Полтавський державний аграрний університет

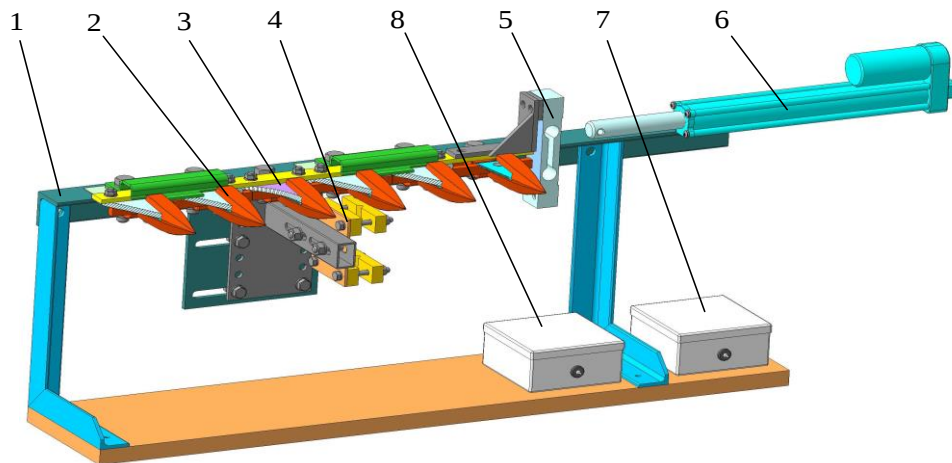
**Кузьмич А.**, к.т.н., старший дослідник, e-mail: [akuzmich75@gmail.com](mailto:akuzmich75@gmail.com)

**Метою дослідження** є підвищення ефективності різання стебел грубостеблових культур шляхом розроблення експериментальної установки з визначення зусиль різання.

**Результати і обговорення.** Експериментальна лабораторна установка (рис. 1) містить раму 1, на якій встановлено елементи різального апарату сегментно-пальцевого типу 2 комбайна КЗС-9 Славутич (подвійні пальці з протиризальними пластинами, пластини тертя, притискні лапки, спинка ножа з п'ятьма сегментами). Два лівих та два правих сегменти закріплені на спинці за допомогою заклепок. Центральний сегмент 3 кріплять болтовим з'єднанням, що забезпечує його швидку заміну за умов проведення досліджень.

Переміщення спинки ножа з закріпленими сегментами відбувається завдяки електричному лінійному приводу 6, який встановлено на рамі 1 співвісно з спинкою різального апарату. Лінійний електропривод забезпечує рівномірне переміщення ножа різального апарату зі сталою швидкістю 0,035 м/с та максимальним зусиллям 300 Н.

Зусилля від електричного лінійного приводу 6 до ножа різального апарату передається через тензометричний датчик 5.



1 – рама; 2 – різальний апарат сегментно-пальцевого типу; 3 – експериментальний сегмент різального апарата; 4 – механізм фіксації та регулювання положення стебла; 5 – тензодатчик; 6 – електропривод різального апарата; 7 – блок управління електроприводом; 8 – блок обробки сигналів та передачі даних в СОМ порт персонального комп'ютера

**Рисунок 1** - Схема експериментальної лабораторної установки

Тензометричний датчик 5 встановлено жорстко за допомогою гвинтових з'єднань та кронштейна на хвостовій частині спинки ножа різального апарата та шарнірно з'єднано за допомогою кронштейна та циліндричної вісі з штоком електричного лінійного приводу (рис. 2).



**Рисунок 2** – Загальний вигляд експериментальної лабораторної установки

На рамі 1 під різальним апаратом розміщено механізм фіксації та регулювання положення стебла 4. Конструкція механізму забезпечує регулювання положення стебла у трьох площинах за умов дослідження його зрізання. Змінення відстані від поверхні стебла до протирізальної пластини (зрізання з відгином) в межах 0-50мм, та змінення відстані від осі стебла до носка різального сегмента в межах 0-35мм забезпечується за допомогою переміщення болтових з'єднань в поздовжніх пазах відповідних кронштейнів. Змінення висоти фіксації стебла відносно кромки різального апарата (висота стерні) в межах 20-140мм з кроком 10 мм забезпечується перестановкою болтових з'єднань в отворах та поворотом на 180<sup>0</sup> відповідних кронштейнів.

**Висновки.** Розроблено експериментальну установку з визначення зусиль різання стебел грубостеблових культур, а також блок управління електроприводом та реверсування напрямку руху ножа різального апарата, блок обробки сигналів та передачі даних в СОМ порт персонального комп'ютера.

Для зчитування даних з СОМ порту та запису даних в файл розроблено програму на мові програмування Python.

### Література

1. В.О. Шейченко, І.А. Дудніков, В.В. Шевчук, В.Г. Шевчук, Дослідження умов різання стебел із ковзанням / Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 2021, вип. 51, с.61-69.
2. Патент на корисну модель № 148564 "Жниварка з ріжучим апаратом, Зареєстровано в Державному реєстрі України корисних моделей 25.08.2021" Шейченко В.О., Хайліс Гедадь Абрамович, Шевчук Віталій Вікторович, Дудніков Ігор Анатолійович, Біловод Олександра Іванівна, Прасолов Євген Якович.
3. Tian Kunpeng, Li Xianwang, Shen Cheng, Zhang Bin\*, Huang Jicheng, Wang Jinguo, Zhou Yang /Design and Experiment of the Cutting Blade of Longhorn Bionic Hemp Harvester (Nanjing Institute of Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture, Nanjing) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.05.008

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОБРУШУВАННЯ НАСІННЯ ПРОМИСЛОВИХ КОНОПЕЛЬ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ РОБОЧОГО КОЛЕСА**

**Шейченко В.**, д.т.н, професор, професор кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту, e-mail: [vsheychenko@ukr.net](mailto:vsheychenko@ukr.net)

Полтавський державний аграрний університет

**Петраченко Д.**, к.т.н., викладач відділення агроінженерії,

e-mail: [dpetrachenko@i.ua](mailto:dpetrachenko@i.ua)

Відокремлений структурний підрозділ Глухівський агротехнічний фаховий коледж  
Сумського національного аграрного університету

**Шейченко Д.**, аспірант, e-mail: [dsheychenko@ukr.net](mailto:dsheychenko@ukr.net)

Полтавський державний аграрний університет

**Вступ.** Насіння промислових конопель перестало вважатися лише побічним продуктом виробництва волокна й нині є важливим харчовим ресурсом. Особливе місце посідає обрушене насіння, яке завдяки видаленню оболонки має високу харчову цінність, добру засвоюваність і приємний смак, тому широко використовується у харчовій промисловості [1].

Технології обрушування базуються на використанні машин із дисковими, роликowymi, циліндричними чи відцентровими робочими органами [2]. Серед відомих способів найбільше поширення отримав відцентровий метод, що забезпечує відділення 28,0-38,0 % ядер із засміченістю до 1,0 %, проте має низький коефіцієнт одноразового обрушування [3].

Оптимізація робочих органів шляхом вдосконалення їх конструкції, матеріалів та параметрів розглядається як ключовий напрям поліпшення технологій обробітку насіння конопель [4].

**Метою дослідження** є підвищення ефективності відцентрового обрушування насіння промислових конопель шляхом визначення впливу кількості профільних отворів у робочому колесі. Для реалізації мети доцільно дослідити показники

обрушування за умов використання робочих коліс із чотирма та шістьма профільними отворами.

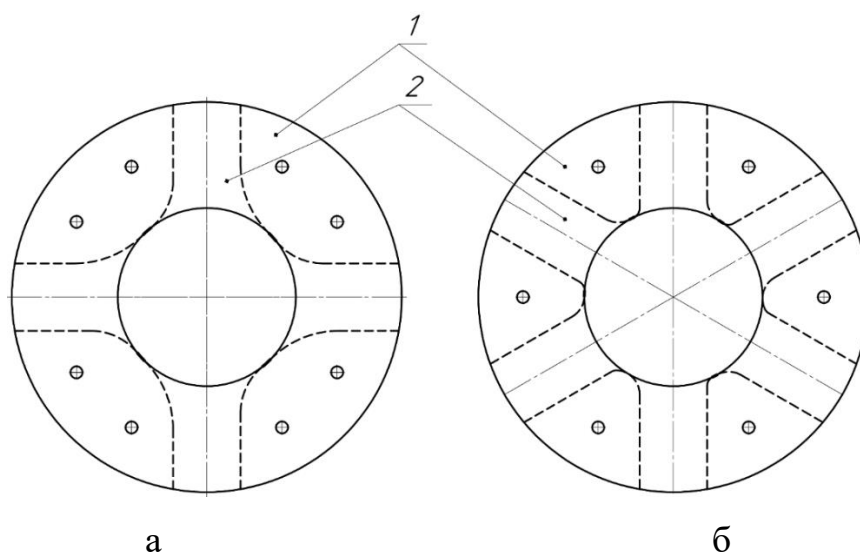
**Матеріали і методи.** Об'єктом дослідження є процеси обрушування насіння промислових конопель, самі насінини та ядра, а також відцентровий обрушувач із робочими колесами. Предметом дослідження – взаємодія робочого органу з насінням та вплив його параметрів на ефективність процесу.

Для дослідів використовували насіння сорту «Глесія» з виробничих посівів Інституту луб'яних культур НААН України.

Фізико-механічні властивості визначали загальноприйнятими методами. Параметри окремих насінин вимірювали електронним штангенциркулем; фракціонування за шириною виконували на лабораторних решітах (3,0×20 мм і 2,5×20 мм), що дозволяло виділити три групи: велику (>3,0 мм), середню (2,5-3,0 мм) і дрібну (<2,5 мм). Маса проб і рушанки визначалась зважуванням. Вологість насіння визначали за допомогою сушильної шафи.

Експерименти проводили на спеціально розробленому відцентровому пристрої [4]. Оброблення результатів здійснювали в середовищі Microsoft Excel.

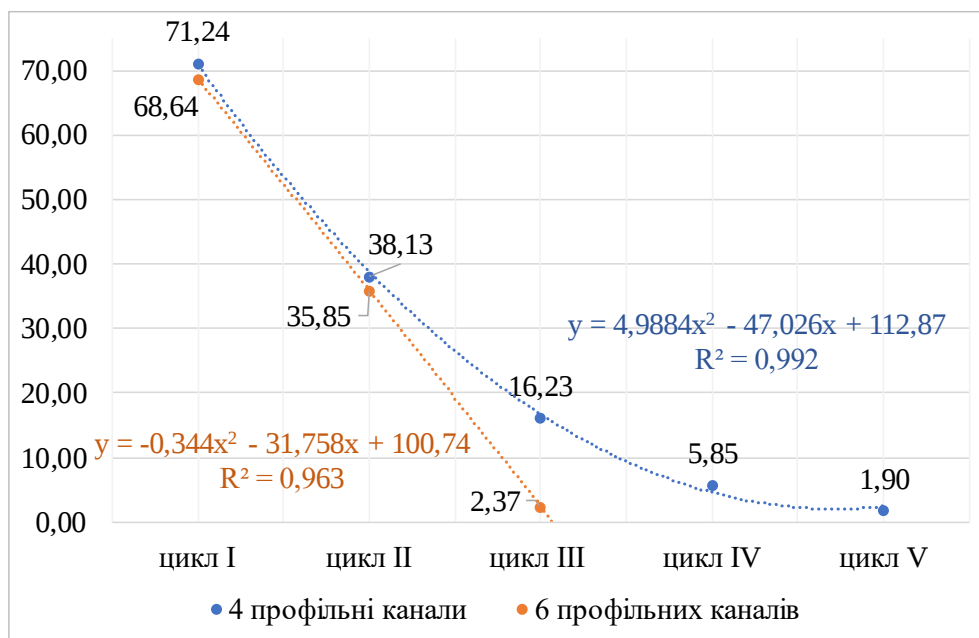
Досліджуваний робочий орган мав діаметр 162 мм і складався з двох дисків товщиною 2 мм. Верхній диск містив завантажувальний отвір 74 мм, між дисками формувалися радіальні профільні канали 20×20 мм гіперболічної форми. Для порівняння розроблено два варіанти: колесо з чотирма та з шістьма каналами (рис. 1).



**Рисунок 1** – Робоче колесо з чотирма (а) та шістьма (б) профільними каналами: 1 – сектори; 2 – профільні канали

Збільшення кількості каналів забезпечувало стабільність процесу без змін інших конструктивних параметрів і вважалось найбільш раціональним рішенням.

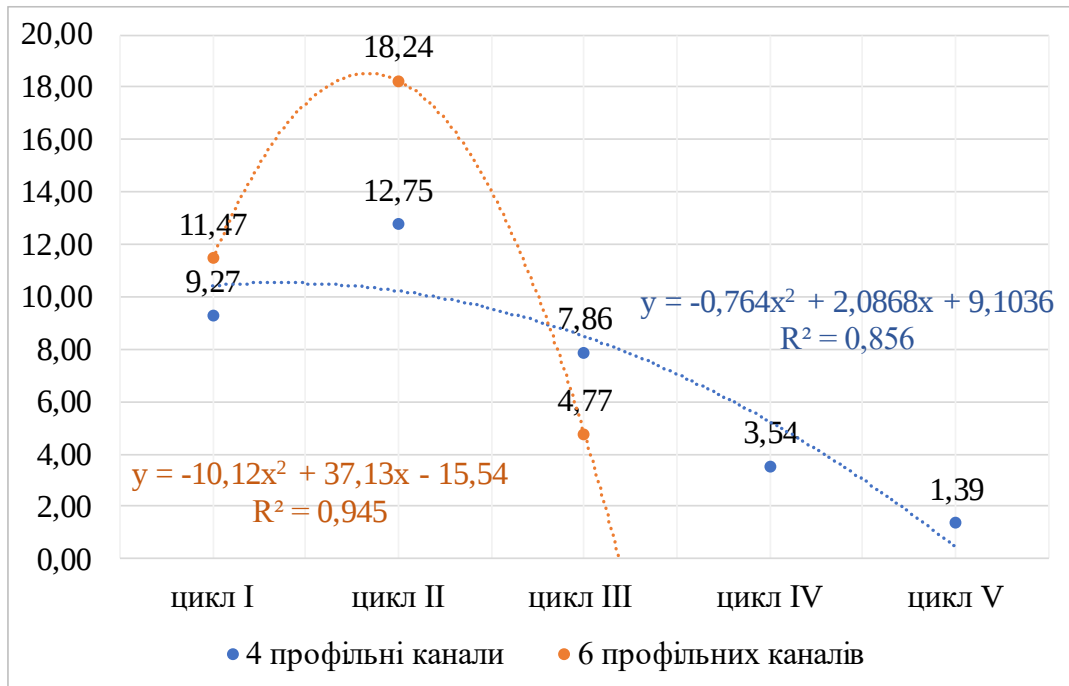
**Результати і обговорення.** Результати змінення кількості недорущеного насіння після кожного циклу для двох досліджуваних робочих коліс наведено на рис. 2.



**Рисунок 2** – Результати змінення недорущеного насіння після кожного циклу

Зап умов використання колеса з чотирма профільними каналами після першого циклу обрушування (рис. 2) залишалося 71,24% недорущеного насіння, тоді як для шестиканального варіанта – 68,64%. На другому циклі обидві конструкції дали близькі результати (35,85% і 38,13%), однак уже на третьому циклі різниця стала принциповою: у варіанті з шістьма каналами залишалося лише 2,37% недорущеного насіння, тоді як у чотириканальному – 16,23%. Для остаточного зменшення частки недорущених зерен до рівня близько 2% чотириканальне колесо потребувало п'яти циклів, тоді як шестиканальне забезпечило аналогічний результат удвічі швидше.

На рис. 3 наведено змінення виходу готових обрушених ядер промислових конопель після кожного циклу для робочих коліс із чотирма та шістьма профільними каналами.



**Рисунок 3** – Результати виходу конопляних ядер після кожного циклу

Загалом, обидві конструкції забезпечили близький сумарний вихід готових ядер: 34,80% для чотиріканального колеса та 34,48% для шестиканального. Однак ключова різниця полягає у кількості циклів: у випадку з шістьма каналами необхідно було лише 3 цикли, тоді як чотиріканальне колесо потребувало 5.

**Висновки.** Проведені дослідження засвідчили, що збільшення кількості профільних каналів у робочому колесі відцентрового обрушувача до шести сприяє підвищенню інтенсивності та рівномірності процесу обрушування насіння промислових конопель.

Загальний вихід готових ядер в обох досліджуваних варіантах залишався близьким: 34,80% для чотиріканального колеса та 34,48% для шестиканального. Водночас ключова відмінність полягала у швидкості досягнення цього результату: шестиканальне колесо забезпечило його за три цикли, тоді як чотиріканальне потребувало п'яти. Це підтверджує доцільність удосконалення конструкції робочого органу як одного з визначальних напрямів оптимізації технології переробки насіння промислових конопель.

## Література

1. Шейченко В.О., Петраченко Д.О. (2024). Обрушування насіння промислових конопель механізмами з підвищеною продуктивністю. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2024, вип. 54, с.55–62. DOI: DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.55-62>.
2. Prem Manjeet, Pragi S, Dabhi Kanak, Baria Anil. (2017). Pod Shelling Machines-A Review. International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR). 7. 321-326.
3. Anqi Li, Fuguo Jia, Yanhao Chu, Yanlong Han, Hao Li, Ze Sun, Shouyu Ji, Zhuozhuang Li. Simulation of the movement of rice grains in a centrifugal huller by discrete element method and the influence of blade shape. Biosystems Engineering, Volume 236, 2023, Pages 54-70, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.10.013>
4. Sheichenko, V., Petrachenko, D., Koropchenko, S., Rogovskii, I., Gorbenko, O., Volianskyi, M., Sheichenko, D. (2024). Substantiating the rational parameters and operation modes for the hemp seed centrifugal dehuller. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (1 (128)), 34–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300174>.

## **ВПЛИВ ФОРМИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТА ЇХ КОМБІНАЦІЙ НА ЯКІСТЬ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧАМИ ЗА УМОВ ПЕРЕУЩІЛЬНЕННЯ**

**Лещенко С.**, канд. техн. наук, доцент, декан агротехнічного факультету,

e-mail: [leshchenkosm@kntu.kr.ua](mailto:leshchenkosm@kntu.kr.ua)

Центральноукраїнський національний технічний університет;

**Вступ.** Значною проблемою сучасного виробництва продукції рослинництва є переущільнення ґрунтів, що виникає внаслідок інтенсивного використання металоємкої сільськогосподарської техніки, проведення ряду робіт ерозійно небезпечними знаряддями, повної чи часткової відмови від сівозмін, різкого зменшення вмісту органіки в оброблюваному шарі ґрунту тощо. Переущільнення ґрунту негативно впливає на його фізичні властивості, за таких умов спостерігається зменшення пористості, водопроникності та аерації, що в кінцевому підсумку знижує родючість та врожайність сільськогосподарських культур. За даними вітчизняних і зарубіжних дослідників [1, 2, 4], ущільнення ґрунту на глибині 25...40 см, за інших сприятливих умов вирощування, може знижувати врожайність до 30 %.

Для усунення негативних наслідків переущільнення на етапі обробітку ґрунту реалізують різні технологічні заходи, однак основний обробіток найкраще проводити різними за конструкціями комбінованими глибокорозпушувачами, зокрема чизельними. Зазначені агрегати забезпечують глибоке розпушення ґрунту без обертання скиби, сприяють збереженню вологи та структури ґрунтового середовища, а також суттєво знижують енерговитрати на глибокий обробіток порівняно із класичними полицевими плугами.

Відомо, що визначальним фактором ефективності різних за конструкцією глибокорозпушувачів є геометрична форма основних і додаткових робочих органів (чизельних лап, долота, стояка, додаткових крил, інших активаторів, та допоміжних елементів, наприклад зубчатих, кільчастих, борончастих котків,

дискових елементів тощо) в поєднанні з їх комбінацією в межах одного ґрунтообробного агрегату. Конструктивні особливості робочих органів глибокорозпушувачів визначають характер руйнування ущільненого шару, рівномірність і глибину розпушення, енергоємність процесу та ступінь збереження агрофізичних властивостей обробленого ґрунту.

**Мета роботи.** Метою даної роботи є оцінка впливу форми робочих органів глибокорозпушувачів та комбінації цих робочих органів в межах одного агрегату на якісні показники основного обробітку за умов переущільнення.

### **Матеріали і методи.**

У працях [1, 2, 3] розглянуто науково-технічні основи обґрунтування конструкції та параметрів комбінованих чизельних агрегатів. Автори обґрунтували параметри робочих органів, що забезпечують раціональне співвідношення глибини обробітку та енергоємності процесу. Зокрема, наголошується, що застосування комбінованих схем із чизельними лапами та встановленими на стояках додатковими конструктивними елементами (наприклад, крилами) дозволяє підвищити якість обробітку ущільнених ґрунтів без значного збільшення тягового опору.

Зарубіжні дослідники, зокрема А. Godwin, R. Spoor, M. Chen [4, 5] підкреслюють, що форми поверхонь ґрунтообробних робочих органів, матеріали їх виготовлення та розміщення робочих органів в межах одного агрегату мають вирішальний вплив на механіку руйнування ґрунтового середовища. Так, вузькі чизельні лапи забезпечують локальне глибоке розпушення (у вертикальній площині), тоді як стрілчасті лапи, чи додатково встановлені на стояку крила, більш ефективні для поверхневого руйнування, розпушування оброблюваного шару або ж зрушення необроблених виступів на дні борозни, які виникають в результаті роботи чизельних лап. Дослідження М. Chen, R. Spoor [4, 5] доводять, що оптимальні результати досягаються при використанні комбінованих систем, де відбувається поєднання різних типів робочих органів.

Таким чином, актуальним завданням є пошук раціональної комбінації робочих органів чизельних глибокорозпушувачів, яка б забезпечила високу якість

обробітку ґрунту за умов його переущільнення та водночас процес основного безполицевого обробітку характеризувався зниженими енерговитратами.

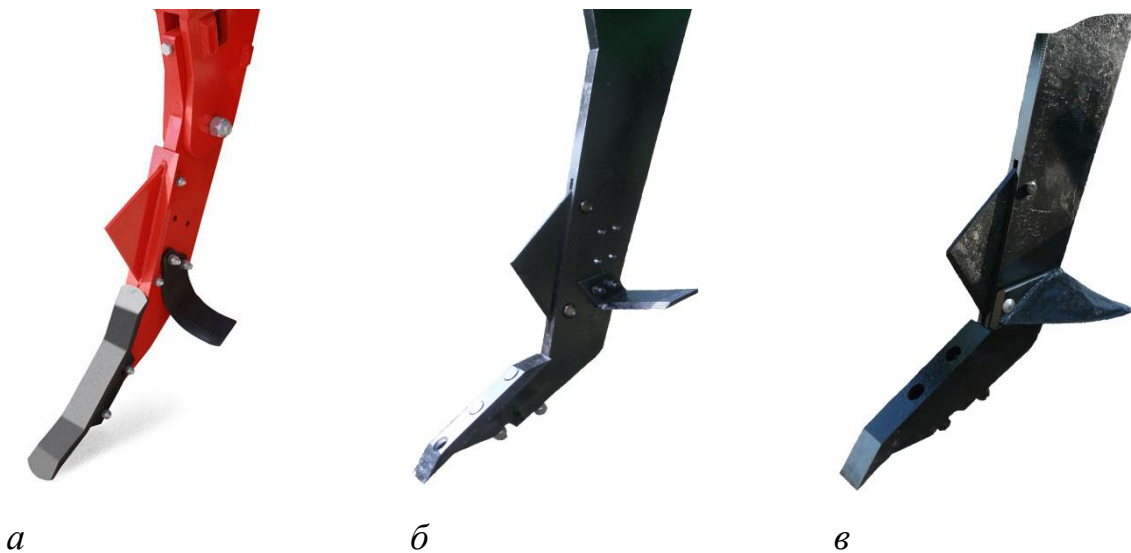
**Результати і обговорення.** Фізико-механічні основи руйнування необроблених монолітів ґрунту заключаються в тому, що процес руйнування ґрунтових шарів комбінованими робочими органами відбувається за рахунок утворення в товщі ґрунту, під час руху робочого органу на заданій глибині, системи тріщин та розривів у ґрунтовому масиві. Форми робочих органів та їх елементів і визначають характер напружено-деформованого стану ґрунту та загальний механізм його руйнування під час механічного обробітку.

Стрілчасті лапи та різні за конструкцією крила плоских форм, що встановлюються на стояках глибокорозпушувачів створюють переважно вертикальні тріщини, що сприяють покращенню водопроникності та аерації ґрунту. Долотоподібні робочі елементи ґрунтообробних робочих органів формують більш складну систему тріщин, включаючи горизонтальні та похилі деформації, що забезпечує більш повне руйнування щільних шарів.

Дослідження [1, 2, 3] підтвердили, що форма робочих органів глибокорозпушувачів суттєво впливає на енергетичні витрати при обробітку переущільнених ґрунтів, так встановлено:

- зменшення кута входження крил та стрілчастих лап з  $25^\circ$  до  $20^\circ$  знижує тяговий опір на 12...15%;
- використання опуклих форм доліт глибокорозпушувачів дозволяє зменшити питомі витрати енергії на 18...22%;
- раціональне поєднання різних типів робочих органів в межах агрегату забезпечує синергетичний ефект, знижуючи загальні енергозатрати на обробіток до 8...10%.

Згідно з дослідженнями, проведеними на полях Центральної України [2], раціональна конструкція чизельного глибокорозпушувача включає чизельні лапи з додатково встановленими вертикальними деформаторами (крилами) (рис. 1). Така конструкція працюючи в товщі ґрунту забезпечує ефективніше руйнування монолітів за рахунок створення додаткових зон деформації.



**Рисунок 1** – Чизельні лапи з додатково встановленими деформаторами (крилами):

а – чизельна лапа із серповидними крилами (Gaspardo); б – чизельна лапа із плоскими крилами (ПП «Савицький», «БМ-Системс»); в – чизельна лапа із криволінійними (опуклими) крилами

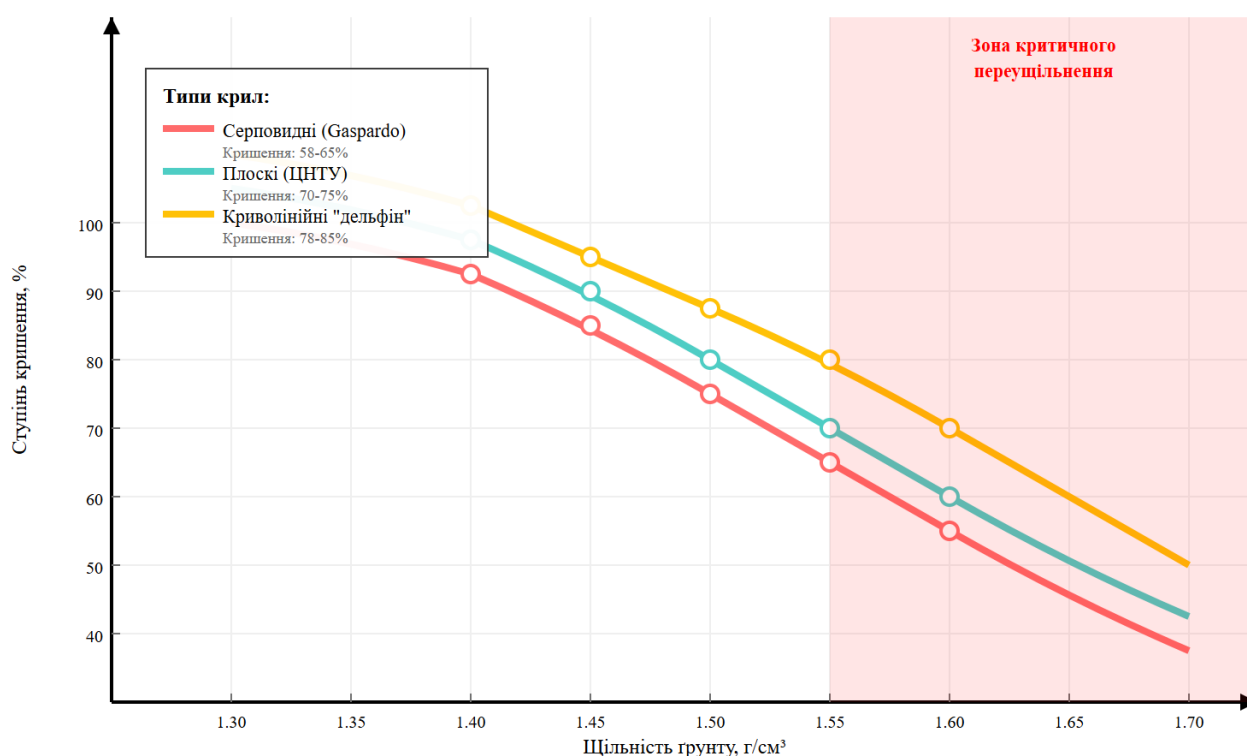
На основі аналізу сучасних конструкцій чизельних глибокорозпушувачів та досліджень [1...5] можна виділити три основні типи крил (горизонтальних деформаторів), які використовуються для підвищення ефективності обробітку переущільнених ґрунтів:

1. Серповидні крила (фірма Gaspardo) (рис. 1 а), що характеризуються серповидною формою в поперечному до напрямку руху перерізі. Такі крила забезпечують плавне підрізання та переміщення ґрунту в горизонтальній площині. За механізмом дії серповидні крила створюють плавний потік ґрунту в горизонтальній площині, що забезпечує рівномірне розпушування без різких змін напрямку деформації. Недоліком таких крил є обмежена здатність до руйнування щільних шарів ґрунту.

2. Плоскі крила (рис. 1 б) з кутом розхилу близько  $60^\circ$ , які за своїм принципом роботи в товщі ґрунту, в залежно від їх кута установки, можуть працювати подібно до стрільчастої лапи. Плоскі крила забезпечують інтенсивне кришення ґрунту за рахунок створення зустрічних потоків. Ефективні при роботі в середньо ущільнених ґрунтах.

3. Крила з криволінійною робочою поверхнею (наприклад типу «хвіст дельфіна»), форма яких запропонована В.І. Корабельським [1], характеризуються складною криволінійною формою робочої поверхні, що забезпечує оптимальний розподіл напружень в ґрунті. Завдяки складній геометрії створюють оптимальний розподіл напружень, що дозволяє ефективно руйнувати навіть сильно переущільнені шари при мінімальних енергозатратах.

Результати порівняння ефективності роботи різних типів крил, встановлених на чизельних лапах, що працюють в умовах переущільнених ґрунтів (рис. 2) наступні:



**Рисунок 2** – Порівняння ефективності роботи різних типів крил на чизельних лапах в умовах переущільнених ґрунтів

- криволінійні крила забезпечують найвищу ефективність в усьому діапазоні щільностей ґрунту;
- в зоні критичного переущільнення ( $>1.55$  г/см³) перевага криволінійних крил досягає 15-20%;
- плоскі крила показують стабільні результати в середньому діапазоні щільностей;

- серповидні крила ефективні тільки при низьких та середніх рівнях ущільнення.

### **Висновки.**

1. Встановлення крил на чизельні лапи підвищує якість розпушування переущільнених ґрунтів на 35...45% при збільшенні енергозатрат на процес не більше 12...15%.

2. Розміщення чизельних лап з крилами у 2, 3 ряди забезпечує більш рівномірний розподіл зусиль та створення суцільної зони розпушування. Для середньо переущільнених ґрунтів достатньо 2 рядів з кроком 400...500 мм, для сильно переущільнених – 3 ряди з кроком 350...400 мм.

3. Технологічні рекомендації. Для максимальної ефективності в умовах переущільнених ґрунтів рекомендується:

- використання криволінійних крил типу «хвіст дельфіна» для критично переущільнених ґрунтів ( $>1,55 \text{ г/см}^3$ );

- застосування плоских крил для середньо переущільнених ґрунтів ( $1,45...1,55 \text{ г/см}^3$ );

- серповидні крила доцільні тільки для слабо ущільнених ґрунтів ( $<1,45 \text{ г/см}^3$ );

- проведення основного безполицевого обробітку має відбуватися при вологості 18...22% та швидкості агрегату до 12 км/год.

### **Література**

1. Машина 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. – Х.: Мачулін, 2016. – 244 с.

2. Лещенко С.М. Оцінка енергоємності глибокого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами / Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 31. – Кропивницький: КНТУ, 2018 р. – С. 10–20.

3. Шевченко І.А. Теоретичне обґрунтування розміщення робочих органів глибокорозпушувача на рамі знаряддя / І.А. Шевченко, Ю.М. Лобатюк // Механізація та електрифікація сільського господарства – В. 97, Т.1. – Глеваха, 2013. – С. 168–176.

4. Zeng, Z., Ma, X., Chen, Y., & Qi, L. (2020b). Modelling residue incorporation of selected chisel ploughing tools using the discrete element method (DEM). Soil and Tillage Research, 197, 104505.

5. Spoor G. Fundamentals of cultivator design and performance / G. Spoor, R.J. Godwin // Journal of Agricultural Engineering Research. – 2019. – Vol. 43, № 2. – P. 147-165.

УДК 631.311

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ҐРУНТООБРОБНИХ ОРГАНІВ**

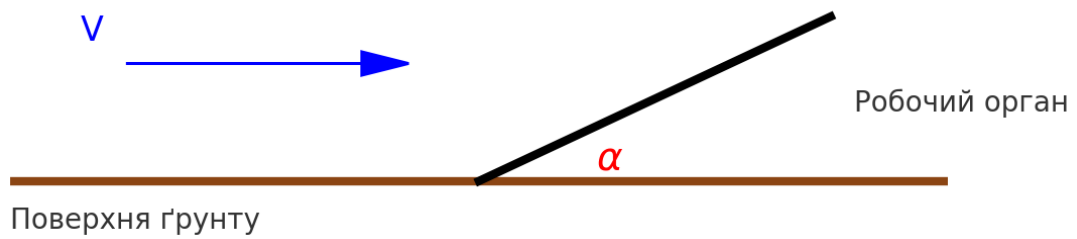
**Дриваль С.**, аспірант ДДАЕУ кафедри тракторів і сільськогосподарських машин  
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

**Пономаренко Н.**, доцент, к.т.н., ДДАЕУ кафедра тракторів і  
сільськогосподарських машин

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

### **Актуальність.**

Геометрія робочої поверхні робочих органів (леміш, лапа, долото тощо) визначає траєкторію руху ґрунтових частинок, інтенсивність кришення та величину тягового опору. На рисунку 1 подано схему, що ілюструє основні геометричні параметри, зокрема кут атаки  $\alpha$ .



**Рисунок 1** - Схема робочого органа з кутом атаки

*Вплив кута атаки.*

Експериментальні та теоретичні дослідження показують (рис. 2), що зі збільшенням кута атаки від  $10^\circ$  до  $45^\circ$  тяговий опір зростає від 5 до понад 20 кН. При малих кутах ( $<15^\circ$ ) опір мінімальний, але погіршується підрізання пласта.



**Рисунок 2** - Графік залежності тягового опору від кута атаки

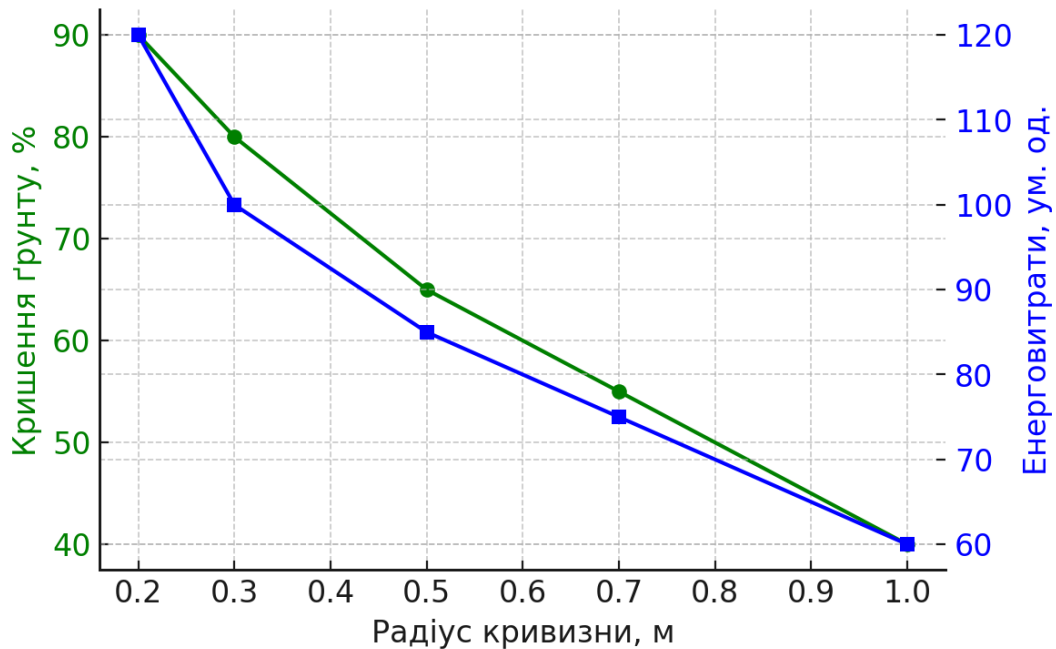
Оптимальні кути атаки для більшості ґрунтів становлять  $20\text{--}30^\circ$ , що забезпечує баланс між якістю роботи та енерговитратами.

*Вплив радіуса кривизни.*

На рисунку 3 показано залежність якості кришення ґрунту та енерговитрат від радіуса кривизни робочої поверхні.

- При малому радіусі (0,2–0,3 м) кришення сягає 80–90%, але енерговитрати високі (100–120 ум. од.).
- При збільшенні радіуса до 1,0 м кришення знижується до 40%, проте енерговитрати зменшуються до 60 ум. од.

Це підтверджує необхідність вибору раціонального радіуса кривизни, який забезпечує достатнє кришення за прийнятних енерговитрат.



**Рисунок 3** - Діаграма впливу радіуса кривизни на кришення ґрунту та енерговитрати

### Висновки.

- Схема робочого органа (рис. 1) дозволяє визначити основні геометричні параметри для моделювання процесу.
- Залежність тягового опору від кута атаки (рис. 2) свідчить про доцільність використання оптимальних значень 20–30°.
- Аналіз впливу радіуса кривизни (рис. 3) показує, що доцільно застосовувати середні значення  $R=0.5-0.7R=0.5-0.7R=0.5-0.7$  м, які забезпечують баланс між якістю кришення та енерговитратами.

Оптимізація геометрії робочих поверхонь дозволяє знизити енергоємність обробітку ґрунту на 10–15% та підвищити якість агротехнічних операцій.

## Літературні джерела

1. Abdrakhmanov, R., Kononov, M., Kalimullin, M., Troyanovskaya, I., Sakhapov, R., & Razetdinov, I. (2023). Study of the kinematics of a disc-pin working body. E3S Web of Conferences, 443, article number 04004. [doi: 10.1051/e3sconf/202344304004](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344304004).
2. Ghereș, M.I. (2014). [Mathematical model for studying the influence of tillage tool geometry on energy consumption](#). Inmateh – Agricultural Engineering, 42(1), 5-12.
3. Hevko, I., Dovbush, T., Tson, O., Dovbush, A., & Stanko, A. (2021). Synthesis of screw working bodies with elastic surfaces and results of working body research. Agricultural Machines, 47, 63-72. [doi: 10.36910/acm.vi47.649](https://doi.org/10.36910/acm.vi47.649).

УДК 631.3.02:631.372.03

## ПЕРСОНАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НЕДИСКРЕДИТАЦІЙНИХ ТЕСТУВАНЬ ЗА РЕЛЕВАНТНИМ КОНТЕНТОМ

Погорілий В., e-mail: [pogoriliy@ukr.net](mailto:pogoriliy@ukr.net)

Сидоренко В., e-mail: [sid\\_vladimir@ukr.net](mailto:sid_vladimir@ukr.net)

ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

### Вступ.

Випробування сільськогосподарської техніки в Україні мають ключове значення для забезпечення безпечності застосування машин, підвищення ефективності агротехнологій та конкурентоспроможності вітчизняного машинобудування. Умови сучасного ринку вимагають не лише підтвердження відповідності за показниками безпечності в законодавчоврегульованій сфері [1,2], а й більш гнучких інструментів оцінювання, орієнтованих на маркетингові потреби виробників та практичну релевантність для споживачів [3].

### Мета.

Диверсифікація процедур випробувань та оцінки сільськогосподарської техніки на замовлення виробників/постачальників в ринкових умовах.

## **Основна частина.**

Традиційні визначальні та функційні випробування базуються на двійковій логіці «відповідає/не відповідає». Водночас вони характеризуються складними стандартизованими процедурами, потребою у спеціалізованому інструментальному забезпеченні та значною тривалістю [4]. Такий підхід не завжди дозволяє врахувати інноваційність техніко-технологічних рішень та особливості їхнього застосування.

Запропоновано метод недискредитаційних тестувань, що поєднує в собі елементи верифікованих і валідованих методів дослідження з індивідуалізацією процедури відповідно до технічного завдання, погодженого із замовником.

Такий підхід передбачає:

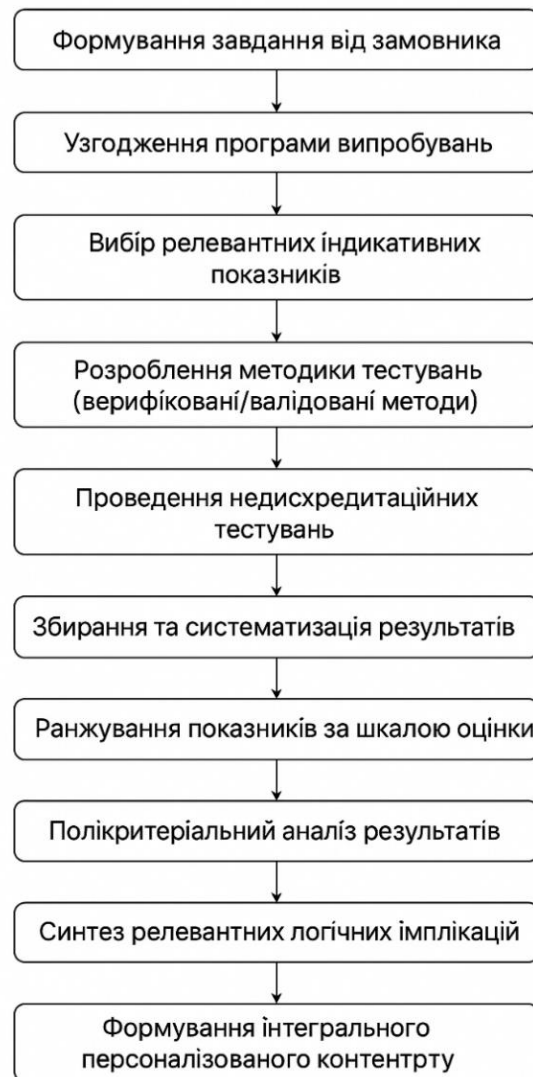
- проведення персоналізованих програмних тестів машин або агрегатів;
- використання обмеженого, але індикативного переліку показників;
- ранжовану шкалу оцінки замість двійкової;
- наочну візуалізацію результатів, що підвищує їх маркетингову цінність.

Недискредитаційні тестування дозволяють перейти від констатації відповідності до формування ціннісного контенту результатів, що підсилює позиції виробника на ринку. Це особливо важливо в умовах, коли розвиток техніки випереджає можливості стандартів, а споживач потребує зрозумілої інформації про функціональні та експлуатаційні переваги техніки.

Наступним етапом виступає персоналізація результатів тестувань, яка полягає в проведенні полікритеріального аналізу масиву експериментальних даних. Оцінювання здійснюється шляхом синтезу множини релевантних логічних імплікацій, що дозволяє інтегрувати технічні параметри машини з ринковими потребами та конкурентними пропозиціями. На виході формується інтегральний персоналізований контент, який містить:

- кількісну та якісну оцінку технічного рівня машини;
- інтерпретацію результатів у зручній для замовника формі;
- рекомендації щодо вдосконалення та ринкового позиціонування.

Порівняно з традиційними системами оцінювання якості продукції: диференційний; вимірвальний; експертний [5], такий підхід є більш гнучким, уникатиме одномірності та дозволяє виявляти навіть невеликі відмінності у технічному рівні продукції. Важливою особливістю є також можливість якісного зворотного зв'язку з виробником у процесі вдосконалення прототипу чи просування серійної моделі.



**Рисунок 1** - Діаграма персоналізації результатів недискредитаційних тестувань

**Висновок.** Персоналізація результатів недискредитаційних тестувань є перспективним інструментом техніко-економічного супроводу агротехніки на ринок.

## Список літератури

1. Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності». Відомості Верховної Ради (ВВР), 2015, № 14, ст.96
2. Directive 2006/42/EC .  
(<https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/directive-2006-42-ec-of-the-european-parliament-and-of-the-council>)
3. Погорелый Л. В. Инженерные методы испытаний сельскохозяйственных машин. К.: Техніка, 1981. 176 с.
4. ДСТУ 3021-95. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 1995. 75 с.
5. ДСТУ 2925-94. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1994. 34 с.

УДК 631.372.6:006.3:006.7

## ФОРМУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ОПИСУ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРИЧЕПІВ У ПРОЦЕДУРІ ЗАТВЕРДЖЕННЯ ТИПУ

**Козярук Л.,**  
**Погорілий В.,**  
**Муха В.,** e-mail: [agrotesthub@ukr.net](mailto:agrotesthub@ukr.net)  
ДНУ «УкрНДПВТ ім Л. Погорілого»

### Вступ.

Розвиток нормативно-правової бази ЄС у сфері технічного регулювання сільськогосподарських транспортних засобів демонструє поступову еволюцію від часткової гармонізації до комплексного підходу із запровадженням нового Регламенту ЄС [1]. Українське законодавство на сьогодні адаптує європейські норми через Технічний регламент [2].

В контексті затвердження типу сільськогосподарських причепів особливе значення має формування технічного опису, що забезпечує уніфікацію модельних рядів, їх класифікацію за категоріями, типами, варіантами та версіями. Це, у свою чергу, дозволяє виробникам отримати один сертифікат затвердження типу на широку номенклатуру продукції при забезпеченні відповідності вимогам регламенту.

### **Мета роботи:**

Систематизація підходів до визначення категорій, типів, варіантів і версій сільськогосподарських причепів, а також демонстрація взаємозв'язку цих етапів у формуванні технічного опису, який стає основою для оформлення сертифікату затвердження типу.

### **Основна частина.**

*Визначення категорії.* Категорія причепа визначається за конструкційними ознаками та сумарною технічно допустимою масою на осі. У сучасних регламентах передбачено поділ на чотири категорії та підкатегорії (Ra, Rb), залежно від максимальної конструкційної швидкості (до 40 км/год або понад 40 км/год) [1, 3].

Правильна категоризація є першою передумовою формування технічного опису.

*Формування типу.* Тип транспортного засобу охоплює сукупність причепів, що відносяться до однієї категорії, мають однакову кількість осей, конструкцію шасі (рами) та є продукцією одного виробника. Відповідно, зернові, силосні чи універсальні причепа можуть бути віднесені до одного типу за умови ідентичності зазначених параметрів [4].

Маркування (кодування) типу в рамках однієї категорії визначається самим виробником і такий підхід дозволяє інтегрувати широкий модельний ряд під один сертифікат затвердження типу.

*Наповнення варіантами.* Варіант визначається всередині одного типу та враховує: конфігурацію керованих осей; кількість гальмівних осей;

допустимі відхилення максимальної маси (не більше  $\pm 10\%$ ).

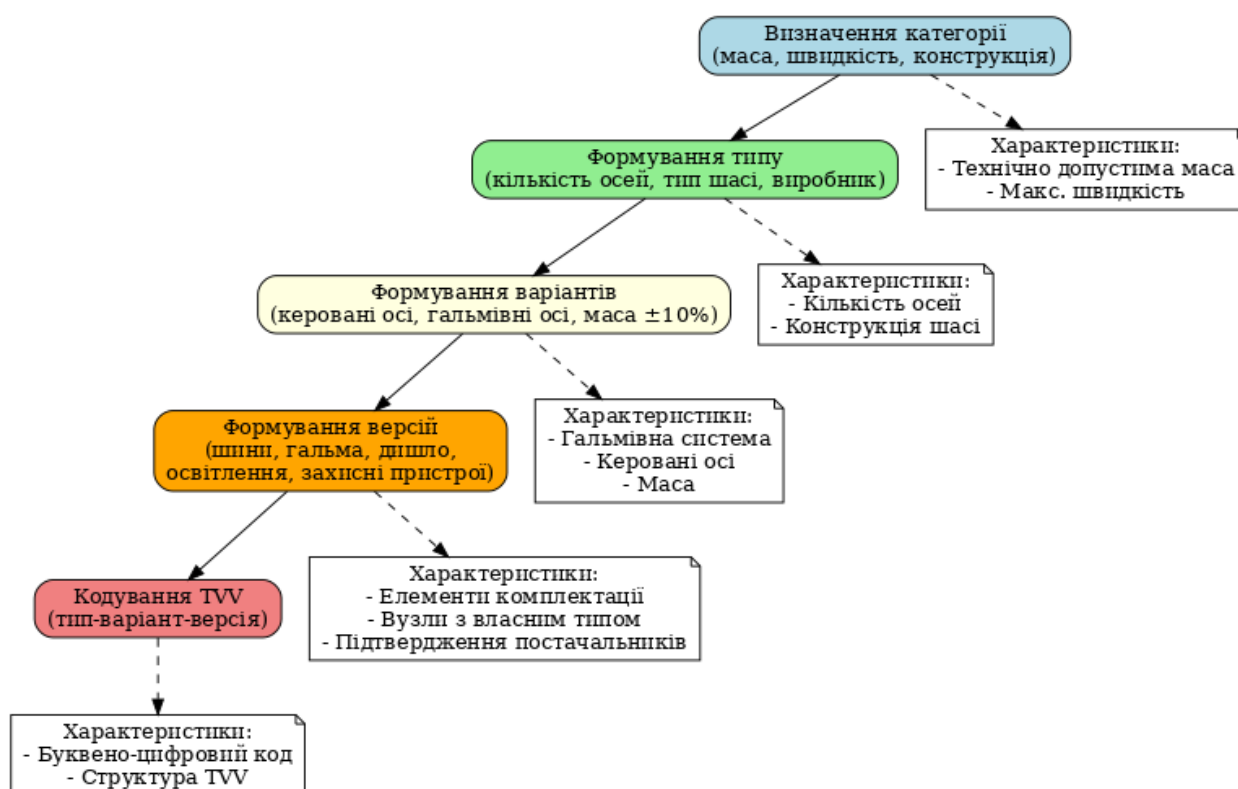
Таким чином, варіанти дають змогу структурувати модельний ряд із врахуванням різних експлуатаційних характеристик [1,4].

*Опис версій.* Версії визначаються комплектацією транспортного засобу: використанням шин, гальмівних систем, захисних пристроїв, освітлювального обладнання тощо. Частина цих елементів має власне затвердження типу, інші – підтверджуються виробником [5].

Версія відображає гнучкість у виробничій та маркетинговій стратегії, дозволяючи пропонувати продукцію з різними опціями у межах одного сертифікованого типу.

*Система кодування TVV.* Для ідентифікації використовується буквено-цифровий код «тип-варіант-версія» (TVV), що забезпечує чіткий облік та відображення у технічному описі.

Це дозволяє уніфікувати маркування, зберігаючи водночас комерційну гнучкість виробника.



**Рисунок 1** – Діаграма підходів з формування технічного опису на модельний ряд сільськогосподарських причепів

## Висновки.

Формування технічного опису базується на послідовному визначенні категорії, типу, варіантів та версій причепів. Обов'язковим критерієм для

віднесення машини до одного типу є діапазон технічно допустимої маси та допустимий швидкісний режим транспортного засобу з послідуєчим обмеженням щодо однотипної конструкції шасі та однакової кількості осей з поділом на підкатегорії (варіанти) з розподілом по вантажопідйомності, що гарантує об'єктивність класифікації.

Поетапне визначення категорії, типу, варіанту та версії об'єднує модельні ряди у логічні групи та дозволяє створити повний інформаційний документ, що дозволяє отримати один сертифікат затвердження типу для широкого модельного ряду серійної продукції, що знижує адміністративне навантаження та витрати виробників.

### **Список літератури**

1. Safe agricultural and forestry vehicles Regulation (EU) No 167/2013 of the European Parliament and of the Council of 5 February 2013.

2. Про затвердження Технічного регламенту затвердження типу сільськогосподарських та лісгосподарських тракторів, їх причепів і змінних причіпних машин, систем, складових частин та окремих технічних вузлів. Постанова КМУ від 28 грудня 2011 р. № 1367.

3. ISO and agriculture great things happen when the world agrees. 2017 <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100412.pdf>

4. Agricultural Trailers Type-Approval Code of Practice (AIS-112). India, 2012. [https://hmr.araiindia.com/Control/AIS/PUB\\_2~17~2012~2~23~46~PM~AIS112\\_F.pdf](https://hmr.araiindia.com/Control/AIS/PUB_2~17~2012~2~23~46~PM~AIS112_F.pdf)

5. Испытания прицепа сельскохозяйственного PV 2107 на оценку соответствия согласно Регламенту Европейского Союза (ЕС) № 167/2013 (EU Regulation № 167/2013) об утверждении типа и надзора за рынком сельскохозяйственных и лесохозяйственных транспортных средств, Сводный протокол УкрНДИИПВТ им. Л. Погорелого № 01-406Тр 2023 от 18 декабря 2023 года

## СИМУЛЯЦІЯ Y-ПОДІБНОГО ЗМІШУВАЧА КОРМІВ

**Пономаренко Р.**

Аспірант ОНП «Галузеве машинобудування»,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

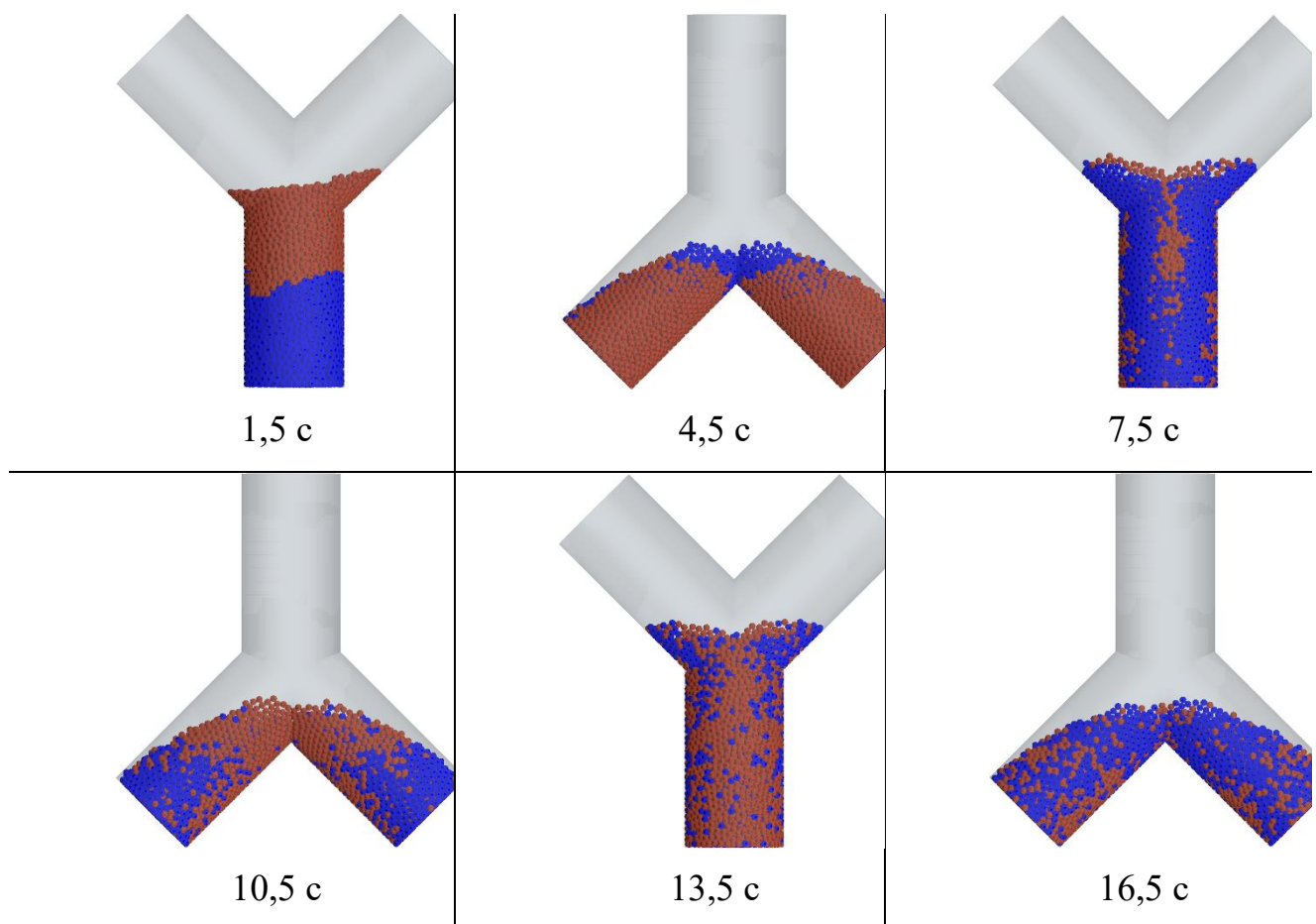
У сучасних умовах розвитку тваринництва особливого значення набуває ефективність підготовки кормів, що зумовлює підвищену увагу до технологій змішування компонентів кормових сумішей. Висока однорідність таких сумішей безпосередньо впливає на продуктивність тварин і їхнє здоров'я [1]. Однією з перспективних конструкцій змішувачів, що забезпечують ефективне перемішування різномірних компонентів, є Y-подібний змішувач. Його конструктивна особливість полягає в наявності двох каналів, розміщених під певним кутом до центральної змішувальної камери, що сприяє циркуляції матеріалу і прискоренню процесу перемішування.

Останніми роками у галузі машинобудування і агропромислових технологій набули поширення методи комп'ютерного моделювання, що дають змогу аналізувати роботу обладнання без необхідності виготовлення фізичних прототипів. Одним із найбільш ефективних інструментів для вивчення поведінки сипких матеріалів є метод дискретних елементів (Discrete Element Method, DEM), що дозволяє моделювати рух та взаємодію великої кількості окремих частинок з урахуванням міжчастинкових зіткнень, сили тертя, пружних деформацій, а також впливу конструктивних елементів обладнання [2–3].

Метою цієї роботи є дослідження процесу змішування в Y-подібному змішувачі з використанням чисельного моделювання та визначення оптимальних параметрів конструкції, що забезпечують найвищий ступінь однорідності кормової суміші. Для досягнення мети було поставлено наступні завдання: побудова тривимірної моделі змішувача з урахуванням його геометричних особливостей; проведення комп'ютерної симуляції змішування сипких матеріалів за методом дискретних елементів; аналіз впливу

параметрів конструкції та режимів роботи на ефективність процесу; визначення часу досягнення заданої однорідності.

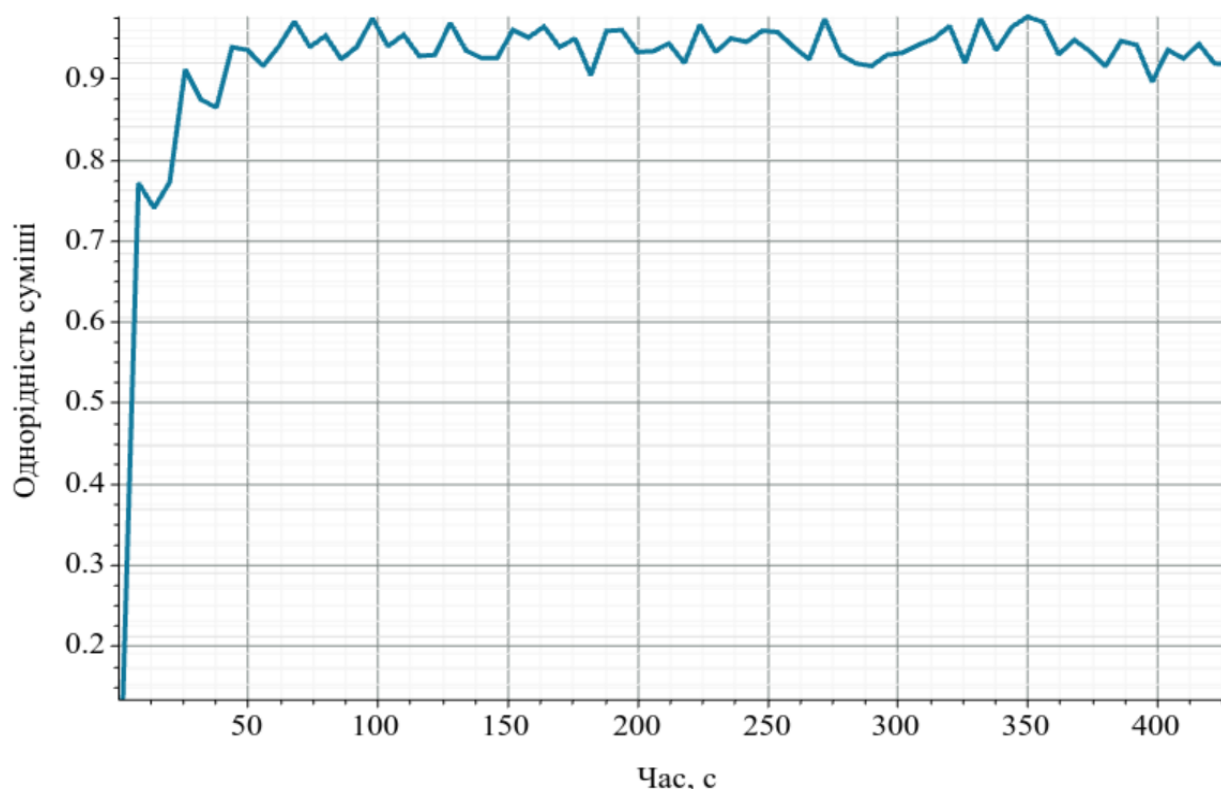
У процесі дослідження було використано програмне забезпечення Simcenter Star-CCM+, що дозволяє створювати реалістичні моделі змішування сипких речовин (рис. 1). Геометрія змішувача включала два канали, розміщені під кутом  $45^\circ$  до вертикальної осі, що з'єднуються в центральній частині, де здійснюється активне перемішування. Частинки моделювалися як кулі діаметром від 3 до 6 мм із щільністю  $700 \text{ кг/м}^3$  та коефіцієнтом тертя між частинками 0,45. Змішування відбувалося за рахунок обертального руху змішувального органа з частотою 10 об/хв.



**Рисунок 1** – Візуалізація симуляції Y-подібного змішувача кормів

Однорідність суміші оцінювалася за коефіцієнтом варіації концентрації частинок різного кольору у контрольних об'ємах змішувача. Встановлено, що при

зазначених параметрах часу досягнення однорідної суміші з коефіцієнтом однорідності менше 95% становив приблизно 110–120 с (рис. 2). Подальше збільшення часу не призводило до суттєвого покращення однорідності, що свідчить про досягнення насиченого режиму змішування.



**Рисунок 2** – Динаміка зміни однорідності суміші в Y-подібному змішувачі кормів

Було також досліджено вплив кута нахилу каналів. При зменшенні кута до 30° спостерігалось зниження інтенсивності циркуляції частинок і подовження часу змішування до 150 с. У разі збільшення кута до 60° навпаки – досягалася краща динаміка переміщення частинок, однак зростало енергоспоживання змішувача. Таким чином, оптимальним кутом нахилу каналів було визначено значення 45°, за якого забезпечується баланс між інтенсивністю перемішування та енергоефективністю.

Таким чином, результати симуляції дозволяють зробити такі висновки: по-перше, Y-подібна форма змішувача сприяє активній циркуляції компонентів кормової суміші, що підвищує ефективність перемішування порівняно з

традиційними горизонтальними або вертикальними конструкціями; по-друге, метод дискретних елементів є надійним інструментом для передбачення поведінки сипких середовищ у змішувачах і дозволяє оптимізувати параметри конструкції на етапі проектування; по-третє, вплив кута нахилу каналів, швидкості обертання і геометрії змішувального органа є ключовими факторами, що визначають час досягнення необхідної однорідності суміші.

Отримані результати можуть бути використані для конструювання та модернізації змішувачів у кормовиробництві, а також при розробці інженерних рішень у харчовій, фармацевтичній та будівельній промисловості. Застосування чисельного моделювання дозволяє скоротити витрати на натурні експерименти, зменшити кількість фізичних прототипів і підвищити загальну ефективність розробки нових технологій. У перспективі дослідження можуть бути розширені за рахунок використання гібридних моделей, що поєднують методи DEM і CFD (обчислювальна гідродинаміка), для дослідження поведінки вологих сумішей або матеріалів зі складною структурою.

Загалом симуляція Y-подібного змішувача підтверджує його високу ефективність у приготуванні однорідних кормових сумішей та відкриває перспективи для подальшої оптимізації конструкції та режимів роботи змішувального обладнання.

### **Список використаних джерел**

1. Baris A. Impact of Feed Quality on Livestock Productivity. *Journal of Livestock Policy*. 2023. Vol. 2(1). P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.47604/jlp.v2i1.2112>
2. Алієв Е. Б. Чисельне моделювання процесів агропромислового виробництва: підручник. Київ: Аграрна наука. 2023. 340 с. ISBN 978-966-540-584-9. DOI: <https://10.31073/978-966-540-584-9>
3. Алієв Е. Б., Кошулько В. С., Кочережко Н. В. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів роторного змішувача комбікормів періодичної дії. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2023. Вип. 3 (122). С. 5–13. DOI: <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2023-3-1>

## **АСПЕКТИ КОНСТРУЮВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОЛІЙНОЇ ДОМІШКИ У ЛУШПИННІ СОНЯШНИКУ**

**Мельник С.**, аспірант, e-mail: stealths1978@gmail.com

**Кошулько В.**, к.т.н., завідувач кафедри харчових технологій,  
e-mail: koshulko.v.s@dsau.dp.ua

**Кудрявцев І.**, Ph.D., асистент кафедри харчових технологій  
e-mail: kudravcevigor898@gmail.com

**Бардадим О.**, аспірант  
e-mail: alik777bar@gmail.com

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м.Дніпро

**Мельник М.**, технічний директор, e-mail: mykhaylo.melnyk@gmail.com

ТОВ НВО «Сортувальні машини»

**Вступ.** Найбільш значимою технічною культурою, яка вирощується в Україні з огляду на її внесок у обсяги бюджетного поповнення – це соняшник. Зростаючий попит на соняшникову олію у світі в зв'язку із світовою тенденцією здорового харчування та веган харчування, останніми дослідженнями про негативний вплив тваринних жирів та пальмової олії на зростання кардіологічних захворювань, а також успіхи у створенні нових гібридів соняшнику, які мають більшу олійність, ніж сорти популяції, жирно кислотний склад, який приближає якість соняшникової олії до якості оливкової олії, високу врожайність гібридних сортів – всі ці фактори свідчать про стійкий попит на соняшникову олію у ближньому та дальньому майбутньому.

На протязі двох десятиріч врожайність невпинно зростає, досягнув середнього показника 21,8 ц/га у 2024 році проти 11,2 ц/га 20 років тому. У той же час національний рекорд врожайності соняшника в Україні вже досягнув відмітки 55,24ц/га.

Стрімке підвищення валового збору насіння соняшника та потенціал врожайності вимагають звертати особливу увагу на утилізацію відходів переробки

насіння соняшника у соняшникову олію та шрот. Генерація відходів досить значна, знімання лушпиння досягає 17%, а нормативне вилучення сміття при переробці насіння 3%. Оператори олійного ринку вже мають значні досягнення в утилізації лушпиння соняшника як палива для забезпечення потреб підприємств у електричній та тепловій енергії та досягненні енергетичної автономії виробництва.

Мінеральна сміттева домішка, органічна сміттева домішка, та окремо зернова домішка, яка є ресурсно цінною складовою зернової суміші, зазначені у кожній із фракцій: і засмічувача, і основного насіння. Таким чином, ресурсно цінна складова «зникає» з поля зору переробної галузі завдяки впливу «людського фактору».

Така невизначеність надає змогу суб'єктам господарювання самостійно коригувати цифри врожайності, валового збору та інші показники у розмірі майже 10% до об'ємів згідно нормативної межі допустимої максимальної кількості сміттевої домішки стосовно до положень ДСТУ4694, а також вилучення із статистичного обігу даних, які можуть бути об'єктами оподаткування.

У випадку отримання даних у неповному обсязі, та/або відсутності даних, наведених у Методологічних положеннях, здійснюється оцінка багатьох статистичних показників, у тому числі: площа посівна сільськогосподарських культур, обсяги виробництва (валовий збір) сільськогосподарських культур та ін.

Оцінки статистичних показників здійснюються шляхом застосування статистичних методів, що дозволяють компенсувати відсутню інформацію.

Тобто і рекомендації стандартів і вимоги статистичного обліку враховують ситуацію, коли у суб'єктів підприємництва відсутні засоби лабораторного визначення кількості олійної та сміттевої домішок а також засоби технологічного оснащення для тонкого сортування відходів та вилучення олійної домішки для подальшого використання у технологіях виготовлення харчових та кормових продуктів.

Відсутність методики підготовки проб, аналітичного обладнання та відповідних засобів технологічного оснащення для сортування зернової домішки відображає незавершена класифікація зерна за ДСТУ 3768.

Сортування зернової домішки потребує послідовного використання вже існуючих засобів технологічного оснащення або виготовлення адаптивного

сортувального обладнання з використанням мехатронної елементної бази та створення лабораторного агрегатного обладнання, яке має можливість використання декількох способів взаємодії зернової суміші та робочого органу.

**Мета роботи.** Метою роботи є вивчення поточного стану проблеми конструювання обладнання для визначення олійної домішки у лущинні

с

**Матеріали і методи.** Матеріалами дослідження вибрані наукова література (книги, статті, дисертації), статистичні дані, результати попередніх наукових досліджень, технічна та конструкторська документація та звіти.

Також піддавалося цілеспрямованому систематичному вивченню показники, притаманні олійній домішці, а також експериментальне визначення явищ та об'єктів, які спостерігалися при сортуванні олійної домішки різноманітними сортувальними машинами. В результаті систематизації та узагальнення схожих явищ та їх упорядкування розроблено технічне завдання на розробку конструкції експериментального зразка лабораторної сортувальної машини для визначення відсотку олійної домішки у лущинні та відходах переробки насінневої суміші соняшнику.

**Результати та обговорення.** Вирішенням проблем використання відходів були зайняті провідні вчені України: Котов.Б.І., Степаненко С.П., Михайлов Є.В., Нурсінов Ю.О., Алієв Е.Б., Задосна Н.О., Петік П.Ф. та інші, які дослідили фізико-механічні та біохімічні властивості нового сировинного джерела та запропонували низку технічних рішень засобів технологічного оснащення переробки зернових відходів.

Проблемою вилучення олійної домішки з відходів насіння соняшнику та з лущиння є стохастичність властивостей компонентів сміття насіння, невизначеність системи, тобто поява у суміші властивостей, що не притаманні її окремим фракціям, властивості суміші не є сумою властивостей її фракцій, а також флуктуація показників робочого середовища. Волога має значний вплив на морфометричні показники насіння та відходів соняшника.

Процесу аналізу насіннєвої суміші передують пробовідбір та підготовка проби до аналізу.

При відборі проби насіння потрібно враховувати вимоги до якості сировини, вимоги національних та міжнародних регламентів щодо показників якості, а також важливим чинником є присутність та впровадження системи менеджменту якості. Відсутність хоча б декілька аспектів цієї важливої операції може звести нанівець результати аналізу.

Сортування зерна та відходів – це різнопланова складна науково-технічна проблема, яка залежно від постановки завдання має різноманітні рішення. Відносно сортування домішок та відходів слід зауважити, що сортування сміття, відходів та побічних продуктів деяких сільськогосподарських культур ще не мають ефективного вирішення з боку агроінженерії.

Із комбінацій фізичних властивостей, які застосовуються при проведенні аналізу, можливо викреслити ручні, механічні, високотехнологічні аналізатори (у конструкціях яких використовуються мехатронні елементи), та комбіновані аналізатори.

Аналізатори, в конструкції яких закладений спосіб аналізу за морфометричною ознакою (решітного типу), мають декілька критичних недоліків, які перешкоджають їх використанню для аналізу відходів зерна та насіння. Суміш відходів зерна та насіння має у своєму складі 7 фракцій, які за морфометричною ознакою являються ідентичними та не розділяються на фракції. Аналізатори мають низьку технологічну ефективність 60%-80%, і не можуть відповідати метрологічним вимогам.

Визначають три групи механічних аналізаторів залежно від кількості ознак, за якими проводиться аналіз зернової маси:

- аналізатори, в яких для поділу зернової маси використовується одна ознака (пневматичні (повітряні), трієри, фрикційні, гравітаційні, оптичні, гідравлічні, електричні, магнітні);
- аналізатори, в яких поділ зернової маси проводиться послідовно за двома та більшою кількістю ознак (повітряно-решітно-трієрні, повітряно-решітні тощо).

- аналізатори, в яких для поділу зернової маси використовується комбінація ознак, причому поділ за декількома ознаками проходить одночасно на одній робочій поверхні (падді-машини, вібраційні аналізатори із фрикційними поверхнями тощо).

Високотехнологічні аналізатори. Незважаючи на тривале минуле, через технологічні, економічні та експлуатаційні обмеження, сортування не досягло значних успіхів у очищенні насіння та зерна сільськогосподарських культур.

Однак, прогрес у вимірюванні та кількісній оцінці характеристик поверхні сировини у зв'язку зі швидким розвитком обчислювальних та програмних технологій, а також значне покращення оптичної роздільної здатності та пов'язаних з ними електронних компонентів дозволяють прогнозувати швидке покращення процесів сортування.

Результатом вивчення аспектів конструювання обладнання для визначення олійної домішки у лущинні соняшнику став патент України на корисну модель №158445 «Адаптивний аналізатор домішок у суміші зерна з програмованими параметрами».

**Висновки.** Способи лабораторних визначень та обладнання для аналізу розвивається випереджувальними темпами за технічний рівень засобів технологічного забезпечення, що не надає змоги скористатися перевагами циферізації аналізів через відсутність негативного зворотнього зв'язку з засобами технологічного оснащення.

Відсутність системності та пропущені етапи технічної еволюції технологічного обладнання, а саме відсутність багатокритеріального адаптивного обладнання з оптимізацією на фінальних показниках якості цільового відсепаруємого продукту.

Відсутність стандартів програмного забезпечення, (за винятком програмного забезпечення з відкритим кодом для потреб освітнього процесу) що спонукає розробників новітнього лабораторного обладнання закривати доступ до інтеграції лабораторного обладнання у АСУТП.

Аналізатори, в конструкції яких закладено методи спектроскопії, проводять аналіз та визначення параметру загальної маси сортуємої суміші (NIR, ЯМР), або

визначають параметри окремої зернини (фотосепарація, рентгеноскопічний метод), що не дозволяє визначити кількість олійної/зернової домішки у суміші. Методи спектроскопії потребують попереднього розділення суміші на фракції.

Використання сортувальних машин які використовують методи спектроскопії, неможливо для сортування відходів соняшника на сьогоднішньому етапі розвитку приладів сортування.

Сортування сміття, відходів та побічних продуктів деяких сільськогосподарських культур ще не мають ефективного вирішення з боку агроінженерії, тому нагальним завданням агроінженерії має бути розробка нових машин на основі надійних систем завантаження, вивантаження та вимірювання параметрів зерна.

### Література

1. Мельник С.М., Кошулько В.С., Мельник М.М. «Аналіз проблем застосування мехатронних засобів контролю якості суміші відходів». Збірник тез доповідей XX Міжнародної науково-практичної конференції: «Технічний прогрес в АПК», Державний біотехнологічний університет, 21-22 травня 2025, С.409-413 - Харків, 2025. 541 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://agromaster.info/science/conference>.

2. Методологічні положення державного статистичного спостереження. Площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур. Наказ Державної служби статистики від 24 вересня 2024 року № 231. Київ – 2024р.

3. International Rules for Seeds Testing (2025)/ SeedSci & Technol., 27 Supplement, 1 – 333. / International Seeds Testing Associating (ISTA). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.seedtest.org/en/international-rules-for-seed-testing-rubric-3.html>.

4. COMMISSION REGULATION (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006

5. Луценко М.В., Калина В.С., Семяшкін О.Ю., Мельник М.М. Сучасні європейські вимоги до якості соняшnikової та коріандрової олії. Інтегровані технології та енергозбереження. ХІІ. 2015 р., Т. 1, сс. 96-100. ISSN: 2078-5364.

6. Кудрявцев І.М., Луценко М.В., Мельник С.М., Мельник М.М. Аспекти сталого розвитку підприємства в умовах «циркулярної економіки» Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. ЛНУ ім. Тараса Шевченка – Полтава, 2023. – С. 736-738. DOI: <https://doi.org/10.12958/978-617-8016-78-4-2023>

7. Кудрявцев І.М., Луценко М.В., Мельник С.М., Мельник М.М. Проблеми впровадження систем якості на підприємствах середнього та малого бізнесу. Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. ЛНУ ім. Тараса Шевченка – Полтава, 2023. – С. 736-738. DOI: <https://doi.org/10.12958/978-617-8016-78-4-2023>

8. Богомолів, О. О. (2017). Аналіз конструкцій сепараторів для сепарації важкороздільних зернових сумішей. Інженерія переробних і харчових виробництв, 1, 47-51.

9. Богомолів, О. В., Лялюк, В. І., Шаренко, А. Д., Шестірка, І. О., Єременко, В. Є., & Богомолів, О. О. (2019). Сепарація зернових сумішей за розмірами та аеродинамічними властивостями. В Матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв», ХНТУСГ, Харків (С. 7-9).

10. H.R. Manouchehri. Sorting: Possibilities, Limitations and Future. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.diva-portal.org/FULLTEXT1](http://www.diva-portal.org/FULLTEXT1).

## ІНЖЕНЕРНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА ДЛЯ РОБОТИ НА ПОХИЛИХ ҐРУНТАХ

**Бурсова М.**, асистент, e-mail: maryna.bursova@pda.u.edu.ua

Полтавський державний аграрний університет

**Вступ.** Сільське господарство України значною мірою залежить від ефективного використання орних земель, понад 50% з яких мають ухил від 3-5 градусів і вище. Ці ділянки піддаються інтенсивному впливу факторів деградації, особливо водної та вітрової ерозії, що призводить до втрати родючого шару і зниження врожайності. Заміна оранки на менш енергоємні процеси, такі як дискування або культивація, не вирішує проблему ущільнення нижніх шарів ґрунту, так званої «плужної підшви». Цей шар порушує водно-повітряний баланс, ускладнює розвиток кореневої системи рослин і призводить до зниження врожаю.

Незважаючи на численні дослідження, існуючі технології та знаряддя для обробітку схилів не в змозі повністю задовольнити агротехнічні вимоги, що призводить до сповзання верхнього шару ґрунту, заболочення низинних ділянок та подальшої деградації. Це зумовлює необхідність подальших досліджень, спрямованих на вдосконалення конструкцій ґрунтообробних машин, здатних адаптуватися до складних умов рельєфу та ефективно боротися з ерозійними процесами [1-5].

**Мета роботи.** Підвищення якості основного обробітку схилових земель глибокорозпушувачем. Об'єкт дослідження: технологічний процес основного обробітку ґрунту глибоким розпушуванням. Предмет дослідження: закономірності впливу режимних та конструктивних параметрів глибокорозпушувача на енергоємність та якість обробітку ґрунту на схилах.

**Матеріали і методи.** Методика досліджень включала: 1) теоретичні дослідження (використання методів структурно-параметричного аналізу, синтезу та математичного моделювання); 2) проєктування (створення нового ґрунторихлячого елемента в програмному середовищі Autodesk Inventor

Professional); 3) експериментальні дослідження (проведення порівняльного аналізу тягових зусиль для різних профілів робочих органів). Для визначення сил, що діють на робочий орган, використовувалась формула В.П. Горячкіна, яка дозволяє оцінити тяговий опір з достатньою точністю.

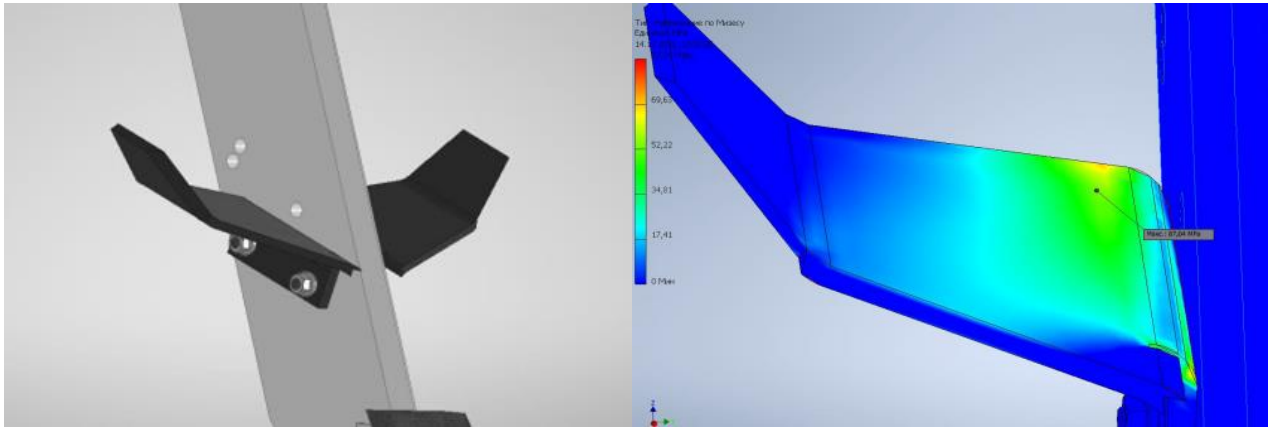
**Результати та обговорення.** Існуючі види механічної обробки ґрунту (відвальний, безвідвальний, фрезерний, комбінований) мають свої переваги та недоліки, але більшість із них не забезпечують збереження схилу під час роботи, що призводить до змиву гумусового шару. Безвідвальний обробіток, особливо глибоке розпушування, є одним з найефективніших методів розушільнення та боротьби з ерозією.

Однак, серійні глибокорозпушувачі мають ряд недоліків:

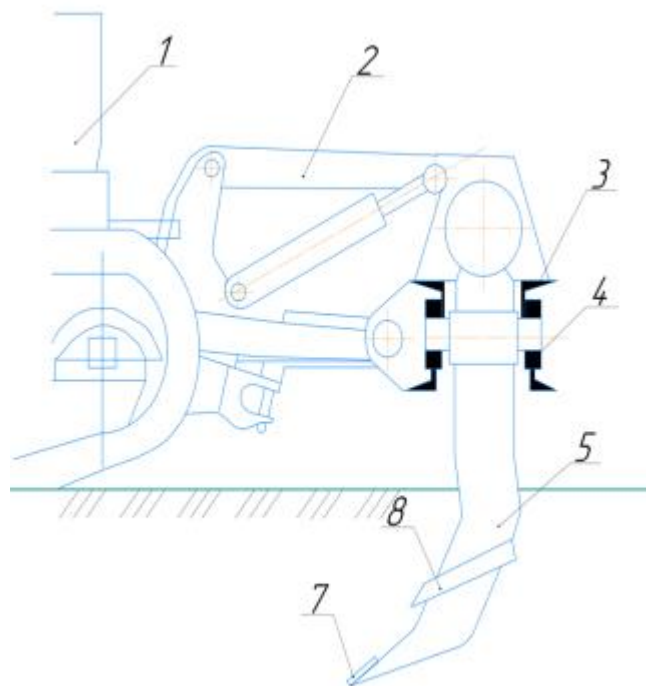
- Низька ефективність на схилах: при обробці впоперек схилу жорстко закріплені робочі органи не можуть забезпечити стійкість ґрунту, що призводить до його сповзання.
- Формування нераціональних підпірних стінок: це знижує агротехнічні властивості ґрунту.
- Висока енергоємність: особливо при використанні додаткових деформуючих елементів.
- Низька якість розпушування: на глибині 35-45 см більшість конструкцій не розпушують, а лише розрізають ґрунт.

Аналіз показав, що необхідно розробити інноваційну конструкцію, яка б адаптувалася до конкретних умов використання (рис. 1). Це дозволить повною мірою реалізувати потенціал родючих схилових земель, мінімізуючи ерозійні процеси.

Для досягнення поставленої мети було розроблено конструктивну схему нового глибокорозпушувача (рис. 2). Ключовою особливістю є можливість повороту стійок на кут, що дорівнює куту схилу. Це дозволяє стійкам зберігати вертикальне положення, забезпечуючи формування стійких внутрішньогрунтових стінок. Поворот стійок здійснюється за допомогою гідроциліндра, керованого автоматичною системою, яка реагує на сигнали від датчика контролю положення.



**Рисунок 1** – Об’ємна 3D модель стандартної ґрунторихлячої пластини з максимальними зонами навантаження на неї



**Рисунок 2** – Конструктивна схема глибокорозпушувача

Конструкція глибокорозпушувача (рис. 2) дозволяє проводити якісну основну обробку ґрунтів на схилах за допомогою створення оптимальних конфігурацій поперечних перерізів не тільки областей розпушення, але й забезпечують стійкість схилу внутрішньогрунтових стінок. Головна відмінність полягає в тому, що стійки розпушувачів при роботі зброї впоперек схилу мають можливість за рахунок повороту на кут, що дорівнює куту схилу, зберігати своє вертикальне положення. Поворот стійок здійснюється гідроциліндром керування.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень підтвердили ефективність розробленої конструкції.

Порівняльний аналіз показав, що робочий орган з профілем у вигляді напівкубічної параболи Нейля має найменший опір переміщенню. Це підтверджує його високу енергетичну ефективність.

Установка додаткових ґрунторихлячих елементів (латерально-медіальних пластин під кутом 35 градусів, наральника та нижніх уширювачів) дозволяє підвищити якість розпушування, ефективно руйнуючи ущільнену «плужну підшову».

Розроблена конструкція глибокорозпушувача, яка здатна адаптуватися до кута схилу, дозволяє повною мірою забезпечити стійкість оброблюваного поля з ухилом до 20 градусів, запобігаючи сповзанню ґрунту та зберігаючи його родючість.

**Висновки.** Загалом, проведені дослідження обґрунтовують перспективність та економічну ефективність використання інноваційного глибокорозпушувача для обробки схилів земель. Його застосування дозволить не тільки підвищити врожайність, а й суттєво знизити ерозійні процеси, що має велике значення для сталого сільського господарства.

## Література

1. Simon O., Manuwa S. Subsoiler Development Trend in the Alleviation of Soil Compaction for Sustainable Agricultural Production. International Journal of Engineering and Technology. 2018. Vol. 7. P. 29-38.

2. Merga Workesa Dula, Dereje Alemu Anawute. Design of Sub-Soiler for Deep Tillage Operation of Compacted Soil Due to Heavy Duty Agricultural Machinery Traffic on the Field. Middle East Journal of Applied Science & Technology. 2021. Vol.4, Iss.1, P. 30-50.

[https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN\\_ID3815274\\_code4435193.pdf?abstractid=3815274&mirid=1](https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN_ID3815274_code4435193.pdf?abstractid=3815274&mirid=1)

3. Song W, Ren L, Wang J, Ma Y, Guo Y, Han M, Zhao H. Methods for Constructing Soil Dynamic Models Under Intelligent Cultivation: Dynamic Interaction

Mechanisms Between Farming Tools with Complex Structures and Soil. *Agriculture*. 2025; 15(13):1355. <https://doi.org/10.3390/agriculture15131355>

4. Kadam Arjun, Chhapkhane Narendra. Design and Analysis of Subsoiler. *International Journals of Modern Trends in Engineering & Science*. 2017. Vol. 04. P.11-14.

5. Jiyu Sun, Yueming Wang, Yunhai Ma, Jin Tong, Zhijun Zhang. DEM simulation of bionic subsoilers (tillage depth >40 cm) with drag reduction and lower soil disturbance characteristics. *Advances in Engineering Software*. 2018. Vol. 119. P. 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2018.02.001>

УДК 631.313

## **РОЗРОБКА ДОСЛІДНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ**

**Вольський В.**, кандидат технічних наук, старший дослідник

e-mail: vladimir\_volskiy@ukr.net

**Польовий Б.**,

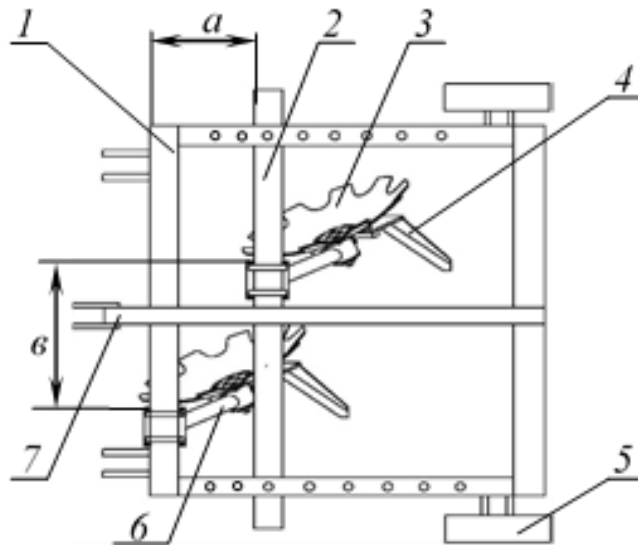
Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України

**Вступ.** Аналіз систем та пристроїв поперечної стабілізації ґрунтообробної техніки показує на два напрями їх виконання – симетричне розміщення секцій та встановлення додаткових робочих органів-стабілізаторів.

**Мета роботи.** Розроблення конструкційно-технологічної схеми та виготовлення дослідної установки для визначення раціональних співвідношень параметрів та розроблення нових конструкційно-технологічних рішень робочих органів ґрунтообробних знарядь. Зазначене уможливить підвищити ефективність виробництва різноманітної сільськогосподарської продукції завдяки розроблення нових, більш продуктивних, енергозаощаджуючих робочих органів ґрунтообробних знарядь та агрегатів.

## Матеріали та методи.

Для підвищення ефективності роботи дискових знарядь, шляхом визначення раціональних співвідношень їх параметрів та досліджень нових конструкційно-технологічних рішень в Національному науковому центрі «Інститут механізації і електрифікації сільського господарства» (нині Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України), розроблено конструкційно-технологічну схему та виготовлено дослідну установку, рис. 1, 2.



**Рисунок 1** - Конструкційно-технологічна схема дослідної установки:

- а – відстань між суміжними робочими органами в поперечній площині;
- в - відстань між суміжними робочими органами в повздовжній площині;
- 1 - основна рама; 2 – пересувна рама; 3 – сферичний диск; 4 – плоскорізна лапа; 5 – опорне колесо; 6 – стійка; 7 – зчіпка

**Результати та обговорення.** Запропоновано приклад реалізації дослідної установки, зокрема використано стояки із дисковими робочими органами (за умови автономного їх обертання) та односторонні культиваторні підрізні лапи. Лапа 4 виконує дві функції – технологічну для підрізання гребнів, що утворилися двома суміжними дисками та стабілізуючу, регулюють за глибиною обробітку ґрунту відносно ріжучої кромки сферично-дискового робочого органу 3. Довжину плоскорізної лапи змінюють відносно відстані  $b$ ; розташування стійок з робочими

органами змінюють відносно відстаней  $a$  (в межах 0-800 мм) та  $b$  (в межах 250-450 мм). Глибину обробітку ґрунту регулюють за допомогою зчіпки 7 і опорних коліс 5, які кріплять до рами 2, 1 з можливістю встановлення в межах 5...25 см.



**Рисунок 2** - Загальний вигляд дослідної установки для перевірки агротехнологічних показників обробітку ґрунту

**Висновки.** Розроблена дослідна установка дозволяє перевірити агротехнологічні показники ґрунтообробних робочих органів. Завдяки компонованню дискових робочих органів та плоскорізних лап відбувається часткове врівноваження знаряддя в поперечній площині, а витрачену енергію, на відміну від польової дошки в плуга чи опорного колеса в дискового плуга, спрямовано на корисну дію - підрізання гребня, утвореного двома суміжними дисками.

### Література

1. Польовий Б.П. Шляхи вирішення технічних прорахунків дискових ґрунтообробних знарядь // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха. – 2009. – Вип.86. – с. 186 – 190.
2. Bulgakov V., Volskiy V., Pascuzzi S., Ivanovs S. Experimental investigations in draft resistance of spherical working tool of disk harrow / Engineering for rural development. 18-th International Scientific Conference. Proceedings - Volume 18 – Jelgava, 2019. – С. 144-152.

3. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України. – К.: Нора-принт, 1999. – 280 с.

4. Польовий Б.П., Бендера І.М., Вольський В.А., Папченко О.В., Романенко М.П. Спосіб обробітку ґрунту / Патент України на корисну модель МПК А01В 7/00, (2013.01) / ННЦ «ІМЕСГ» НААН (Україна). № 78971; заявл. 29.08.2012, опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7.

УДК 631.311

### **АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ВИНИКНЕННЯ КОЛИВАНЬ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДИСКАТОРА З ОБЕРТАННЯМ НАВКОЛО ОСІ КРІПЛЕННЯ**

**Дімітров І.**, аспірант ДДАЕУ кафедри тракторів і сільськогосподарських машин

**Пономаренко Д.**, пошукач

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

У тезах представлено аналітичну модель взаємодії сферичного диска з ґрунтовим середовищем, встановленого на пружному стояку під певними кутами до вертикалі та напрямку руху агрегату. Основна робоча гіпотеза ґрунтується на припущенні, що коливання системи «пружний стояк – диск» виникають унаслідок періодичних змін складових тягового опору. При побудові моделі враховано обертання диска та диференціацію діючих сил.

На сьогодні дискатори посідають провідні позиції серед ґрунтообробних машин. Їхня конструктивна схема включає сферичні диски як основні робочі органи, що можуть кріпитися до стояків жорсткого або пружного типу. Дослідження доводять, що диск на пружному стояку демонструє кращі результати за показниками тягового опору та якості кришення ґрунту. Водночас, уніфікація більшості стояків не дозволяє повною мірою реалізувати переваги пружного кріплення. Це зумовлює актуальність аналітичного обґрунтування оптимальних параметрів стояка.

Найбільш наближеними до даної тематики є експериментальні польові випробування сферичних дисків на пружних кріпленнях [1, с. 25–29]. Узагальнені результати досліджень дозволяють сформулювати такі висновки:

Коливальні рухи диска у будь-якому випадку сприяють зменшенню тягового опору, проте найбільш доцільними є коливання в площині його обертання. Оптимальні параметри – частота 10–20 Гц при амплітуді 10–15 мм, що узгоджується з результатами [2, с. 2–23].

Рекомендована робоча швидкість диска на пружному стояку становить 12–15 км/год.

Резонансні явища у системі «диск – стояк» спостерігаються внаслідок відчутного розходження між напрямом збуджуваних коливань та площиною обертання диска.

Якість подрібнення та розпушення ґрунту на даному етапі досліджень не була предметом аналізу.

У загальному вигляді тяговий опір складається з постійної та змінної частин.

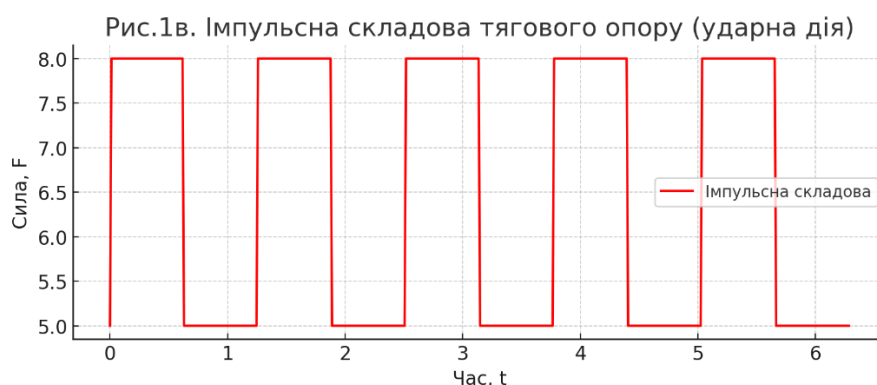
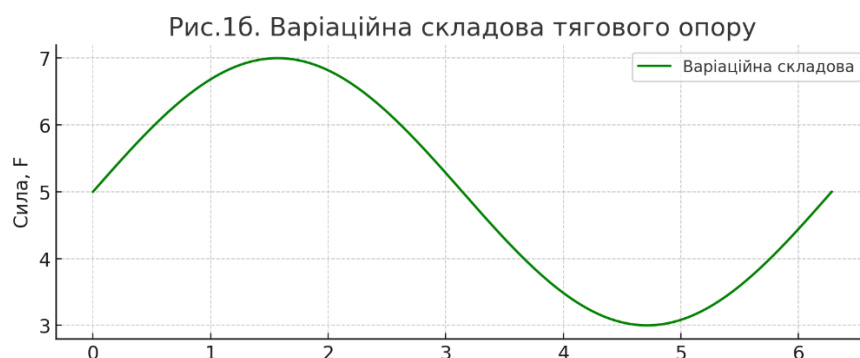
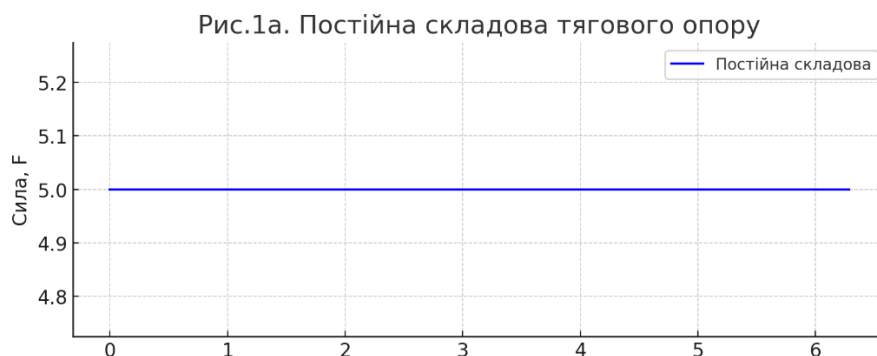
*Стаціонарна складова* (рис.1,а) визначається стабільними властивостями ґрунтового середовища й компенсується початковим пружним прогином стояка, що створює його напружений стан.

*Варіаційна складова* (рис.1,б) формується за рахунок циклічної зміни параметрів ґрунту і відповідних змін величини прогину стояка, що створює вібраційний компонент робочого процесу.

*Імпульсна складова* (рис.1,в) виникає при різкому стрибкоподібному зростанні та зменшенні опору. У цьому випадку стояк акумулює енергію деформації, яка після розвантаження реалізується у вигляді ударної дії.

Таким чином, система «диск – пружний стояк» може бути розглянута як механізм віброударного типу. Враховуючи те, що диски дискатора встановлені під кутом до вертикалі та напрямку руху, тяговий опір має складові в повздовжньому, поперечному та вертикальному напрямках. Стояк повинен забезпечувати компенсацію цих складових.

Запропонована методика дозволяє аналітично обґрунтувати необхідну жорсткість окремих зон пружного стояка для забезпечення раціонального напрямку дії складових тягового опору.



### Список використаних джерел

Булгаков В. М., Свірень М. О., Кісільов Р. В., Орищенко С. Б., Лісовий І. О. Дослідження вібраційних процесів при основному обробітку ґрунту // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2015. Вип. 5, Т. 1. С. 3–13. RL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvtdau\\_2015\\_5\\_1\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvtdau_2015_5_1_3).

Волик Б. А., Брижаний І. Ю. Обґрунтування раціональної жорсткості пружного стояка диска дискатора // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Вип. 7. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. С. 62–77.

## НАНОТЕХНОЛОГІЇ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ ТА ТЕХНІЧНОМУ СЕРВІСІ

Денисенко М., канд. техн .наук, доцент, e-mail: mdenisenko317@gmail.com

Лісовський Л., викладач вищої категорії

ВСП «Немішайвський фаховий коледж НУБіП України»

Дев'ятко О., канд. техн. наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Вступ.** Характерною особливістю розвитку ведучих економічно розвинутих країн, є перехід до інноваційної економіки, впровадження перспективних розробок, принципово нових високих технологій у всі сфери діяльності людини. Одним з пріоритетних напрямків розвитку науково-технічного прогресу в світі являються нанотехнології. При чому даний напрямок розглядається як важіль, здатний забезпечити політичну, фінансову та військову перевагу. За кордоном роботи у цій царині стрімко розвиваються на протязі останніх років в рамках багатьох пріоритетних програм урядів США, Франції, Японії, ФРН, Китаю, Південної Кореї та інших країн.

*Нанотехнології* (nanotechnology) – це сукупність методів і засобів, що забезпечують створення структур з типовими розмірами від одиниць до сотень нанометрів ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ,  $= 10^{-6} \text{ мм} = 10^{-3} \text{ мкм}$ ), а також матеріалів і функціональних систем на їх основі. Термін «nanotechnology» було запропоновано японським професором Норіо Танігучі в 1974 році, і вперше використано ним у доповіді «Про основні принципи нанотехнології» [1] на Міжнародній конференції. У теперішній концепції під узагальненим поняттям наноматеріали розуміємо структура і матеріали з якісно новими властивостями, що утворюються завдяки зменшенню в одному або декількох вимірах структурних елементів до нано метрового масштабу, а технології їх отримання і, в певних випадках, наступна робота з ними – нанотехнологіями.

В Україні бюджетне фінансування робіт в царині наноматеріалів і нанотехнологій здійснюється в рамках декількох програм, котрі входять як відповідні розділи Національної академії наук України [2]. Державна підтримка цих робіт сприяє розвитку цього перспективного напрямку, дозволила зберегти науковий потенціал та достатньо високий рівень досліджень.

Всеосяжне практичне використання нанотехнологій являється найважливішим стратегічним напрямком розвитку вітчизняних високотехнологічних виробництв, зокрема сільськогосподарського машинобудування та агропромислового комплексу.

**Мета роботи** дослідження практичного використання нанотехнологій у сільськогосподарському машинобудуванні та технічному сервісі .

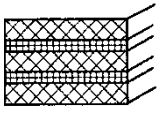
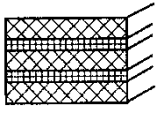
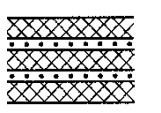
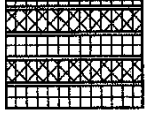
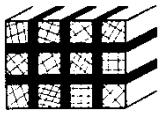
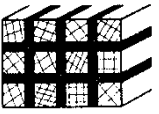
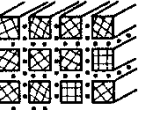
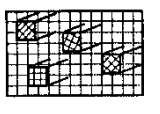
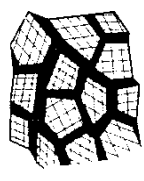
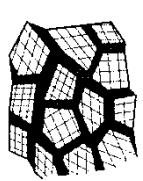
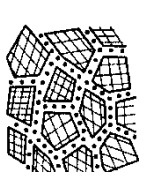
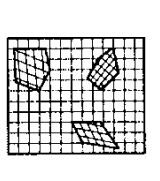
**Матеріали і методи.** Локальний якісний і кількісний аналіз хімічного складу нанокомпозитів здійснювали методом рентгенівського спектрального мікроаналізу за допомогою спектроскопії хвильової (прилад – растровий електронний мікроскоп-аналізатор РЕММА 102-02) та енергетичної дисперсії (прилади – растровий електронний мікроскоп РЕМ-106И і растровий електронний мікроскоп-аналізатор РЕММА-102-02. Вимірювали лінійні розміри топології і параметрів мікрорельєфу поверхні різних об'єктів у твердій фазі та вимірювання масової частки елементів у складі об'єктів методом рентгенівського мікроаналізу. Також у роботі використали метод Оже – спектроскопії, як один з найінформативніших поверхнево чутливих методів, над високо вакуумний Оже – мікрозонд марки JEOL JAMP – 10S.

**Результати і обговорення.** Одним із основних факторів, що визначають експлуатаційні характеристики конструкційних матеріалів та виробів, являється структурно-фазовий склад поверхневого шару. Відмінність властивостей дрібних часток від властивостей масивного матеріалу відомо вченим вже давно, і використовується в різних галузях техніки. Прикладами нанорозмірних структур можуть слугувати широко використовуються аерозолі, фарбуючі пігменти. кольорове скло, яке пофарбоване колоїдними частинками металів.

На сьогодні наноматеріали і нанотехнології знаходять використання практично у всіх галузях сільського господарства: рослинництва, тваринництва,

птахівництва, рибництва, ветеринарії, переробній промисловості, виготовлення сільськогосподарської техніки. Властивості наноматеріалів, в тому числі експлуатаційні характеристики визначаються їх структурою [3]. Скористаємося класифікацією Г.Глейтера, щоби проаналізувати основні типи структур не полімерних наноматеріалів (табл.)

**Таблиця** - Класифікація консолідованих наноматеріалів за складом, розподіленням та формою структурних складових

| Форма        | Однофазний склад                                                                    | Багатофазний склад                                                                  |                                                                                       |                                                                                       |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|              |                                                                                     | Статистичне розподілення                                                            |                                                                                       | Матричне розподілення                                                                 |
|              |                                                                                     | Ідентичні границі                                                                   | Неідентичні границі                                                                   |                                                                                       |
| Пластинчаста |    |    |    |    |
| Стовбчаста   |  |  |  |  |
| Рівноважна   |  |  |  |  |

За хімічним складом і розподіленням фаз треба виділити чотири типу структури: однофазні, статистичні багатофазні з ідентичними та неідентичними поверхнями розділу і матричні багатофазні. За формою виділяють три типу структури: пластинчасті, стовбчасті, і такі що мають рівно вісні включення. Ця класифікація враховує можливість сегрегації на міжкристалічних межах (ідентичні і неідентичні поверхні розділу), межі зерна. На думку вчених та експертів

міжнародної дослідницької організації ETC Group, використання нанотехнологій при вирощуванні зерна, овочів, рослин і тварин, а також при переробці та упакуванню продукції приведе до утворення нового класу харчових продуктів – «нанопродуктів», котрі з часом витиснуть з ринку ГМ -продукти. Нанотехнології використовуються при післязбиральній обробці соняшника, картоплі і табаку, зберіганні яблук в регулюючих середовищах, озонуванню повітря.

Нанотехнології в агропромисловому комплексі припускають використання для захисту рослин препаратів новітнього покоління, котрі відрізняються максимальним проникненням у листя, стебла і коріння активно діючих речовин за рахунок незвично малих розмірів. Здійснюється розробка проектів з використанням наноматеріалів для більш точного та безпечного доставляння пестицидів до біологічних систем, живильних речовин – до рослин.

В цих проектах використовуються наступні технології: біо розділення, біоінженерія нуклеїнових кислот, нанобіопроектинг. Наносистеми зроблять внесок безпосередньо у досягнення агропромислового комплексу: генетичне вдосконалення видів сільськогосподарських тварин і сортів рослин, біо розкладальні хімікати для підживлення рослин та захисту від шкідників, доставляння генів та лікарняних препаратів у ветеринарній практиці, а також, утворені технології для перевірки ДНК.

Точне землеробство ще називають топ орієнтованим землеробством за приписом, точним сільським господарством, акуратним сільським господарством. Така технологія стає можливою завдяки розвитку засобів зв'язку, супутникових навігаційних систем GPS, комп'ютеризації та використанню інформаційних технологій в царині автоматизації сільськогосподарського виробництва. Стрижнем технології являються спеціальні програми для аграрного менеджменту на основі геоінформаційних систем (ГІС), що дозволяють знімати, обробляти і накопичувати інформацію про місцезнаходження техніки і характеристиках сільськогосподарських угідь.

Машини, що використовуються для точного землеробства, також оснащені бортовими комп'ютерами, приймачами супутникової навігації, різноманітними

датчиками і сенсорами, автоматичними пристроями по обліку врожаю та іншим обладнанням.

Для реалізації системи точного землеробства необхідно наступне спеціальне електронне обладнання:

- приймачі сигналів супутникових радіонавігаційних систем GPS з функцією диференціальних похибок, що забезпечують дециметрову точність позиціювання на місцевості;
- бортові комп'ютери для тракторів та іншої сільськогосподарської техніки;
- обладнання для систем паралельного водіння і авто пілотування;
- геоінформаційні системи (ГІС) з даними дистанційного зондування Землі (аеро – і космічна зйомка), картами врожайності, хімічного складу поля і таке інше;
- бортові датчики на зернозбиральній техніці для моніторингу врожаю;
- дистанційні датчики для вимірювання температури і вологості ґрунту, визначення стану рослин.

За автоматичного водіння відхилення від заданої траєкторії, що виробляється GPS – приймачем і навігаційним контролером, крізь спеціальні пристрої вводяться безпосередньо у гідравлічну систему керування ходовою частиною трактора, виключаючи інертність та люфт рульового управління.

У додаток на трактор встановлюється спеціальний датчик кута повороту коліс. Так система забезпечує максимальну точність (відхилення  $\pm 2$  см) руху по маршруту без втручання механізатора. Можливі варіанти розташування обладнання на тракторі для паралельного водіння і авто пілотування показано на ри.1. Споживачі GPS – також отримують можливість використання систем копіювання, вирівнювання траєкторії, роботи по заданому контуру, визначення площі поля, контролю за продуктивністю техніки, автоматичного повертання до раніше призначеної точки, записи у пам'ять необхідних параметрів, здійснення сумісної роботи з комп'ютером техніки, що агрегатується, наприклад, оприскувача, а також проведення польових робіт у нічний час, в тумані або за підвищеної засміченості.

Картування врожайності у технологіях точного землеробства припускає комплекс заходів з використанням супутникових навігаційних систем, в основному у збиранні, обробці та зберіганні даних про врожай і вологості зерна у процесі комбайнового збирання. Для здійснення картування врожайності на зернозбиральний комбайн встановлюється комплекс наступного обладнання: приймач сигналу GPS, датчик розташування жатки, датчик потоку зерна, датчик вологості зерна, дисплей Insight. Накопичення інформації здійснюється у режимі реального часу, безпосередньо при збиранні врожаю, при цьому комбайнер на основі врожайності і вологості зерна має можливість змінювати режими роботи комбайну.

Крім створення карт врожайності і вологості зерна по збираній площі, навігаційна система створює карти висотної позначки, швидкості, виходу врожаю за масою, а також розрахункового об'єму врожаю у сухому стані. Отримані від датчиків дані відображаються на дисплеї польового комп'ютера Insight і одночасно записуються на зміну чип-карту, а за необхідності можуть копіюватися для наступної роботи на стаціонарний або переносний комп'ютер. Дане обладнання потрібне, тому що забезпечує економію засобів і коштів. Наприклад, у Європі, економічний ефект від використання GPS – обладнання у сільському господарстві досягає 50-60 євро на 1 га.

Інженерно-конструкторська практика вирішує проблему зменшення коефіцієнтів тертя за допомогою різного роду антифрикційних покриттів. Але вони використовуються не на всіх робочих органах. Зернові потоки «шліфують» (і навіть полірують) робочі поверхні зі сталей. Відполіровані поверхні швидко зазнають корозії, тому що сільськогосподарські машини навіть у дощову погоду зберігаються (як короткочасно, так і весь неробочий період) під відкритим небом. Для вирішення цієї проблеми пропонуємо обробку наноматеріалами (нанопокриттями), що може у 2-3 рази знизити коефіцієнт тертя зернистих сипучих матеріалів по металевим поверхням. За успішної реалізації пропонована розробка забезпечить зменшення конструктивної маси транспортуючих робочих органів на 30-35%, зменшення матеріалоемності не менше ніж на 30%, травмування зерна при

транспортуванні робочими органами зернозбирального комбайну на 40-45%, сприяє зростанню збирання зерна високих класів на 10-12%.

Для АПК великого значення набуває створення нанорозмірних плівок на деталях машин, що надає їм нових властивостей. Ці плівки суттєво розширюють діапазон умов експлуатації відповідальних вузлів машин та обладнання. Підвищення температуростійкості поверхні посилює зносостійкість робочих деталей, а сезонність роботи сільськогосподарської техніки не впливає на циклічну працездатність агрегатів. Захисні наноплівки вже широко використовуються різними підприємствами АПК та мають потенціал для поширення використання. Надання поверхням унікальних властивостей, включаючи створення надтонких покриттів, поширює можливості конструкторів обладнання, приладів та комплексів машин для АПК, особливо для сільськогосподарської техніки, що працює у дуже несприятливих умовах. [4.5]

### **Висновки.**

Перетворення матеріалів у нано структурний стан, призводить до суттєвого зростання їх властивостей міцності. Основними видами нано структурних матеріалів являються нано кристалічні і нано композиційні матеріали. З них виготовляють деталі машин, що працюють в умовах значних механічних навантажень.

Перспективним напрямком використання нанотехнологій являється зміцнення деталей машин шляхом напилення нанопорошків на робочі поверхні для підвищення їх зносостійкості. У якості матеріалів покриттів, як правило, використовують багатокомпонентні склади з великим набором легуючих елементів, за допомогою яких конструкційному матеріалу деталі можливо надати комплекс нових властивостей.

### **Література**

1. N.Taniguchi, On the basic concept of nanotechnology, Proceedings of the International Conference on Production Engineering, 1974.
2. Концепція Державної цільової науко-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 роки, від 2.04.2009р. №331-р.

3. Уильямс, Л. Нанотехнологии без тайн / Л.Уильямс, У.Адамс: пер. с англ. Ю.Г.Гордиенко. М.: Эксмо, 2009.368 с.
4. Нанотехнології у ХХІ столітті: стратегічні пріоритети та ринкові підходи до впровадження / Г.О .Андрущук, А.В .Ямчук, Н.В .Березняк, Т.К .Кваша та ін., монографія. – К.: УкрІНТЕІ, 2011. – 272с.
5. Покропивный В.В., Скороход В.В. Перспективы наноматериаловедения // « Вісник» УМТ №1 (1) 2008. С.55-70

УДК 620.3:539.8

## **СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НАНОСИСТЕМ У ЯКОСТІ ВІДНОВНИХ ТА ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ**

**Денисенко М.,** к. т. н., доцент

**Лісовський Л.,** викладач вищої категорії

ВСП «Немішаївський фаховий коледж НУБіП України»

**Дев'ятко О.,** к.т.н., доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Вступ.** Одне з найважливіших призначень сучасного матеріалознавства являється дослідження закономірностей формування мікроструктури нано композиційних матеріалів. Це пояснюється особливою увагою до фундаментальних завдань створення композитних систем, і використанням у самих різних галузях техніки і технологій. Тому розробка фундаментально нових фізико-технологічних етапів формування структури багатокомпонентних систем – одна з основних проблем нано матеріалознавства і нанотехнологій.

У 1959 році видатний американський фізик Річард Фейнман (Richard Feynman) в своїй доповіді, у Каліфорнійському інституті технологій (California Institute of Technology), названої «Внизу багато місця» («There is plenty of room at the bottom»), передбачав можливість контролю матерії у дуже малих масштабах. Термін «нанотехнологія» був впроваджений японським професором

Норіо Танігучі ( Norio Taniguchi ) в 1974 році. Нанотехнології дозволяють отримувати принципово нові композиційні, конструкційні і функціональні нано матеріали зі суттєво покращеними фізичними та хімічними властивостями.

Загальновідомо, що композиційні матеріали – це гетеро фазні структури, що сформовані з двох, і більше елементів зі збереженням властивостей кожного компоненту. У більшості композитні матеріали представляють собою матрицю, у об'ємі котрої певним чином розподілена інша фаза. Матричними елементами можуть бути метали та їх сплави, неорганічні і органічні полімери, кераміка та інші матеріали. Зміцнювальними або армуючими компонентами являються як ниткоподібні волокна, так і дрібнодисперсні частинки різної природи. [1]

**Мета роботи.** Встановлення закономірностей формування мікроструктури нанокомпозиційних матеріалів та оцінка ефективності їх використання у машинобудуванні і агропромисловому комплексі.

В останні роки вченими ведучих країн світу встановлено, що нано структурні матеріали, такі як нано трубки, фулерени і нано частки найбільш перспективні у плані покращення функціональних властивостей матеріалів на декілька порядків. Разом з тим, властивості нано композиційних матеріалів не завжди бувають необхідні у всьому об'ємі конструкції або деталі, а лише у тонкому шарі певної товщини. Основною проблемою при впровадженні нанотехнологій у промисловість являється не тільки отримання нових матеріалів, а також розвиток методів їх обробки. Адже зменшення кристалічного зерна матеріалу у 10 разів призводить до зростання міцності приблизно в три рази.

**Матеріали і методи.** Методи електронно-растрової мікроскопії допомагають визначити ділянки поверхні зразку для наступних Оже – спектральних досліджень. Дослідження поверхневої міцності, механізмів руйнування та структурного пристосування здійснено завдяки використанню сучасних методів експериментальної фізики, та їх розвитку з врахуванням специфіки дослідження поверхневих явищ. Закономірності поверхневого руйнування та структурного пристосування проявляються на трьох масштабних рівнях: макроскопічному, мікроскопічному і субмікроскопічному.

Дослідження роботи реальних машин відтворювалося в лабораторних умовах, а вивчення впливу окремих факторів на закономірності його розвитку здійснювали диференційовано за сталого значення інших факторів. У зв'язку з тим, що дослідження хімічного і фазового складу вторинних структур відомими методами хімічного, рентгеноструктурного, спектрального та інших методів складні у зв'язку з малою товщиною плівок цих структур та метастабільною будовою їх, розроблено нові спеціальні методи.

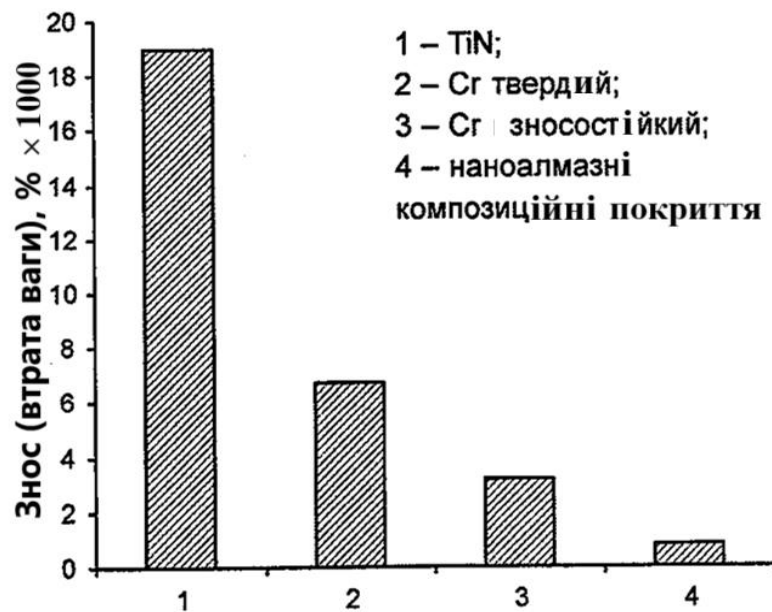
**Результати та обговорення.** Подальше зменшення зерна може призвести до ефекту над пластичності. З класичної точки зору, при зменшенні розмірів частинок, в системі різко зростає питома поверхня, а властивості об'ємної фази повинні залишатися незмінними. Класичні поняття «склад-структура-властивість» доповнюється координатою дисперсності.

З нашої точки зору треба виділити три важливих аспекти, що характеризують нанотехнології. По-перше, нанотехнології припускають цілеспрямований контроль або управління масо перенесенням на дуже малих масштабах. По-друге, загальним у всіх визначеннях являється конкретизація масштабної шкали, в межах якої проявляються розмірно-залежні ефекти. У деяких визначеннях, у якості порогового значення приймається 100 нм. При створенні теплофізичних та термоелектричних пристроїв мікро і наносистемної техніки, як правило, у якості довжини вибирають відношення температури до значення градієнта температури.

По-третє, загальним для всіх визначень являється підтвердження того, що нанотехнології дають можливість утворення інноваційних промислових застосувань. Найбільш важливі особливості у характеристиці наносистем для перспективних є не конкретним фактором зменшення розмірів частинок, елементів або структур, а принципово новими якісними явищами, що належать наномасштабу, або постають переважаючими у цьому масштабі розмірів. На нанорівні відбувається формування таких невідомих об'єктів, як квантові дроти і квантові крапки, тонкі плівки з унікальними властивостями, над решітки, вуглецеві нанотрубки біологічні наноструктури на основі ДНК та інше.

Найбільш ефективні галузі використання у нано системах нано алмазних композиційних покриттів: вузли і деталі, що зазнають інтенсивного зношування

(шестерні, вузли тертя, підшипники, передачі, робочі органи); вузли і деталі машин (циліндри, деталі поршневої групи і т. інше); формоутворюючий інструмент (прес-форми, штампи, матриці, пуансони ) для роботи з металами, склом, пластиком, абразивними матеріалами; метало -і деревообробний інструмент (сверла, фрези, зенкера, різці та інше). На рис. 1. представлена порівняльна зносостійкість наноалмазних композиційних покриттів у зіставленні з покриттями на основі хрому і нітриду титану (TiN).



**Рисунок 1 - Зносостійкість наноалмазних композиційних покриттів**

Властивості наноматеріалів, у тому числі експлуатаційні характеристики, визначаються їх структурою; дослідження останнього являється однією з важливих завдань нано структурного матеріалознавства. Одним з основних факторів, що визначає експлуатаційні характеристики конструкційних матеріалів та виробів, являється структурно-фазовий склад поверхневого шару. Тому цілеспрямована зміна цього складу (модифікація) дозволяє суттєво покращити потрібні експлуатаційні характеристики матеріалів та виробів. Головною особливістю покриттів нового покоління являється те, що вони не вибираються з обмеженого ряду відомих матеріалів та з'єднань, а штучно формуються нові, невідомі раніше, композиції з потрібними для конкретних технологічних процесів і умов, властивостями.

Видатні властивості таких композицій можуть бути досягнуті, якщо вони створюються у нано галузі з певною архітектурою побудови. Остання може здійснюватися двома шляхами: формуванням багатошарової структури з товщиною шару у наногалузі (1 – 20 нм) – багатошарові наноструктури (БШНС), у зокрема так звані супер решіткові (superlattice) гетеро структури, що мають високу твердість, або розсіюванням нанокристалічних частинок в аморфній матриці – нанокомпозити. Також виділяють три типу структури за формою: пластинчаста, стовбурова, та що має рівноважні включення. Це означає, що нанорівень – визначає не тільки розміри частинок, але й рівень особливої структурної організації, що надає складній речовині принципово нові властивості. Таким чином, раніше функціональний зв'язок «склад – властивості», змінюється на сполучення «розмір – властивості» або точніше «кількість атомів, структура – властивості». [2]. Для отримання покриттів нового покоління, як правило, використовується існуюча техніка напилювання (вакуумно-дугове, лазерне, хімічне осадження, плазмове, магнетронне), модифікується тільки сам технологічний процес.

Для цих цілей звично використовувалися покриття з карбідів, нітридів, карбонітридів тугоплавких перехідних металів (TiC, TiCN, ZrN, TiZrN, CrN, TiAlN), а також алмазоподібний вуглець (DLC – diamond like carbon ). Металеві нанокомпозиційні матеріали поділяються на матричні і шарові. Найбільше розповсюдження отримали матричні нанокомпозити, типовими представниками яких є тверді сплави системи WC – Co). У них з переходом розмірів зерна карбіду вольфраму (рис.2) у нанометровий масштаб, зростає твердість зерна, та зменшується товщина між зернового кобальтового прошарку.



**Рисунок 2** - Поверхня тертя твердого сплаву системи WC-Co, X1000

Це призводить до зменшення пластичності і ускладнює виривання зерна при зношуванні і, як наслідок, сприяє значному покращенню механічних властивостей сплавів. Так, у твердому сплаві складу WC – 6% Co при зменшенні середнього розміру зерна карбіду вольфраму з 1,5 до 0,5 мкм міцність, твердість та зносостійкість зростають у 1,5-2 рази. У цілому для структури наноматеріалів характерно велика кількість поверхонь розділу (між зернових границь і потрійних стиків – ліній сполучення трьох зерен). [3]

Серед різних нових способів нанесення відновних та захисних покриттів є розроблено метод композиційних електролітичних покриттів (КЕП), котрий заснований на електролітичному осадженні металів і дисперсних частинок, і дозволяє отримувати композиції у вигляді тонких захисних шарів. [4]. При формуванні електролітичних покриттів у якості другої фази, використовувалися порошки з розмірами часток не більше 100 нм. Оптимізовано гальвано порошкову технологію ХТО КЕП і визначено їх механічні характеристики, особливості локалізації напружень і деформацій. Наноккомпозити на алюмінієвій матриці, зміцнені наночастками кераміки (SiC, B<sub>4</sub> C, BN) або синтетичного алмазу, мають більш високі антифрикційні властивості та зносостійкість, ніж матричні алюмінієві сплави. Особливо широко використовуються наноккомпозити типу САП (спечена алюмінієва пудра), у котрих алюмінієва матриця армована наночастками Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub>.

Нові конструкційні та функціональні матеріали. Галузі використання наносистем:

- а) отримання наноструктурованих металевих матеріалів, кераміки і полімерів з точними формами без додаткової обробки;
- б) печать на різних носіях, вдосконалена завдяки частинкам нанорозмірних масштабів, котрі дають можливість вдосконалення фарб і пігментів;
- в) металокерамічні тверді сплави і металопокриття у нанорозмірних шарах, а також нанопокриття для ріжучих інструментів;
- г) матеріали для використання в електроніці, комп'ютерних і телекомунікаційних технологіях;
- д) нові еталони (зокрема, нанопорошки) для вимірювань у наномаштабах та формування наноструктур;
- е) виготовлення нанотехнологічними методами матеріалів для мікросхем з високими рівнями складності та функціональності;
- з) розробка полегшених наноструктурованих конструкційних матеріалів, котрі у десятки разів міцніше сталі. [5]

Використання нанотехнологій у машинобудуванні. У машинобудівних технологіях нанопозиціювання оброблюваних інструментів дозволяє забезпечити принципово нові можливості у якості виготовлення виробів. Подібні підходи реалізуються в теперішній час на основі ефекту гігантської магнітострікції, суміщеної з інтерферо метричним контролем позиціювання (виробу типу «наногвинт», «наностіл» та інші).

### **Висновки.**

Міжнародне співробітництво у сфері досліджень і розробок наносистем повинно забезпечувати інтеграцію українських спеціалістів у єдиний інформаційний простір та одночасно підтримку з участю держави, орієнтованих на експорт проєктів, програм засвоєння наукоємної і високотехнологічної продукції, закупівлі для розвитку експортного виробництва обладнання і комплектуючих.

Підвищення ресурсу деталей машин та обладнання за рахунок нанесення на них нанокompозитних покриттів апробовано та впроваджується у виробництво. Одним із способів створення нанокompозитів – введення у полімерну матрицю вуглецевих нанотрубок.

## Література

1. Нанокристаллические покрытия / А.Т.Бердибеков, В.М.Юров, В.В.Грузин, А.В.Доля. – Астана.: Издательство ТОО «центр Казахстан инжиниринг», 2023. – 126 с.
2. Нанотехнологии в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований / Дж. Уайтсайдес, Д. Эйглер, Р. Андерс и др. / Пер с англ. М. :Мир, 2002. – 292 с.
3. КМ України «Про схвалення Концепції Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 роки. Розпорядження від 2 квітня 2009 р. №331-р. Київ. Урядовий кур'єр. 22 квітня 2009 року. №72.
4. Лучка М.В. Науково практичні засади формування зносостійких композиційних покриттів методом гальванопорошкового градієнтного зміцнення для критичних умов тертя. Автореферат на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук., Інститут проблем матеріалознавства імені І.М. Францевича НАН України. Київ. 2013. 44 с.
5. Кизим М.О. Форсайт-прогнозування пріоритетних напрямків розвитку нанотехнологій і наноматеріалів у країнах світу й Україні // М.О. Кизим., І.Ю .Матюшенко., І.В. Шостак., М.О .Данова. / Монографія. – Х.: ВД «ІНЖЕК», 2015. – 272 с.

## **МОДЕЛІ ПРОДУКТИВНОСТІ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ, РІПАКУ ОЗИМОГО ТА ГОРОХУ ЗАЛЕЖНО ВІД НАКОПИЧЕНОЇ СУМИ ЕФЕКТИВНИХ ТЕМПЕРАТУР У ВЕСНЯНО-ЛІТНІЙ ПЕРІОД ВЕГЕТАЦІЇ**

**Максимов Д.**, канд. с.-г. наук, ст. наук. співроб.,

e-mail: [maksimovsinger@gmail.com](mailto:maksimovsinger@gmail.com),

**Лиховид П.**, доктор с.-г. наук, ст. наук. співроб.

e-mail: [pavel.likhovid@gmail.com](mailto:pavel.likhovid@gmail.com)

**Грановська Л.**, доктор екон. наук, завідувач відділу

e-mail: [G\\_ludmila15@ukr.net](mailto:G_ludmila15@ukr.net)

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН

**Вступ.** Прогнозування врожайності сільськогосподарських культур за кліматичними даними є важливим завданням сучасної аграрної науки для забезпечення продовольчої безпеки, оптимізації розподілу ресурсів та підтримки стабільності аграрної політики і ринку. Ранні прогнози врожаїв дозволяють підвищити продовольчу безпеку за рахунок більш чіткого та раціонального планування експортно-імпортних відносин у сфері торгівлі сільськогосподарською сировиною та продукцією [1]. Вивчення взаємозв'язків між кліматичними, агрометеорологічними індексами та врожайністю сільськогосподарських культур є ключем для розбудови науково обґрунтованої системи кліматично орієнтованого сільського господарства [2].

У кліматично базованому прогнозуванні врожаїв ключовими вхідними параметрами моделей є температура (повітря або ґрунту), опади, інсоляція, а також похідні індекси, такі як індекси посухи, евапотранспірація, тощо [3]. Найчастіше використовуються не емпіричні моделі, а статистичні моделі та моделі, що базуються на сучасних алгоритмах машинного навчання [4]. Втім, не дивлячись на високу популярність і значущість даної проблематики у науковій спільноті, окремі питання залишаються невирішеними або вирішеними недостатньо. До таких питань належить проблематика побудови математичних моделей продуктивності

сільськогосподарських культур залежно від величини накопичених ефективних температур у період вегетації.

**Мета роботи.** Встановити кореляційний взаємозв'язок між сумою ефективних температур (СЕТ), накопичених у весняно-літній період вегетації пшениці озимої, ріпаку озимого та гороху, вирощуваних у зоні степу України, та продуктивністю досліджуваних культур; розробити регресійні моделі прогнозування врожаїв за величиною СЕТ.

**Матеріали і методи.** Побудова математичних моделей виконувалася на основі дослідних даних, зібраних у 2025 році на посівах пшениці озимої, ріпаку озимого та гороху, культивованих на полях ФГ «Восток» білозерського району Херсонської області. Урожайні дані по кожній культурі узагальнено за результатами прямого комбайнування із перерахунком маси врожаю на стандарту вологість зерна. Акумуляцію ефективних температур визначено за допомогою метеорологічного сервісу, наданого платформою дистанційного моніторингу посівів OneSoil AI. Загальна кількість спостережень і вимірів становила 30 для кожної досліджуваної культури. Математичний аналіз даних виконували методами кореляційно-регресійного аналізу даних за довірчого інтервалу 95% із обчисленням величини середньоквадратичної похибки (MSE), середньої відносної похибки (MAPE) та коригованого критерію Акаїке (AICc) [5].

**Результати та обговорення.** Відповідно до результатів математичного аналізу встановлено, що всі три моделі мають високу адекватність вхідному набору даних, що підтверджується величиною коефіцієнтів детермінації (0,79-0,98). Стосовно похибок моделей, варто відзначити, що модель продуктивності ріпаку озимого має дуже високу відносну похибку, яка значно перевищує 50%, а тому така модель не може бути використана у наукових і практичних цілях. Що стосується моделей пшениці озимої та гороху, то вони мають гарну прогностичну точність ( $10 < \text{MAPE} < 20$ ) згідно [6] (табл. 1).

**Таблиця 1** – Результати кореляційно-регресійного моделювання  
врожайності пшениці озимої, ріпаку озимого та гороху залежно від величини  
суми ефективних температур

| Параметр<br>кореляційно-<br>регресійної<br>статистики<br>(результати<br>моделювання) | Пшениця озима | Ріпак озимий | Горох |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|-------|
| N                                                                                    | 30            | 30           | 30    |
| R                                                                                    | 0,99          | 0,89         | 0,98  |
| R <sup>2</sup>                                                                       | 0,98          | 0,79         | 0,97  |
| MSE (т/га)                                                                           | 0,10          | 0,84         | 0,14  |
| MAPE (%)                                                                             | 11,70         | 68,94        | 16,89 |
| AICc                                                                                 | 0,60          | 2,70         | 0,91  |

Згідно інформаційного критерію Акаїке, найкращою моделлю з математичної точки зору є модель продуктивності пшениці озимої. Модель урожайності гороху залежно від величини CET дещо поступається їй у точності, а модель ріпаку озимого не можна вважати репрезентативною і придатною для використання.

Представлені результати розширюють наявні знання щодо залежності продуктивності сільськогосподарських культур від температурного режиму. Наприклад, попередньо встановлено, що врожайність томату сильно залежить від CET ( $R^2 = 0,96$ ), але врожаї цибулі ріпчастої та картоплі менш залежали від цього кліматичного показника [7]. Механістичні моделі також продемонстрували, що накопичення температур може використовуватися для симуляції росту, розвитку і продуктивності кукурудзи зернової. Крім того, вважається, що залучення робастних методів машинного навчання на великих наборах даних, таких як логістична або поліноміальна функція, можна отримати максимально точне уявлення про перебіг ростових процесів і формування продуктивності культури з урахуванням нелінійних взаємозв'язків між рослинним організмом і навколишнім середовищем [8]. В цілому, математичні та емпіричні моделі, що використовують CET, є важливими для прогнозування врожайності сільськогосподарських культур. Лінійні, нелінійні моделі та моделі базовані на методах машинного навчання демонструють високу прогностичну здатність. Вибір моделі залежить від культури,

умов середовища, наявності та кількості даних, але СЕТ залишається основною змінною у всіх стратегіях моделювання.

**Висновки.** Результатами дослідження встановлено, що сума ефективних температур є важливим індексом, який може бути успішно використаний у якості самостійного предиктору врожайності пшениці озимої та гороху. Прогнозування продуктивності ріпаку озимого за величиною даного агрокліматичного параметра у наших дослідженнях не отримало підтримки як математично достовірний і точний метод. Подальші дослідження з цього напрямку, які будуть включати більш тривалий (багаторічний) період досліджень, розширений спектр культур і більший набір вхідних даних, що дозволить залучити методи нелінійного моделювання та машинного навчання, є вкрай необхідними для розв'язання поставленої задачі перед сучасною аграрною наукою.

### Література

1. Schauburger B., Jägermeyr J., Gornott C. A systematic review of local to regional yield forecasting approaches and frequently used data resources. *European Journal of Agronomy*. 2020. Vol. 120. P. 126153.
2. Laudien R., Schauburger B., Makowski D., Gornott, C. Robustly forecasting maize yields in Tanzania based on climatic predictors. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. P. 19650.
3. Li L., Wang B., Feng P., Wang H., He Q., Wang Y., Liu D., Li Y., He J., Feng H., Yang G., Yu Q. Crop yield forecasting and associated optimum lead time analysis based on multi-source environmental data across China. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2021. Vol. 308-309. P. 108558.
4. Hoque M., Islam M., Uddin J., Samad M., De Abajo B., Vargas D., Ashraf I. Incorporating meteorological data and pesticide information to forecast crop yields using machine learning. *IEEE Access*. 2024. Vol. 12. P. 47768-47786.
5. Zou K. H., Tuncali K., Silverman S. G. Correlation and simple linear regression. *Radiology*. 2003. Vol. 227(3). P. 617-628.

6. Moreno J. J. M., Pol A. P., Abad A. S., Blasco B. C. Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. *Psicothema*. 2013. Vol. 25(4). P. 500-506.
7. Vozhehova R., Kokovikhin S., Lykhovyd P. V., Balashova H., Lavrynenko Y., Biliaieva I., Markovska O. Statistical yielding models of some irrigated vegetable crops in dependence on water use and heat supply. *Journal of Water and Land Development*. 2020. Vol. 45. P. 190-197.
8. Shirley R., Pope E., Bartlett M., Oliver S., Quadrianto N., Hurley P., Duivenvoorden S., Rooney P., Barrett A., Kent C., Bacon J. An empirical, Bayesian approach to modelling crop yield: Maize in USA. *Environmental Research Communications*. 2020. Vol. 2. P. 025002.

УДК 631.3:636

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМИ ЗВАЖУВАННЯ ТВАРИН

**Ребенко В.**, к.т.н., доцент, e-mail: rebenko@nubip.edu.ua

**Хмельовський В.**, д.т.н., професор, e-mail: hmelvas@ukr.net

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Вступ.** Зважування тварин є одним із найважливіших інструментів у тваринництві, ветеринарії та наукових дослідженнях. Точні дані про масу тіла дають змогу ефективно контролювати ріст і розвиток тварин, визначати їхній стан здоров'я, оптимізувати раціони харчування, розраховувати дозування медичних препаратів та оцінювати економічну ефективність виробництва. Традиційні методи зважування, що вимагають фіксації тварин, є стресовими для них, трудомісткими та можуть призвести до похибок через їх рухи. З розвитком технологій з'явилися сучасні автоматизовані системи, що дають змогу мінімізувати стрес для тварин і підвищити точність вимірювань. Ці системи використовують різноманітні технології, від електронних ваг до комп'ютерного зору, і є ключовим елементом точного тваринництва.

**Метою цієї роботи** є аналіз та систематизація існуючих сучасних систем зважування тварин. Основні завдання:

- Огляд існуючих технологій зважування, включаючи динамічне зважування, системи на основі комп'ютерного зору та біосенсиори.
- Визначення переваг та недоліків кожної з технологій.
- Аналіз застосування сучасних систем зважування в різних галузях тваринництва.
- Оцінка економічної ефективності впровадження таких систем.

**Матеріали і методи.** Для роботи нами було використано методи теоретичного аналізу та синтезу наукової інформації. Основними джерелами були наукові статті та огляди, що стосуються технологій зважування, а також технічні характеристики та інформація від виробників комерційних систем зважування [1-4].

Методика дослідження включала пошук та відбір літератури за темами: «зважування тварин», «animal weighing», «animal body weight measurement», систематизацію та порівняльний аналіз різних систем та формування узагальнених висновків про стан та перспективи розвитку цієї галузі.

**Результати і обговорення.** Сучасні системи зважування можна поділити на кілька основних категорій:

*1. Автоматизовані динамічні ваги.* Це платформи, які встановлюються в місцях інтенсивного руху тварин (наприклад, біля годівниць або в проходах). Вага тварини вимірюється, коли вона проходить через платформу. Система автоматично ідентифікує тварину (за допомогою RFID-міток) та записує її вагу. Наприклад, такі системи широко використовують для моніторингу маси тіла свиней у промислових свинокомплексах.

*2. Системи на основі комп'ютерного зору.* Ці системи використовують камери та алгоритми обробки зображень для оцінки маси тіла тварини без фізичного контакту. Залежно від ракурсу та освітлення, камера робить знімки тварини, а програмне забезпечення аналізує її геометричні параметри (довжину, ширину, висоту, об'єм) для прогнозування ваги. Цей метод особливо корисний для

моніторингу великих тварин, таких як велика рогата худоба, або для безперервного моніторингу в режимі реального часу. .

3. *Інфрачервоні та лазерні сканери.* Ці пристрої можуть створювати тривимірну модель тіла тварини, що забезпечує ще точнішу оцінку об'єму та, відповідно, ваги. Вони часто використовуються в поєднанні з комп'ютерним зором.

4. *Біосенсори та носимі пристрої.* Хоча ці системи не вимірюють вагу безпосередньо, вони можуть збирати дані, що корелюють зі змінами маси тіла, наприклад, моніторинг активності та фізіологічних показників, що може бути індикатором проблем зі здоров'ям або ефективності годування.

**Таблиця 1** – Порівняльний аналіз систем зважування

| <b>Технологія</b>                                  | <b>Переваги</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Недоліки</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>Автоматизовані динамічні ваги</i></b>        | <p><i>Висока точність.</i> Завдяки використанню тензOMETричних датчиків, ці системи забезпечують дуже точне вимірювання маси тіла.</p> <p><i>Мінімальний стрес.</i> Тваринам не потрібно довго перебувати на вагах або фіксуватися, оскільки зважування відбувається, коли вони проходять через платформу.</p> <p><i>Автоматизація.</i> Система може автоматично ідентифікувати тварину (за допомогою RFID-міток) і записувати дані, що значно економить час і зменшує людський фактор.</p> <p><i>Надійність.</i> Сучасні моделі стійкі до впливу навколишнього середовища (бруд, волога), що робить їх придатними для використання в умовах ферми.</p> | <p><i>Висока початкова вартість.</i> Встановлення таких систем вимагає значних інвестицій.</p> <p><i>Складність монтажу.</i> Потрібно інтегрувати платформи в існуючу інфраструктуру ферми.</p> <p><i>Обмежене використання.</i> Зазвичай використовуються для тварин, що регулярно пересуваються певними шляхами (наприклад, свині або велика рогата худоба, що йде до годівниці).</p> |
| <b><i>Системи на основі комп'ютерного зору</i></b> | <p><i>Безконтактність.</i> Це найбільш значна перевага, оскільки зважування відбувається без будь-якого фізичного контакту з твариною. Це повністю усуває стрес.</p> <p><i>Безперервний моніторинг.</i> Камери можуть знімати тварин</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p><i>Точність залежить від умов.</i> На результати вимірювань може впливати освітлення, тіні, бруд на тварині або зміна її положення.</p> <p><i>Висока вартість програмного забезпечення.</i></p>                                                                                                                                                                                      |

|                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                               | <p>цілодобово, надаючи можливість відстежувати зміни ваги в реальному часі.</p> <p><i>Додаткові дані.</i> Окрім ваги, системи можуть аналізувати інші параметри, наприклад, рух, позу, стан тіла, що допомагає оцінити загальне здоров'я.</p>                                                                                                                                                                                           | <p>Розробка та ліцензування алгоритмів машинного навчання, що лежать в основі цих систем, є дорогою.</p> <p><i>Потреба в калібруванні.</i> Системи потребують регулярного калібрування для забезпечення точності.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b><i>Інфрачервоні та лазерні сканери</i></b> | <p><i>Висока точність.</i> Забезпечують надзвичайно точні тривимірні моделі тіла тварини, що дозволяє отримати більш точну оцінку ваги, ніж звичайні 2D-зображення.</p> <p><i>Менш залежні від освітлення.</i> Інфрачервоні сканери можуть працювати в умовах поганого освітлення, що робить їх універсальними.</p> <p><i>Детальність.</i> Дають змогу оцінити не тільки загальну масу, а й розподіл жиру та м'язів у тілі тварини.</p> | <p>Дуже висока вартість. Ці технології є одними з найдорожчих.</p> <p>Складність впровадження. Потребують спеціалізованого обладнання та кваліфікованого персоналу для налаштування та обслуговування.</p> <p>Чутливість до руху. Будь-який різкий рух тварини під час сканування може призвести до спотворення даних.</p>                                                                                                                                                                                                         |
| <b><i>Біосенсори та носимі пристрої</i></b>   | <p><i>Моніторинг в реальному часі.</i> Дають змогу відстежувати динаміку ваги та фізіологічні показники безперервно.</p> <p><i>Комплексна інформація.</i> Забезпечують ширший спектр даних, ніж лише вага (наприклад, активність, температура, пульс), що допомагає виявити проблеми зі здоров'ям на ранній стадії.</p> <p><i>Портативність.</i> Пристрої легко кріпляться на тварині, що робить їх зручними у використанні.</p>        | <p><i>Непряме вимірювання.</i> Біосенсори зазвичай не вимірюють вагу безпосередньо, а оцінюють її на основі кореляції з іншими показниками, що може знижувати точність.</p> <p><i>Обмежений термін служби.</i> Пристрої можуть виходити з ладу, вимагати заміни батарей або ремонту.</p> <p><i>Потенційний дискомфорт.</i> Хоча пристрої зазвичай легкі, їх кріплення може викликати певний дискомфорт у тварини.</p> <p><i>Залежність від бездротового зв'язку.</i> Для передачі даних необхідна стабільна бездротова мережа.</p> |

Впровадження сучасних систем зважування дає змогу оптимізувати процеси годівлі та селекції, знизити витрати на корми та медичні препарати, а також своєчасно виявляти хворих тварин. Це призводить до зростання продуктивності, підвищення якості продукції та, як наслідок, до збільшення прибутку.

**Висновки.** Сучасні системи зважування тварин є ключовим компонентом цифрової трансформації тваринництва. Вони дають змогу відійти від трудомістких та стресових для тварин ручних методів, забезпечуючи високу точність та оперативність отримання даних. Найбільш перспективними напрямками є розвиток систем на основі комп'ютерного зору та штучного інтелекту, які дають змогу отримувати дані без фізичного контакту з твариною. Подальші дослідження мають бути спрямовані на підвищення точності цих систем, зниження їхньої вартості та розширення функціоналу, що включатиме не тільки зважування, а й оцінку загального стану здоров'я тварини.

### Література

1. Wang, Y. & Yang, Weiqing & Winter, P. & Walker, L.. (2008). Walk-through weighing of pigs using machine vision and an artificial neural network. *Biosystems Engineering*. 100. 117-125. 10.1016/j.biosystemseng.2007.08.008.
2. Hakem, Moad & Boulouard, Zakaria & Kissi, Mohamed. (2022). Classification of Body Weight in Beef Cattle via Machine Learning Methods: A Review. *Procedia Computer Science*. 198. 263-268. 10.1016/j.procs.2021.12.238.
3. Hasan, Muhammad & Lubis, Utari & Meutia, Nellita & Hambal, Muhammad & Gani, Fadli & Masyitha, Dian. (2020). Deviation of Body Weight Estimation using Lambourne Formula Against Aceh Bull's Actual Body Weight. *E3S Web of Conferences*. 151. 01036. 10.1051/e3sconf/202015101036.
4. Yuliang Zhao, Qijun Xiao, Jinhao Li, Kaixuan Tian, Le Yang, Peng Shan, Xiaoyong Lv, Lianjiang Li, Zhikun Zhan, Review on image-based animals weight weighing, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 215, 2023, 108456, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108456>.
5. Vallimont, J.E.; Dechow, C.D.; Daubert, J.M.; Dekleva, M.W.; Blum, J.W.; Barlieb, C.M.; Baumrucker, C.R. Genetic parameters of feed intake, production, body

weight, body condition score, and selected type traits of Holstein cows in commercial tie-stall barns. J. Dairy Sci. 2010, 93, 4892–4901

6. <https://dellait.com/weighing-in-on-livestock-body-mass-estimation/>

7. <https://www.pigprogress.net/market-trends-analysis-the-industrymarkets/how-a-computer-vision-system-can-completely-replace-manual-pig-weighing/>

УДК 631.52:635.21(477.41)

## УРОЖАЙНІСТЬ ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ СОРТІВ КАРТОПЛІ ВІТЧИЗНЯНОЇ СЕЛЕКЦІЇ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Остренко М., канд. с.-г. наук, доцент, e-mail: [ostermi@ukr.net](mailto:ostermi@ukr.net)

Панченко Т., канд. с.-г. наук, доцент, e-mail: [panchenko.taras@gmail.com](mailto:panchenko.taras@gmail.com)

Білоцерківський національний аграрний університет

**Анотація:** Перевірка вихідного матеріалу картоплі є ключовим етапом у селекційній роботі та виробництві насіннєвого матеріалу, оскільки визначає рівень його генетичної чистоти, здоров'я та потенціалу врожайності. Своєчасна діагностика дозволяє виявити наявність хвороб, вірусних інфекцій і морфологічних відхилень, що можуть негативно впливати на продуктивність і якість бульб. Використання ретельно перевіреного вихідного матеріалу забезпечує підвищення ефективності подальших етапів селекції, стабільність отриманих результатів і сприяє створенню конкурентоспроможних сортів.

**Ключові слова:** картопля, сорти, вихідний матеріал, розмір бульб, урожайність.

В селекційному розсаднику та на ділянках розмноження картоплі, оздоровленої методом культури меристем, було висаджено відібраний вихідний матеріал у вигляді клонів, які надалі проходили випробування у розсаднику перевірки клонів.

У подальшому матеріал із різних розсадників об'єднували та оцінювали методом накладання, суворо дотримуючись насінницьких вимог до відтворення оригінального та елітного насіння.

З метою обмеження поширення вірусних інфекцій здійснювали регулярне фітопрочищення - видалення рослин із характерними зовнішніми проявами вірусних хвороб. Для захисту посівів від активних переносників вірусів під час боротьби з колорадським жуком застосовували інсектициди, що володіють також афіцидною дією.

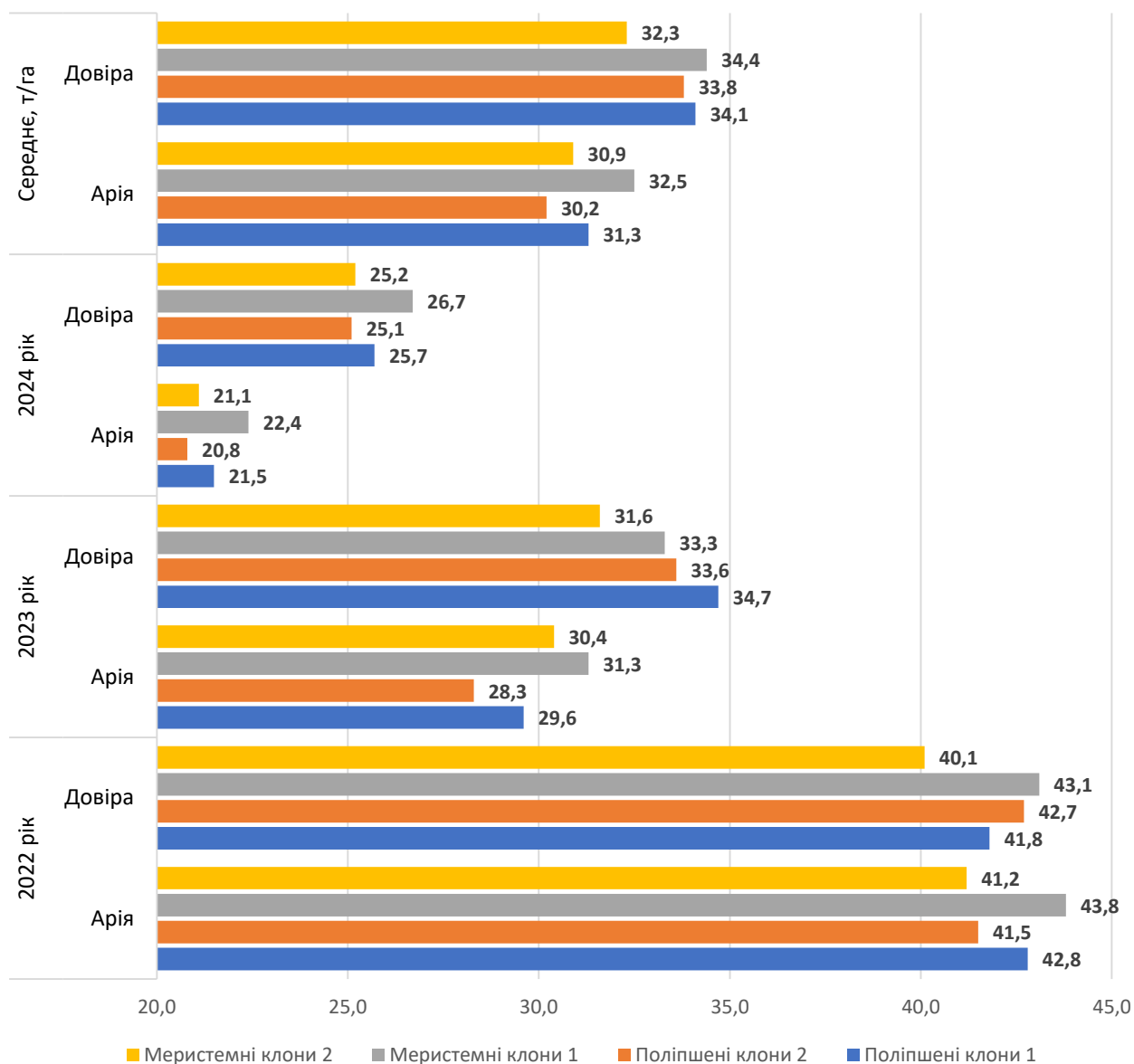
Досліди закладалися в умовах ботанічного саду Білоцерківського НАУ, що знаходиться у лісостеповій зоні правобережжя України. Ґрунти ботанічного саду, чорнозем типовий глибокий малогумусний середньосуглинковий крупнопилуватий. Облікова площа дослідної ділянки становила 25 м<sup>2</sup>, досліди проводили у чотирикратній повторності.

Урожайність кожної ділянки перераховували на 1 гектар. Відбір і перевірку клонів, а також вирощування добазового та базового посадкового матеріалу здійснювали згідно з вимогами «Методики визначення сортових та посівних якостей насіннєвої картоплі» [1]. Дослідні роботи проводили відповідно до «Методичних рекомендацій щодо проведення досліджень з картоплею» [2].

Отримані результати підлягали статистичному опрацюванню методом дисперсійного аналізу.

У результаті випробування вихідного матеріалу в межах певного строку добору не встановлено суттєвої різниці в урожайності щодо способу його отримання.

Разом з тим, у сорту Арія дещо вища урожайність характерна для меристемного насіннєвого матеріалу за першого строку добору – 42,8 – 43,8 т/га відповідно. У сорту Довіра таких закономірностей не встановлено (рис. 1.).



**Рисунок 1** - Урожайність вихідного насіннєвого матеріалу сортів Арія та Довіра (2022-2024 рр.), т/га

| Поліпш. бульбовий добір |                  |        |        | Поліпш. меристемний добір |        |        |       |
|-------------------------|------------------|--------|--------|---------------------------|--------|--------|-------|
|                         |                  | 202    | 202    | 202                       | 202    | 202    | 202   |
|                         |                  | 2 рік  | 3 рік  | 4 рік                     | 2 рік  | 3 рік  | 4 рік |
| A 05                    | НІР              | 0,42   | 0,22   | 0,17                      | 0,40   | 0,18   | 0,32  |
|                         | 2 т/га           | 4 т/га | 8 т/га | 3 т/га                    | 1 т/га | 2 т/га |       |
| 05                      | НІР <sub>B</sub> | 0,42   | 0,22   | 0,17                      | 0,40   | 0,18   | 0,32  |
|                         | 2 т/га           | 4 т/га | 8 т/га | 3 т/га                    | 1 т/га | 2 т/га |       |
| AB 05                   | НІР              | 0,59   | 0,31   | 0,25                      | 0,57   | 0,25   | 0,45  |
|                         | 6 т/га           | 7 т/га | 2 т/га | 0 т/га                    | 5 т/га | 6 т/га |       |

2022 році певної закономірності в кількості бульб різного розміру залежно від строку добору і якості вихідного матеріалу не встановлено (табл. 1.).

**Таблиця 1** - Структурний склад врожаю сортів Арія та Довіра в розсаднику випробування вихідного матеріалу (2022-2024 рр.), %

| Сорти    |        | Фракційний склад<br>бульб в<br>урожаї, мм | Вихідний насіннєвий матеріал |        |                         |        |
|----------|--------|-------------------------------------------|------------------------------|--------|-------------------------|--------|
|          |        |                                           | полібш. бульбовий добір      |        | мерист. бульбовий добір |        |
|          |        |                                           | строки добору                |        |                         |        |
|          |        |                                           | перший                       | другий | перший                  | другий |
| 2022 рік | Арія   | < 30                                      | 8,0                          | 7,3    | 7,3                     | 11,2   |
|          |        | 30 – 60                                   | 61,7                         | 52,0   | 67,1                    | 59,9   |
|          |        | > 60                                      | 30,3                         | 40,7   | 25,6                    | 28,9   |
|          | Довіра | < 30                                      | 3,6                          | 5,8    | 7,2                     | 5,6    |
|          |        | 30 – 60                                   | 57,6                         | 66,9   | 69,3                    | 76,2   |
|          |        | > 60                                      | 38,8                         | 27,3   | 23,5                    | 18,2   |
| 2023 рік | Арія   | < 30                                      | 4,5                          | 5,0    | 4,8                     | 4,8    |
|          |        | 31 – 60                                   | 50,9                         | 53,6   | 53,0                    | 60,9   |
|          |        | > 60                                      | 44,8                         | 41,4   | 42,2                    | 34,3   |
|          | Довіра | < 30                                      | 3,5                          | 3,3    | 4,0                     | 4,4    |
|          |        | 31 – 60                                   | 71,5                         | 72,0   | 67,9                    | 63,6   |
|          |        | > 60                                      | 25,0                         | 24,7   | 28,1                    | 32,0   |
| 2024 рік | Арія   | < 30                                      | 6,6                          | 10,3   | 7,4                     | 7,9    |
|          |        | 31 – 60                                   | 58,0                         | 54,8   | 51,1                    | 55,4   |
|          |        | > 60                                      | 35,4                         | 34,9   | 41,5                    | 36,7   |
|          | Довіра | < 30                                      | 8,8                          | 7,3    | 5,9                     | 4,8    |
|          |        | 31 – 60                                   | 54,6                         | 54,8   | 54,2                    | 59,5   |
|          |        | > 60                                      | 36,6                         | 37,9   | 39,9                    | 35,7   |

В урожаї всіх сортів переважали бульби розміром 30-60 мм. Таких бульб було в сорту Арія 52,0-67,1 %, по сорту Довіра 57,6-76,2 %.

Кількість бульб розміром до 30 мм була незначною, а саме 3,6-11,2 % залежно від сорту.

Випробовували насіннєвий матеріал від доbazового насіння з різного вихідного матеріалу.

В результаті у сортів Арія і Довіра істотної різниці в урожайності залежно від різновиду оздоровлення вихідного матеріалу та способу його формування не встановлено.

У 2023 строк добору вихідного насіннєвого матеріалу істотно не вплинув на урожайність доbazової категорії.

В найбільшій мірі урожайність залежала від сорту і найвищою була у сорту Довіра – 31,6 – 34,6 т/га, найменшою - у сорту Арія – 28,3 – 31,3 т/га (рис. 1.).

В структурному складі врожаю, суттєвої різниці за часткою різних за розміром бульб залежно від форм вихідного матеріалу та способу його формування не встановлено. В урожаї сортів Арія та Довіра переважають бульби розміром 31-60 мм, відповідно 50,9 % - 60,9 % і 63,6 % - 72,0 %. Разом з тим, кількість їх не залежить як від різновиду оздоровлення вихідного матеріалу, так і від строку його добору (табл. 1.).

У 2024 році у всіх залучених в дослідження сортів строк добору вихідного матеріалу також не вплинув на урожайність добазової категорії насіння.

Проте урожайність сорту Довіра була дещо вищою ніж у сорту Арія і становила відповідно 25,1 – 26,7 т/га та 20,8 – 21,5 т/га.

В структурі врожаю за кількістю різних за розміром бульб, залежно від методу отримання вихідного насіннєвого матеріалу та способу його формування істотних відмінностей не встановлено. Кількість бульб розміром 31 – 60 мм у сорту Арія становила 51,1 – 58,0 %, а сорту Довіра – 54,2 – 59,5 %. Частка бульб більше 60 мм у сорту Арія була 34,9 – 41,5 %, сорту Довіра 35,7 – 39,9 %.

Добір вихідного матеріалу картоплі є важливим етапом у селекційному процесі, оскільки забезпечує відбір найбільш цінних форм за господарсько корисними ознаками. Використання якісного вихідного матеріалу сприяє підвищенню урожайності, стійкості до хвороб і шкідників, адаптивності до ґрунтово-кліматичних умов, а також поліпшенню товарних і смакових якостей бульб.

### **Література**

1. Наказ. Методика визначення сортових та посівних якостей насіннєвої картоплі. Наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України 19 січня 2021 року за N 300/35922 [ips.ligazakon.net/document/RE35922?an=1](https://ligazakon.net/document/RE35922?an=1)

2. Методичні рекомендації щодо проведення досліджень з картоплею / За ред. В. В. Кононученка. – Немішаєве : ІК УААН, 2002. – 183 с.

## **ЗМІНА БІОЛОГІЧНОЇ ВРОЖАЙНОСТІ ГОРОХУ ЗА РІЗНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ**

**Новохацький М.**, канд. с.-г. наук, доцент, novokhatskyi@ukr.net

**Клочай О.,**

**Панченко Л.**

УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого

**Вступ.** Зернобобові культури сприяють оздоровленню і збільшенню різноманітності агроценозів [1]. Горох представляє великий інтерес в сівозміні зернових господарств, порівняно з іншими культурами, завдяки своїй здатності зв'язувати азот повітря та слугувати одним з найкращих попередників пшениці озимій, особливо – за суттєвих змін умов зволоження [2].

В основі реалізації потенційної врожайності сільськогосподарських культур, лежить вимога задоволення їх біологічних потреб в факторах зовнішнього середовища. Основною передумовою отримання високої врожайності гороху є повна забезпеченість рослин факторами життя. За даними ряду авторів, погодна складова варіабельності величини врожаю може сягати 60-80%, на частку добрив зазвичай відносять до 30-50% приросту врожаю, а реальну ситуацію можна визначити лише при комплексній оцінці всіх факторів, що впливають на ріст, розвиток і продуктивність культури [3].

Урожайність гороху значною мірою залежить від рівня мінерального живлення та ефективності біологічної фіксації азоту бульбочковими бактеріями [4, 5, 6]. Розробка сучасних систем добрив передбачає максимальне задоволення потреб гороху в макроелементах на основі комплексної оцінки їх вмісту в ґрунті і виносу рослинами. При цьому найважливішим теоретичним і прикладним завданням є застосування ефективних штамів бульбочкових бактерій і оптимізація живлення для найбільш повного використання біологічного азоту цією культурою [3].

Застосування біопрепаратів забезпечує: покращення азотного живлення

рослин, стимуляцію росту та розвитку кореневої системи, підвищення стійкості до стресових факторів та збільшення величини врожайності зерна [7].

**Мета роботи.** В зв'язку із вище зазначеним, метою роботи була оцінка впливу систем основного обробітку ґрунту та оптимізація стресостійкості фітоценозу біологічними методами при вирощуванні гороху в Лісостепу України за умов глобального потепління.

*Об'єкт досліджень* – технологічні рішення вирощування гороху, закономірності та процеси формування агрофітоценозів гороху, вплив прийомів технології та агрометеорологічних умов періоду вегетації на реалізацію потенціалу його зернової продуктивності за використання традиційної, консервувальної, мульчувальної та системи обробітку ґрунту mini-till.

*Предмет досліджень* – показники продуктивності гороху за застосування різних систем обробітку ґрунту та біологічних засобів регулювання і протидії стресовим факторам.

**Матеріали і методи.** Дослідження проводились протягом 2025 року на угіддях УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого в польовому досліді.

В якості факторів виступали:

- система основного обробітку ґрунту (традиційна, консервувальна, мульчувальна, mini-till);
- біологічні препарати (застосування препаратів (дослід), без препаратів (контроль)). Схему застосування препаратів наведено в таблиці 1.

**Таблиця 1** – Технологічна схема використання біологічних препаратів виробництва ДП «Міжвідомчий науково-технологічний центр «Агробіотех»» на посівах гороху

| Термін виконання, фаза розвитку рослин         | Біопрепарати         | Норма внесення, л/га/т |
|------------------------------------------------|----------------------|------------------------|
| Обробка насіння перед сівбою                   | Фітовіт-біозахист    | 0,1                    |
|                                                | Аверком Н-Біозахист  | 0,1                    |
|                                                | Споразин-Біозахист   | 1,0                    |
|                                                | Ековітал горох       | 1,0                    |
|                                                | БіоСтімекс Активатор | 1,0                    |
|                                                | ЕПАА МЕ              | 0,5                    |
|                                                | Регоплант            | 0,25                   |
| Початок фази гілкування (3-4 справжніх листки) | Споразин             | 1,5                    |
|                                                | БіоСтимІкс Стандарт  | 0,5                    |
|                                                | Фітовіт              | 0,1                    |
|                                                | Аверком Н            | 0,1                    |
|                                                | ЕПАА-10              | 0,2                    |
|                                                | Регоплант            | 0,05                   |

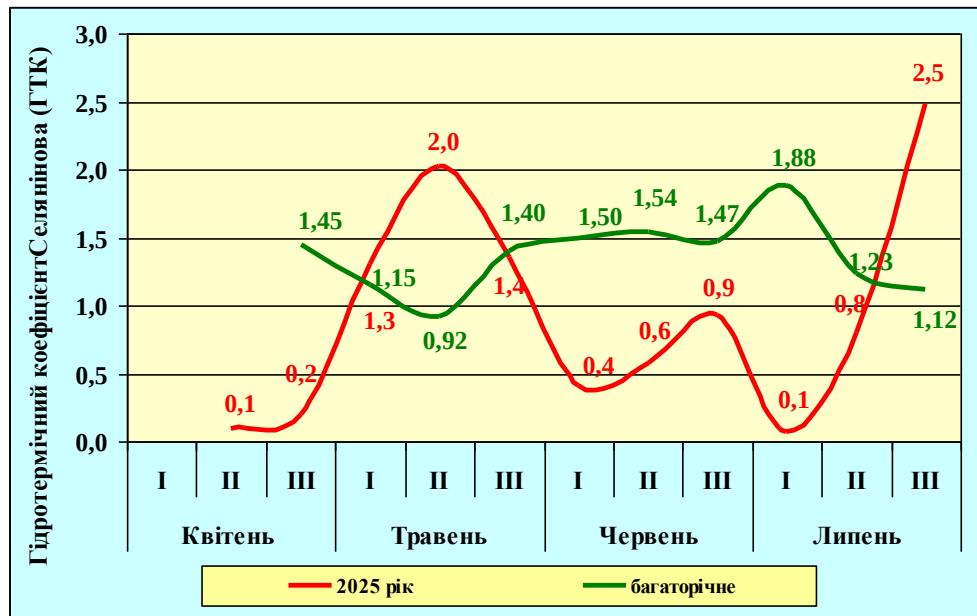
Під час виконання досліджень використовувалися загальнонаукові та спеціальні методи досліджень.

**Результати і обговорення.** Агromетeоролoгічні умови періоду проведення досліджень суттєво відрізнялися від середніх багаторічних даних за сумою опадів, їх розподілом протягом року, динамікою і величиною середньодобових температур. Враховуючи середньодобові температури та суми опадів, нами було визначено динаміку гідротермічного коефіцієнта Селянінова і представлено її на рисунку 1.

*Гідротермічний коефіцієнт Селянінова* (ГТК) (від *hydro* – вода, волога, і *therme* – тепло, жар) – показник природного зволоження території. Якщо ГТК в межах 1-2, то умови природного зволоження є задовільними, якщо менше 1 – недостатніми. Класифікуються зони зволоження за ГТК: волога – 1,6-1,3; слабо посушлива 1,3-1,0; посушлива – 1,0-0,7; дуже посушлива 0,7-0,4; суха – <0,4.

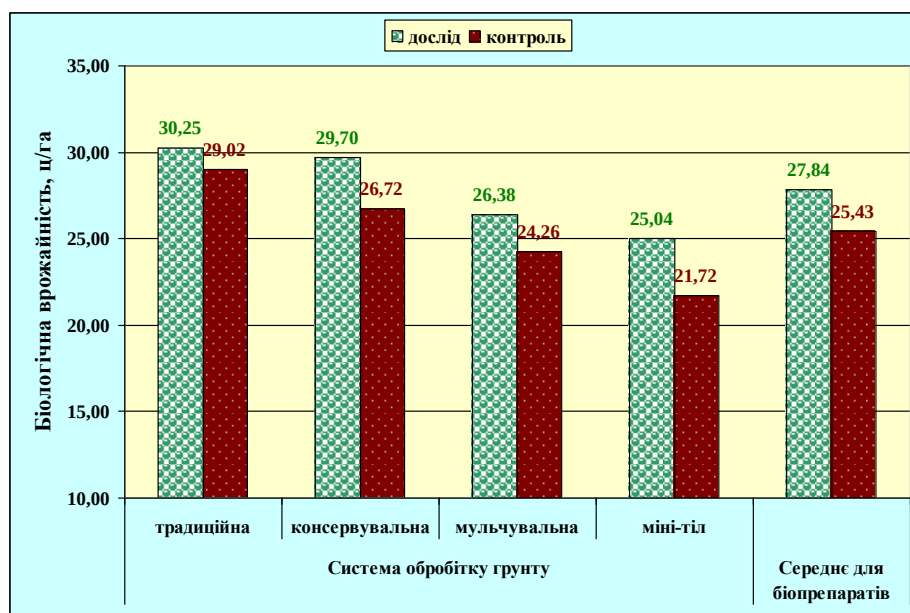
Аналіз даних, поданих на рис. 1, дає підстави стверджувати, що в 2025 році ріст та розвиток гороху протягом всього періоду вегетації (кінець квітня – липень) відбувався за складних гідротермічних умов: ГТК Селянінова лежав значно нижче середніх багаторічних значень, за виключенням другої декади травня та останньої

декади липня. Отже, дослідження 2025 року проводилися за суттєвої нестачі вологи та надходження надлишкових позитивних температур в період активного росту та розвитку рослин, що створювало доволі стресові умови для формування врожаю гороху.



**Рисунок 1** – Динаміка гідротермічного коефіцієнта Селянінова в період проведення досліджень порівняно із середніми багаторічними даними

Результати визначення біологічної врожайності зерна гороху за варіантами наших досліджень представлені на рисунку 2.



**Рисунок 2** – Зміни біологічної врожайності зерна гороху залежно від досліджуваних елементів технології вирощування

Формування врожаю будь-якої культури – це інтегральний показник продуктивності рослин. Врожай культур безпосередньо залежить від кількісного вираження кожного структурного елемента. Тому необхідно, щоб у конкретних умовах вирощування всі елементи структури досягали свого найбільшого кількісного вираження. Отже, врожай – це результат взаємодії всіх кількісних ознак рослин з умовами навколишнього середовища. Кінцевими величинами, які визначають рівень врожайності, є продуктивна густота стеблостою, кількість і маса зерен на рослині.

Лідером за рівнем формування біологічного врожаю зерна гороху стала традиційна система основного обробітку ґрунту, яка забезпечила формування в середньому 29,63 ц/га зерна, при цьому за використання біопрепаратів урожайність становила 30,25, а без них – 29,02 ц/га. Застосування інших систем основного обробітку ґрунту, із числа досліджуваних нами, викликало зменшення рівня біологічної врожайності до 28,21 ц/га за використання консервувальної системи, 25,32 ц/га – за використання мульчувальної і до 23,38 ц/га – за використання міні-тілу.

Вивчення дії комплексу біопрепаратів показало, що контрольні варіанти у середньому формували 23,43 ц/га зерна з коливанням за системами основного обробітку ґрунту від 21,72 (міні-тіл) до 29,02 ц/га (традиційна). Застосування комплексу біопрепаратів дало змогу підняти середній рівень біологічної врожайності на 9,5%. При цьому найбільше зростання рівня біологічної врожайності в досліді, +15,3% до контролю, відмічено за використання системи основного обробітку ґрунту міні-тіл (рис. 2).

Аналіз структури врожайності гороху (табл. 2) проводився нами за основними показниками: густота стояння рослин, висота рослин, кількість бобів на рослині, озерненість бобів, маса 1000 насінин, збиральний індекс тощо.

За результатами досліджень встановлено, що густота стояння рослин гороху на період збирання залежить як від системи обробітку ґрунту, так і від застосування досліджуваних біопрепаратів.

Виявлено, що густота стояння рослин в період збирання, залежно від систем обробітку ґрунту, змінювалася від 1,027 (мульчувальна система обробітку ґрунту, без застосування біопрепаратів) до 1,145 млн. шт./га (традиційна система +

біопрепарати). Застосування біопрепаратів дало змогу агрофітоценозу досягти кращого збереження рослин протягом вегетації та збільшити, в середньому, густоту стояння з 1,061 (контроль) до 1,103 млн. шт./га.

**Таблиця 2** – Структура урожайності гороху залежно від системи основного обробітку ґрунту та застосування біопрепаратів

| Показники структури врожайності гороху | Варіант дослідження | Система обробітку ґрунту |                |              |          | Середнє для біопрепаратів |
|----------------------------------------|---------------------|--------------------------|----------------|--------------|----------|---------------------------|
|                                        |                     | традиційна               | консервувальна | мульчувальна | міні-тіл |                           |
| Густота стояння рослин, млн. шт./га    | дослід              | 1,145                    | 1,128          | 1,077        | 1,061    | 1,103                     |
|                                        | контроль            | 1,077                    | 1,094          | 1,027        | 1,044    | 1,061                     |
| Висота рослин, см                      | дослід              | 57,9                     | 58,5           | 49,3         | 57,2     | 55,7                      |
|                                        | контроль            | 54,5                     | 54,5           | 53,6         | 53,2     | 53,9                      |
| Кількість бобів на рослині, штук       | дослід              | 4,38                     | 4,40           | 4,09         | 5,07     | 4,48                      |
|                                        | контроль            | 4,73                     | 4,53           | 4,38         | 4,96     | 4,65                      |
| Кількість зерен на рослині, штук       | дослід              | 15,27                    | 14,33          | 12,89        | 11,82    | 13,58                     |
|                                        | контроль            | 16,56                    | 15,64          | 15,42        | 14,18    | 15,45                     |
| Озерненість бобів                      | дослід              | 3,58                     | 3,30           | 3,35         | 3,55     | 3,45                      |
|                                        | контроль            | 3,41                     | 3,54           | 3,56         | 3,31     | 3,45                      |
| Маса зерна з рослини, г                | дослід              | 2,661                    | 2,630          | 2,448        | 2,375    | 2,529                     |
|                                        | контроль            | 2,668                    | 2,484          | 2,353        | 2,085    | 2,398                     |
| Маса 1000 насінин, г                   | дослід              | 172,82                   | 181,88         | 192,23       | 150,71   | 174,41                    |
|                                        | контроль            | 165,84                   | 159,27         | 162,33       | 156,24   | 160,92                    |
| Збиральний індекс                      | дослід              | 42,02                    | 40,04          | 43,42        | 35,03    | 40,13                     |
|                                        | контроль            | 37,96                    | 41,68          | 33,54        | 36,77    | 37,49                     |

Найбільші показники висоти рослин притаманні, в межах схеми наших дослідів, варіантам із традиційною системою основного обробітку ґрунту. Застосування біопрепаратів, у більшості випадків сприяло, збільшенню висоти рослин.

Застосування біопрепаратів в технології вирощування гороху сприяло покращенню збирального індексу фітоценозу: якщо на дослідних варіантах цей показник в середньому становив 40,13, то на контрольних – 37,49 (табл. 2).

### **Висновки.**

1. Кожен із досліджуваних нами елементів технології вирощування, –

системи основного обробітку ґрунту і застосування біопрепаратів, – та їх взаємодія впливали на елементи структури та біологічну врожайність гороху.

2. Лідером за рівнем формування біологічного врожаю зерна гороху стала традиційна система основного обробітку ґрунту, яка забезпечила формування в середньому 29,63 ц/га зерна, при цьому за використання біопрепаратів урожайність становила 30,25, а без них – 29,02 ц/га.

### **Перелік посилань**

1. Бобро М.А., Огурцова Є.М., Михєєв В.Г. Урожайність сої залежно від застосування біологічних препаратів // Корми і кормовиробництво. – 2006. – Вип. 58. – С. 231-236.

2. Новохацький М., Степченко С. Продуктивність сої в умовах зміни клімату за різних систем основного обробітку ґрунту в лісостепу України // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. / УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого; Редкол.: Г. Голуб (голов. ред.) та ін. Дослідницьке, 2025. – Вип. 36 (50). С. 133-144.

3. Козак Л., Панченко Т., Новохацький М. Формування врожайності гороху залежно від доз мінеральних добрив та інокуляції насіння // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. / УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого; Редкол.: Г. Голуб (голов. ред.) та ін. Дослідницьке, 2025. – Вип. 36 (50). С. 165-172.

4. Marschner, P. Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2012; ISBN 9780123849052.

5. Дрорецька С., Любич О. Мінеральне живлення гороху // Пропозиція. 21.11.2016. <https://propozitsiya.com/ua/mineralnezhivlennya-gorohu>

6. Yuvaraj, M.; Pandiyan, M.; Gayathri, P.; Yuvaraj, M.; Pandiyan, M.; Gayathri, P. Role of Legumes in Improving Soil Fertility Status in Legume Crops – Prospects, Production and Uses. Intech Open 2020, 182.

7. Аверчев О.В., Ковшакова Т.С. Вплив мікроелементів та біостимуляторів на продуктивність гороху // Таврійський науковий вісник. – 2024. – № 136, Частина 1. – С. 3-11.

## АГРОТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ НА СХИЛАХ

**Денисенко В.**

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

### **Вступ.**

Ерозія ґрунтів на схилах є однією з основних причин зниження родючості та продуктивності сільськогосподарських угідь. Невірно обрані методи внесення добрив можуть посилювати цей процес, тому важливо враховувати агротехнічні вимоги при їх застосуванні.

### **Основна частина.**

#### *Вибір типу добрив*

Для схилових земель рекомендується використовувати органічні добрива, такі як гній, компост, оскільки вони сприяють покращенню структури ґрунту та зменшують ерозійні процеси. Мінеральні добрива слід застосовувати з урахуванням їхнього впливу на кислотність ґрунту та можливість вимивання виносних елементів [1]

#### *Методи внесення добрив*

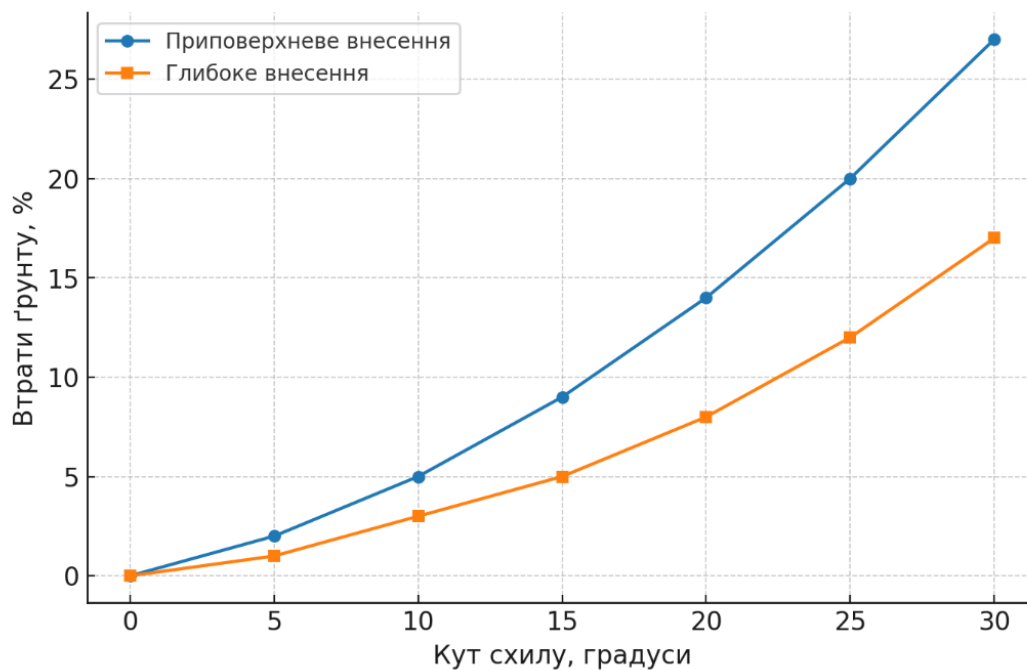
- *Приповерхневе внесення:* підходить для органічних добрив, оскільки зменшується ризик їх вимивання.
- *Глибоке внесення:* ефективне для мінеральних добрив, дозволяє зменшити їх втрати та підвищити ефективність використання [1-3].

#### *Час внесення добрив*

Оптимальний час для внесення добрив на схилах – рання весна або осінь, коли зменшено ризик вимивання та ерозії [1, 2].

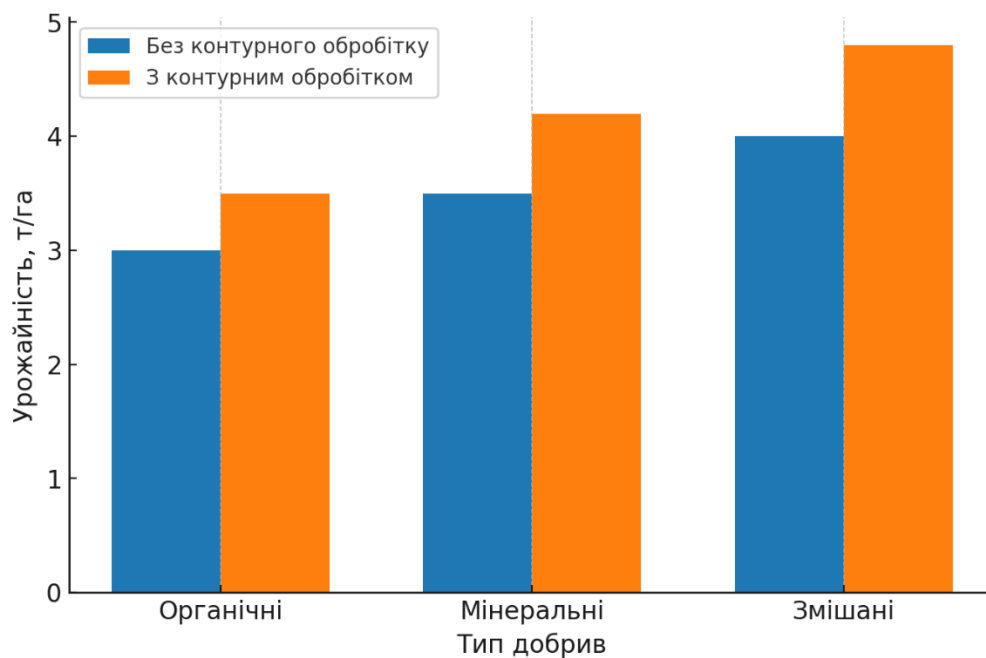
#### *Агротехнічні заходи*

- *Створення водозахисних смуг:* посів трав, які зменшують швидкість води та утримують ґрунт.
- *Контурне обробіток:* обробка ґрунту вздовж контурів схилу для зменшення поверхневого стоку води.



**Рисунок 1** - Динаміка втрати ґрунту залежно від кута схилу та способу внесення добрив

Графік показує, як різні методи внесення добрив впливають на втрату ґрунту при різних кутах схилу.



**Рисунок 2** - Вплив різних систем удобрення на урожайність культур на схилах

Графік демонструє, як застосування органічних та мінеральних добрив впливає на урожайність при різних методах обробітку ґрунту.

### **Висновки**

- Правильний вибір типу та методу внесення добрив є критичним для збереження родючості схилівих земель.
- Агротехнічні заходи, такі як контурне обробіток та створення водозахисних смуг, сприяють зменшенню ерозії та підвищенню ефективності використання добрив.

### **Список використаних джерел**

1. Іванов І. І. Вплив органічних добрив на ерозію ґрунтів. Журнал агрономії, 2023.
2. Петрова О. О. Мінеральні добрива та їх ефективність на схилах. Аграрна наука, 2022.
3. Сидоренко П. П. Агротехнічні заходи для збереження родючості ґрунтів. Інститут ґрунтознавства та агрохімії, 2021.

## ПРОГРАМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

**Доманський В.**, аспірант кафедри тракторів і сільськогосподарських машин,  
Дніпровського державного аграрно-економічного університету

У сучасному рослинництві «програмування врожайності» розглядають як системний підхід до планування та досягнення цільового врожаю через узгоджене управління сортом, строками сівби, живленням, водним режимом, захистом і просторово-часовою точністю операцій. В українській аграрній науці ця концепція описана в навчальних курсах і методичних вказівках як поєднання прогнозу, балансового планування елементів живлення та коригуючих рішень упродовж вегетації [1].

Мета роботи – узагальнити ключові елементи програмування врожайності для масових культур (на прикладі пшениці озимої) та продемонструвати прості візуалізації впливу норм азоту й строків сівби на реалізацію потенціалу урожайності за даними українських публікацій.

Методологія ґрунтується на: (1) огляді вітчизняних джерел щодо оптимальних строків сівби та агрохімічного забезпечення; (2) балансовому підході до живлення з урахуванням виносу елементів; (3) використанні ілюстративних (демонстраційних) кривих відгуку, які узгоджуються з діапазонами ефектів, наведених у літературі [2].

### *Основні положення програмування врожаю*

1. *Строки сівби.* Для пшениці озимої запізнення на 10–30 днів від оптимального строку (для Полісся – орієнтовно близько 10 вересня) знижує врожайність на ~8–29%. Це зумовлено погіршенням осіннього розвитку та зимостійкості, що підтверджено результатами українських досліджень у різних ґрунтово-кліматичних зонах. [3].

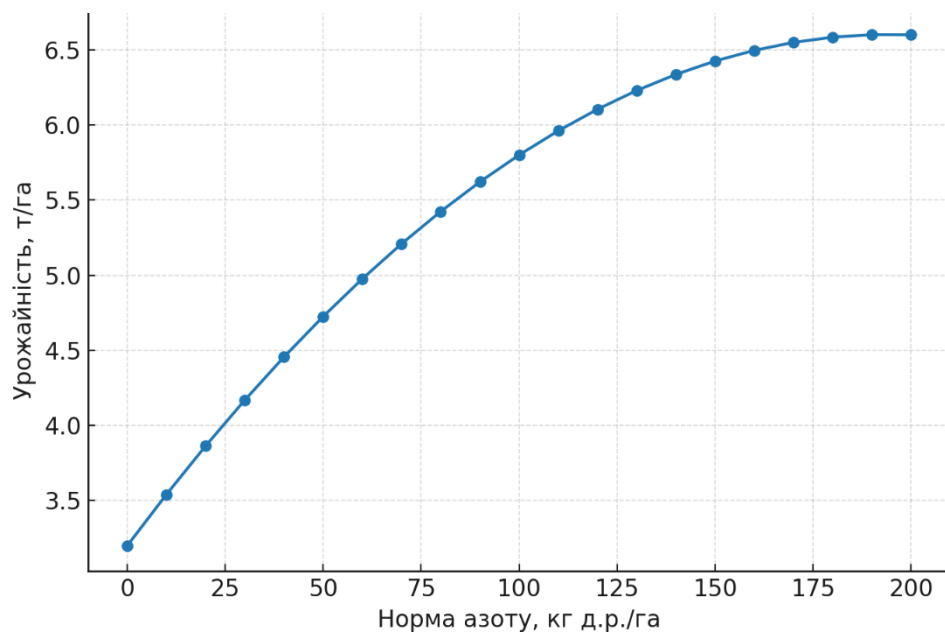
2. *Баланс і норми добрив.* Планування дози NPK здійснюють за цільовим урожаєм і виносом елементів (на кожні 10 ц/га зерна пшениця виносить орієнтовно:

N 25–35 кг, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 11–13 кг, K<sub>2</sub>O 20–27 кг) із поправками на гумус, запаси мінерального азоту в ґрунті та попередник. [4].

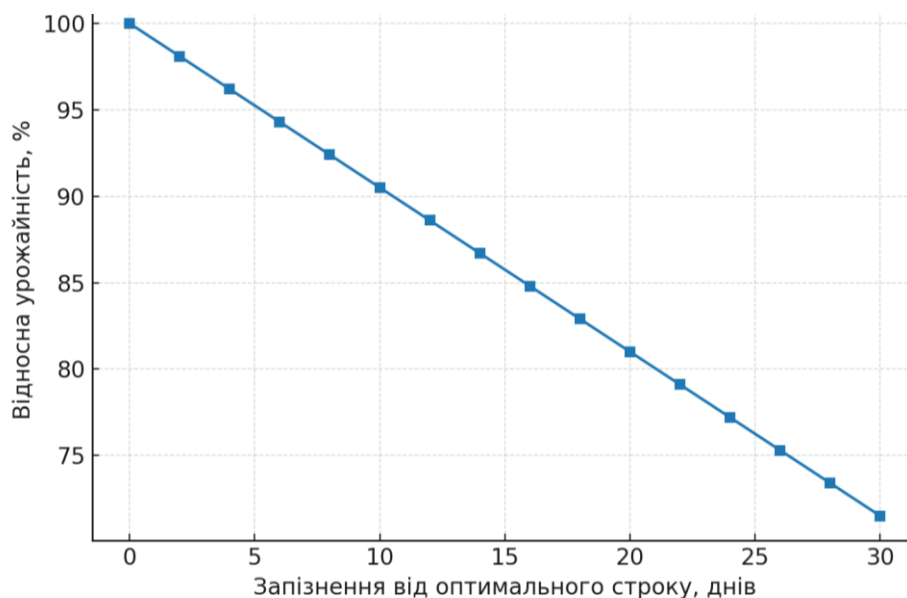
3. *Стратегія підживлення.* На практиці застосовують дробне внесення азоту (25–30% від повної норми – ранньовесняне підживлення по мерзло-талому ґрунту; решта – за фазами), з огляду на стан посівів і ризики втрат. На чорноземах із високою природною родючістю ефективність високих доз N знижується, а ризик вимивання – зростає, тож дози коригують за агрохімічними показниками та очікуваною врожайністю [5].

4. *Моделювання та цифрові інструменти.* Для обґрунтування технологій доцільно застосовувати симулятори росту культур (напр., DSSAT) і локальні спостереження погоди та ґрунтів; такі моделі дозволяють тестувати сценарії живлення/строків сівби під цільовий врожай на конкретному полі [6].

#### *Результати (візуалізації)*



**Рисунок 1** - Ілюстративна крива відгуку врожайності пшениці на норму азоту (0–200 кг д.р./га) демонструє зменшення приростів після досягнення «полиці» (типовий ефект, описаний у вітчизняних джерелах з агрохімії). Файл: fig1\_yield\_vs\_N.png. (Дані – демонстраційні; принцип відповідає балансовим підходам у джерелах.) [5].



**Рисунок 2** - Відносна врожайність залежно від запізнення сівби від оптимального строку (0–30 днів). Побудовано так, щоб відповідати діапазону втрат, наведених у польових дослідженнях для України ( $\approx 8\text{--}29\%$  при запізненні 10–30 днів) [3].

## Висновки

1. Програмування врожайності потребує інтеграції строків сівби, сортових особливостей і живлення на основі балансу елементів та агрохімічного моніторингу.
- 2) Для озимої пшениці дотримання оптимального строку сівби є критичним чинником реалізації потенціалу врожайності; запізнення на 10–30 днів спричиняє значні втрати.
- 3) Планування доз NPK слід виконувати під цільовий врожай і з урахуванням виносу, запасів у ґрунті та ризиків втрат азоту; доцільне дробне підживлення.
- 4) Використання моделей росту культур (DSSAT) та локальних даних дає змогу точніше «програмувати» врожай на конкретному полі.

[5-9].

### Список використаних джерел

1. Маркова Н. В. Програмування врожайності сільськогосподарських культур (робочий зошит). МНАУ, 2022. [dspace.mnau.edu.ua](https://dspace.mnau.edu.ua)
2. Рожков А. О. Прогноз і програмування врожаїв с.-г. культур (методичні вказівки). МОН України, 2023. [repo.btu.kharkov.ua](https://repo.btu.kharkov.ua)
3. Ткачук В. та ін. Вплив строків сівби на продуктивність пшениці озимої в умовах Полісся. Агровісник, 2020. (зниження на 8,4–28,7% при запізненні 10–30 днів). [agrovisnyk.com](https://agrovisnyk.com)
4. Вінюков О. О. Вплив строків сівби на продуктивність сортів пшениці озимої... Бюлетень ІСГ степової зони НААН, 2015. [journal-grain-crops.com](https://journal-grain-crops.com)
5. Уліч О. Л. Вплив строків сівби на реалізацію потенціалу продуктивності... Сортовивчення і охорона прав на сорти рослин, 2014. [journal.sops.gov.ua](https://journal.sops.gov.ua)
6. Господаренко Г. М. Винесення основних елементів живлення... (табличні дані з виносу). УДАУ, 2021. [lib.udau.edu.ua](https://lib.udau.edu.ua)
7. Система удобрення озимої пшениці (орієнтовні виноси на 10 ц/га). AgroBusiness, 2014. [agro-business.com.ua](https://agro-business.com.ua)
8. Кавунець В. П. Технологія вирощування насіння пшениці озимої (рекомендації щодо дробного внесення N). МІП, 2024. [mip.com.ua](https://mip.com.ua)
9. DSSAT – Cropping Systems Model (короткий огляд можливостей для моделювання). Офіційний сайт. [DSSAT.net+1](https://DSSAT.net+1)

## **ОЦІНКА ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВНОЇ ТРІСКИ З ПОРУБКОВИХ ЗАЛИШКІВ**

**Думич В.**, e-mail: dumych1963@ukr.net

Львівська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

**Крупич О.**, канд. техн. наук, e-mail: krupycholeh@gmail.com

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій  
імені С. З. Гжицького.

**Вступ.** Глобальні кліматичні зміни супроводжується екстремальними погодними явищами, підвищенням рівня світового океану, погіршенням продовольчої безпеки, поширенням інфекційних захворювань та загроз для людей та екосистем. Науковці вказують, що основною причиною цих змін є викиди парникових газів. Багато з цих газів надходять від спалювання викопного палива на фабриках, автомобілях і літаках або в сільському господарстві [1].

На думку фахівців, замінюючи викопні ресурси відновлюваними біологічними альтернативами можна досягнути нульового рівня викидів в атмосферу [2]. До того ж, для України використання відновлюваних місцевих біопаливних ресурсів є ще і запорукою енергетичної безпеки держави, що дозволить мінімізувати ризики від руйнування ворогом магістральних систем і джерел постачання викопного палива [3].

Відтак, низка територіальних громад паралельно з відновленням виконують реформування систем теплозабезпечення, шляхом переведення котелень різної потужності на місцеве біопаливо [4]. Значна кількість вітчизняних ТЕЦ і котелень на біомасі працюють на деревній трісці.

Сировиною для виробництва трісок є дрова, порубкові залишки, відходи деревообробної промисловості і деревні енергетичні культури. Лісова біомаса, в основному, представлена паливною деревиною (77%) [5]. Порубкові залишки в Європі являють собою значний енергетичний ресурс, проте в Україні вони практично не використовуються для виробництва біопалива [6].

**Мета роботи.** В українських лісах після рубок головного користування залишається близько 2,74 млн. м<sup>3</sup> порубкових залишків, що рівнозначно 0,7 млн. т н.е. або 0,86 млрд. м<sup>3</sup> природного газу [6].

За проведення рубок харвестером, порубкові залишки укладаються в купи вздовж пасічного волока. В подальшому їх подрібнюють безпосередньо на зрубі або збирають у розсипному виді чи пакетують, транспортують і складають на площадках біля лісової дороги, проміжного терміналу або у споживача біопалива, а потім переробляють в тріску. Місце, де виконується подрібнення біомаси, визначає техніко-технологічні рішення виробництва біопалива з порубкових залишків [7].

В європейських країнах основний обсяг тріски з порубкових залишків виготовляється на площадках біля лісових доріг [8, 9]. Ряд науковців вважають, що заготівля тріски на лісосіці є найбільш ефективним варіантом виробництва цього виду біопалива з порубкових залишків [10, 11]. Інші стверджують, що з огляду на ефективність та екологічні вимоги, необроблену біомасу доцільно транспортувати на відстані до 30 км на площадки споживача [12, 13].

Окремі аспекти техніко-технологічних рішень виробництва тріски з порубкових залишків в Україні висвітлено в працях вітчизняних науковців [14-16]. Враховуючи незначну кількість публікації щодо виробництва тріски з порубкових залишків, слід відзначити, що дана тематика потребує більш широкого дослідження.

Метою досліджень є оцінка ефективність різних техніко-технологічних рішень виробництва тріски з порубкових залишків.

**Методи і матеріали.** Під час виконання роботи оцінювали експлуатаційно-технологічні та економічні показники трьох техніко-технологічних схем заготівлі тріски з порубкових залишків з використання деревоподрібнювача Farmi СН-27АСС, оснащеного краном для подачі біомаси на приймальний стіл (табл. 1).

**Таблиця 1 - Схеми проведення досліджень**

| Техніко-технологічна схема                | Технологічна операція                                                                    | Склад агрегату                                                  |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>На зрубі (варіант 1)</b>               | Підбирання і подрібнення порубкових залишків та завантаження тріски в кузов причепа      | Трактор ЛТ-105 “Solis” + деревоподрібнювач Farmi CH-27ACC       |
|                                           | Транспортування тріски до споживача                                                      | Трактор ЛТ-105 “Solis” + причіп тракторний 2ПТС-6 з надставками |
| <b>На придорожній площаді (варіант 2)</b> | Підбирання, перевезення та укладання порубкових залишків у кагати на придорожній площаді | Трактор ЛТ-105 “Solis” + лісовий причіп ПЛ-4                    |
|                                           | Подрібнення порубкових залишків та завантаження тріски в кузов причепа                   | Трактор ЛТ-105 “Solis” + деревоподрібнювач Farmi CH-27ACC       |
|                                           | Транспортування тріски до споживача                                                      | Трактор ЛТ-105 “Solis” + причіп-трісковоз 2ТСП-14               |
| <b>На площадці споживача (варіант 3)</b>  | Підбирання, перевезення та укладання порубкових залишків у кагати на площадці споживача  | трактор ЛТ-105 “Solis” + лісовий причіп ПЛ-4                    |
|                                           | Подрібнення порубкових залишків та вивантаження тріски на площадку                       | Трактор ЛТ-105 “Solis” + деревоподрібнювач Farmi CH-27ACC       |
|                                           | Формування кагатів тріски для її зберігання                                              | Трактор ЛТ-105 “Solis” + фронтальний навантажувач Т-229D        |

Вихідні дані проведення досліджень: експлуатаційний запас деревини - 270 м<sup>3</sup>/га (190 т/га); обсяг порубкових залишків на лісосіці – 38 м<sup>3</sup>/га (26 т/га); відстань від лісосіки до площадки споживача – 15 км, в тому числі до придорожньої площадки – 5 км; швидкість руху з вантажем (без вантажу) ліською і магістральною дорогами - 20 км/год. (30 км/год.), волоками і ліською - 5 км/год. (10 км/год.).

Експлуатаційно-технологічні показники машин визначались за методами наведеними в [14] та нормативних документах на випробування відповідного типу машин.

Економічну ефективність досліджуваних варіантів виробництва деревної тріски оцінювали ДСТУ 4397:2005 "Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробувань".

Статистичну обробку результатів досліджень проводили за загальноприйнятими науковими традиційними у лісівництві та рослинництві методиками.

**Результати.** Результатами оцінювання досліджуваних техніко-технологічних рішень наведено в таблиці 2.

**Таблиця 2** - Результати досліджень варіантів технології заготівлі тріски з порубкових залишків

| Показник                                                                                   | Значення показника      |                                              |                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|
|                                                                                            | Варіант 1<br>(на зрубі) | Варіант 2<br>(на<br>придорожній<br>площадці) | Варіант 3<br>(на площадці<br>споживача) |
| Продуктивність дерево<br>подрібнювача за годину основної<br>роботи, т/год.                 | 12,19                   |                                              |                                         |
| Продуктивність<br>деревоподрібнювача (системи<br>машин) за годину змінного часу,<br>т/год. | 2,78                    | 6,91                                         | 7,93                                    |
| Кількість агрегатів, шт.                                                                   |                         |                                              |                                         |
| - ЛТ-105 "Solis" +Farmi CH-<br>27ACC                                                       | 1                       | 1                                            | 1                                       |
| - ЛТ-105 "Solis" + 2ПТС-6                                                                  | 3                       | -                                            | -                                       |
| - ЛТ-105 "Solis" + 2ТСП-14                                                                 | -                       | 3                                            | -                                       |
| - ЛТ-105 "Solis" + ПЛ-4                                                                    | -                       | 4                                            | 8                                       |
| - ЛТ-105 "Solis" + Т-229D                                                                  | -                       | -                                            | 1                                       |
| Вартість технічних засобів, тис. грн.                                                      | 8568,000                | 19842,00                                     | 26301,60                                |
| <sup>1</sup> Сезонний виробіток за<br>нормативного завантаження, т                         | 2224                    | 5528                                         | 6344                                    |
| Потужність котелень, МВт                                                                   | 1,32                    | 3,28                                         |                                         |
| Орієнтовна площа зрубів, га                                                                | 84                      | 209                                          |                                         |
| Сумарні затрати праці, люд.год./т                                                          | 1,44                    | 1,12                                         | 1,31                                    |
| Сумарні витрати палива кг/т                                                                | 5,85                    | 5,77                                         | 6,20                                    |
| Прямі експлуатаційні витрати, грн./т                                                       | 1216                    | 1144                                         | 1310                                    |
| Приведені витрати, грн./т                                                                  | 1617                    | 1539                                         | 1772                                    |
| Собівартість тріски (приведені +<br>накладні витрати (36%)), грн./т                        | 2199                    | 2093                                         | 2410                                    |
| <sup>4</sup> Економічний ефект, грн./т                                                     | 301                     | 407                                          | 90                                      |

<sup>1</sup> нормативне річне завантаження деревоподрібнювальних машин - 800 год.

<sup>2</sup> економічний ефект розраховано за ціни тріски 2500 грн./т

В технологічному ланцюзі заготівлі тріски основною є деревоподрібнювальна машина. Відтак, номенклатура машин вибиралась з огляду на забезпечення стабільної роботи деревоподрібнювача без простоїв на очікування технологічного транспорту та річного обсягу робіт.

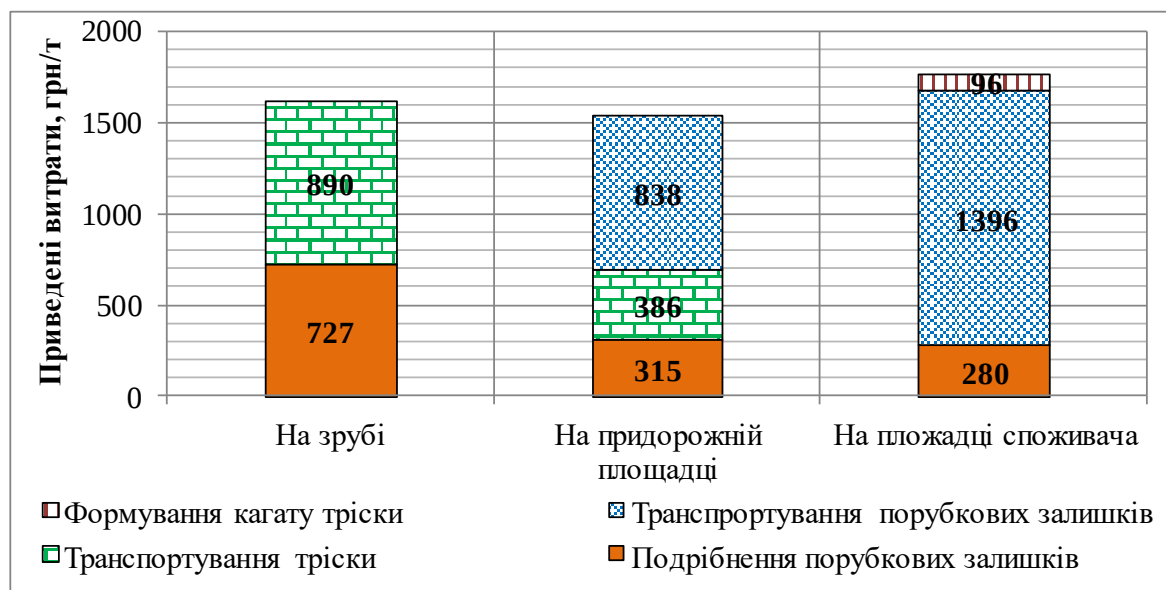
Під час виконання технологічного процесу на зрубі (варіант 1) подрібнювач переміщається пасікою по слідах харвестера, зупиняється біля купок деревних залишків, підбирає, подрібнює їх і завантажує тріску в кузов транспортного засобу, який рухається поруч з ним. Продуктивність подрібнювача Farmi CH-27ACC за годину змінного часу становить 2,78 т/год., а для забезпечення його стабільної роботи необхідно три транспортні агрегати ЛТ-105 “Solis” + 2ПТС-6. Сезонний виробіток складає 2224 т тріски, що достатньо для роботи котелень потужністю 1,32 МВт. За сезон ця система машин може зібрати і переробити в тріску деревні залишки на зрубках площею 84 га. Її доцільно застосовувати в лісових господарствах з площею лісових насаджень 5-10 тис. га.

За виробництва тріски на придорожній площадці (варіант 2) відпадає потреба переміщення деревоподрібнювача лісосікою, зменшується відстань переїздів до місця роботи, що зумовлює збільшення коефіцієнта використання змінного часу і продуктивності роботи, яка складає 6,91 т/год. Сезонний виробіток складає 5528 т тріски, що достатньо для забезпечення паливом котелень потужністю 3,28 МВт. Необхідна площа зрубів – 209 га за площі лісових насаджень 16,72 тис. га. Для забезпечення достатньої кількості сировини та стабільної роботи деревоподрібнювача Farmi CH-27ACC необхідно чотири лісових причепа для збирання і перевезення порубкових залишків ПЛ-4 та три транспортні агрегати ЛТ-105 “Solis” + 2ТСП-14.

Під час роботи на площадках споживача (варіант 3) подрібнювач переробляє порубкові залишки і вивантажує тріску на площадку. Він не зв'язаний з технологічним транспортом, зменшуються затрати часу на очікування і зміну причепів та переїзди до місця роботи, що зумовлює збільшення продуктивності до 7,93 т/год. Сезонний виробіток складає 6344 т, що достатньо для котелень потужністю 3,76 МВт. Така система машин дозволяє переробити тріску з площі зрубів 239 га і може бути застосована у лісових господарствах з площею лісових

насаджень 19,12 тис. га. Для забезпечення достатнього обсягу порубкових залишків необхідно використання восьми лісових причепів для біомаси ПЛ-4.

За результатами досліджень встановлено, що найбільш ефективною виявилася техніко-технологічна схема виробництва тріски на площадках біля лісових доріг, а найменш ефективною – виробництво тріски на площадках споживача. Структура затрат за технологічними операціями для варіантів виробництва тріски наведена на діаграмі (рис.1).



**Рисунок 1** – Структура витрат на виробництво тріски в розріз технологічних операцій

Приведені витрати на виробництво тріски на зрубі становлять 1617 грн/т на придорожній площадці – 1539 грн/т, на площадці споживача – 1772 грн/т. В структурі витрат найбільше припадає на транспортну логістику порубкових залишків та тріски. Сумарно по варіанту 1 логістичні витрати складають 890 грн/т (55%), варіанту 2 – 1224 грн/т (79,5%), варіанту 3 – 1492 грн/т (84,2%).

Економічний ефект виробництва тріски складає за варіантами техніко-технологічних рішень варіює від 90 до 407 грн/т. Найбільший ефект одержано за виробництва тріски на придорожніх площадках (варіант 1).

**Висновки.** Річний обсяг виробництва тріски за досліджуваними варіантами техніко-технологічних рішень варіює в межах від 2224 до 6344 т, що достатньо для роботи котелень потужністю 1,32-3,76 МВт і орієнтовно може замінити 0,63 – 1,81

млн. м<sup>3</sup> природного газу.

Найбільшу продуктивність деревоподрібнювача Farmi CH-27ACC (7,93 т/год.) одержано у варіанті виробництва тріски на площадці споживача. Проте, даний різновид технології потребує значної кількості технічних засобів для доставки порубкових залишків (8 агрегатів - трактор ЛТ-105 “Solis” + лісовий причіп ПЛ-4), що приводить до значного збільшення логістичних витрат і собівартості деревного палива.

На транспортну логістику припадає від 55% до 84,2% витрат виробництва деревної тріски з порубкових залишків.

Економічний ефект виробництва тріски складає за варіантами техніко-технологічних рішень варіює від 90 до 407 грн/т. Найбільший ефект одержано за виробництва тріски на придорожніх площадках.

### Література

1. Басок Б. І., Базєєв Є. Т., Кураєва І. В. Глобальне потепління – фізика і геополітика (огляд). 2. Політика послаблення негативного впливу змін клімату та адаптації до них. Теплофізика та теплоенергетика, 2021, т. 43, №2. С. 30-40 DOI:10.31472/ttpe.2.2021.4 (дата звернення: 10.09.2025)

2. How Big is the Bioeconomy? Reflections from an economic perspective. EUR 30167 EN/ T. Kuosmanen et al. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. 51 p. DOI:10.2760/144526 (дата звернення: 10.09.2025)

3. Коченков А., Омельченко В. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни. Центр Разумкова: URL: <https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny> (дата звернення: 10.09.2024)

4. Замазєєва Г. Тепло з біопалива: як не допустити занепаду галузі. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <https://saee.gov.ua/news/teplo-z-biopaliwa-iak-ne-dopustiti-zanepadu-galuzi> (дата звернення: 10.09.2024)

5. Global bioenergy statistics 2019. World Bioenergy Association. URL: [https://www.worldbioenergy.org/uploads/191129%20WBA%20GBS%202019\\_HQ.pdf](https://www.worldbioenergy.org/uploads/191129%20WBA%20GBS%202019_HQ.pdf) (дата звернення: 10.09.2024)

6. Можливості заготівлі деревного палива в лісах України: Аналітична записка БАУ №19./ Г.Г. Гелетука та ін: Біоенергетична асоціація України, 2018. 29 с. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2018/01/position-paper-uabio-19-ua.pdf> (дата звернення: 10.09.2024)

7. Routa J., Asikainen A., Björheden R., Laitila J., Röser D. Forest Energy Procurement – State of the Art in Finland and Sweden. WIREs Energy and Environment, 2013. №

2 8. Ranta T., Rinne S. The profitability of transporting uncomminted raw materials in Finland. Biomass Bioenergy, 2006, №30. P. 231–237. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.11.012> (дата звернення: 11.09.2025)

) 9. Kärhä K. Industrial supply chains and production machinery of forest chips in Finland. Biomass Bioenergy, 2011, №35. P.3404–3413. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.11.016> (дата звернення: 11.09.2025)

P 10. Róžański, H. & Jabłoński, K. (2014). Technologie pozyskiwania biomasy leśnej na cele energetyczne. Czasopismo inżynierii lądowej, środowiska i architektury, т. XXXI, № 61. s.453-458. DOI [10.7862/rb.2014.111](https://doi.org/10.7862/rb.2014.111) (дата звернення: 11.09.2025)

6 11. Alternative supply chains for logging residues under access constraints / R. Spinelli et al. Scandinavian Journal of Forest Research, 2014. №29(3). P. 266–274. DOI:[10.1080/02827581.2014.896939](https://doi.org/10.1080/02827581.2014.896939) (дата звернення: 10.09.2025)

– 12. Gołos, P.; Kaliszewski, A. Aspects of using wood biomass for energy production. Forest Research Papers. 2015, № 76, s. 78–87. DOI: 10.1515/frp-2015-0009 (дата звернення: 10.09.2025)

3 13. Piszczalka, J.; Korenko, M.; Rutkowski, K. Ocena energetyczno-ekonomiczna ogrzewania dendromasą. Inżynieria Rolnicza. 2007, №6, s. 189–196. URL: [https://ir.ptir.org/artykuly/pl/94/IR\(94\)\\_1888\\_pl.pdf](https://ir.ptir.org/artykuly/pl/94/IR(94)_1888_pl.pdf) (дата звернення: 10.09.2025)

О 14. Думич В., Крупич О. Дослідження ефективності систем машин для виробництва тріски на лісосіці. Техніко-технологічні аспекти розвитку та :

випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: 36. наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2025. Випуск 36 (50), С. 69-85. DOI:10.31473/2305-5987-2025-1-36(50)-6

15. Думич В. В. Тенденції розвитку машин для транспортування гілково-стовбурної біомаси. Науково-технічні засади розроблення, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технології: матеріали XXIV Міжнарод. наук. конф. , смт. Дослідницьке, 13 вересня 2024 р./ УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого; Україна, Дослідницьке, 2024. – С. 56-63

16. Драгнєв С. Техніко-економічні показники логістичних операцій постачання біомаси на енергетичні об'єкти. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2023/12/10.-Dragnyev-S.-V.-Tehniko-ekonomichni-pokaznyky-logistychnyh-operatsij-postachannya-biomasy-na-energetychni-obyekty.pdf> (дата звернення: 21.12.2023)

УДК 662.8:674.038.19

## **ЗАХОДИ БЕЗПЕЧНОЇ ПРАЦІ НА ОБЛАДНАННІ ДЛЯ БРИКЕТУВАННЯ БІОМАСИ**

**Єременко О.**, канд. техн. наук, доцент, e-mail: [eremolex@nubip.edu.ua](mailto:eremolex@nubip.edu.ua)

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Гайдай Т.**, канд. техн. наук,

ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

**Поліщук В.**, д-р техн. наук, професор,

**Майструк І.**, студент бакалаврату,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Вступ.** Типова лінія для виробництва біопаливних брикетів типу Pini\*Кау [1] включає, як правило, таке обладнання: бункер-накопичувач, скребковий або стрічковий транспортер, циклон, сушарка біомаси, дробарка, екструдер для формування брикетів, охолоджувач брикетів та торцювальний пристрій [1-3]. Функціонування обладнання забезпечує виробництво продукції [4], але, разом з

цим, утворюються шкідливі та небезпечні чинники, які негативно впливають на організм людини й навколишнє середовище [3, 5].

**Мета роботи.** Досягнення мінімізації впливу негативних чинників на працівників при шнековому брикетуванні рослинної біомаси шляхом аналізу технологічних процесів та надання рекомендацій безпечної праці.

**Матеріали і методи.** Сировинна біомаса має значний рівень абразивності та кислотності, який призводить до інтенсивного зношування шнека та філь'єри екструдера. Це явище сприяє збільшенню витрат на виробництво брикетів [3, 6].

При шнековому брикетуванні сировина піддається термічно-механічному впливу, рівень якого залежить від показника проходження біомаси уздовж робочих поверхонь. В зоні завантаження відбувається контактування попередньо подрібненої до 1-5 мм сировини, яка має низьку насипну щільність (наприклад, деревна тирса 150-200 кг/м<sup>3</sup>, лузга соняшнику близько 120 кг/м<sup>3</sup>) [1, 3]. В зоні пресування металеві поверхні шнека контактують з абразивними частинками біомаси, яка підлягає стисненню, деформації та ущільненню. Біомаса нагрівається внаслідок тертя об робочі поверхні та від нагрівача. В результаті виділяється лігнін, що сприяє утворенню в'язко-пластичного середовища. При виході зі шнекової камери ущільнена біомаса екстрагується у філь'єрі матриці. При цьому на поверхні брикету під впливом високої температури (деревної тирси 320–350°C, лузги соняшника 240–290°C) утворюється зольна плівка [2, 3, 6]. Під час спікання зовнішнього шару брикету виділяються у виробниче середовище такі хімічні сполуки як акролеїн, діоксид азоту, діоксид вуглецю, рослинний пил, діоксид кремнію [3], які вступають в молекулярний контакт з матеріалом робочих органів. Крім того, ці екологічно небезпечні чинники разом з лігніном внаслідок адсорбції, хемосорбції і дифузії атомів, змінюють хімічний склад поверхні робочих органів. Під дією високої температури, звільненої вологи та впливу слабо-кислого середовища біомаси відбувається хімічна реакція на поверхні металу, яка провокує корозійне-механічне зношування [3]. Внаслідок виникають вторинні структури, товщина яких коливається в межах 0,05–0,1 мкм. Як правило, це зношування характерне для зони екструзії та спікання, але подібне спостерігається в камері

стиснення біомаси. Корозійне-механічне зношування протікає у системі «біомаса–шнековий механізм» [3, 6].

Під час брикетування під дією високої температури відбувається термодеструкція органічних речовин біомаси. Термодеструкція супроводжується утворенням агресивних по відношенню до металу хімічних речовини [3, 6]. При механічному диспергуванні біополімерів утворюються макро-радикали, які вступають в активну взаємодію з металами. Під час термодеструкції відбувається утворення поверхнево-активних речовин, дія яких супроводжується адсорбційним зниженням твердості та межі втоми [3, 6].

**Результати та обговорення.** Аналіз небезпечних і шкідливих факторів проведено на провідному підприємстві ТОВ «ЧеркасиЕлеваторМаш» [3]. Найбільш значимими ризиками є фізичні та хімічні небезпеки (таблиця 1).

Аналіз таблиці 1 свідчить, що найбільш небезпечними є екструдер для отримання брикетів, сушарка та торцювальний пристрій. До найбільш впливових факторів слід віднести підвищену запиленість та загазованість робочої зони, високу температуру поверхні обладнання та матеріалів.

Випадки фізико-механічного травмування у ТОВ «ЧеркасиЕлеваторМаш» під час роботи на брикетному обладнанні мають такі показники у відсотках:

- травмування пальців або кисті рук, внаслідок захоплення робочими органами, що обертаються – 45;
- потрапляння до очей літаючого пилу – 38;
- травмування при налагодженні обладнання чи демонтажу – 9;
- травмування частин тіла брикетом при різанні торців – 4;
- інші випадки травмування – 4.

Стан повітря робочої зони визначався згідно з технічною документацією відповідно до вимог наказу МОЗ «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони», від 14.07.2020 № 1596.

**Таблиця 1 - Фізичні та хімічні фактори небезпек, що характерні для обладнання лінії виробництва паливних брикетів з рослинної біомаси**

| <b>Назва обладнання</b><br><b>Фактори небезпеки</b>                                     | <b>Бункер-накопичувач</b> | <b>Транспортер</b> | <b>Циклон</b> | <b>Сушарка</b> | <b>Дробарка</b> | <b>Екструдер</b> | <b>Охолоджувач</b> | <b>Торцювальний пристрій</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------|---------------|----------------|-----------------|------------------|--------------------|------------------------------|
| Гострі кромки обладнання, інструменту                                                   |                           |                    |               |                | +               |                  |                    | +                            |
| Підвищена запиленість та загазованість повітря                                          | +                         | +                  |               |                | +               | +                | +                  | +                            |
| Гарячі або холодні місця повітря робочої зони                                           | +                         |                    | +             | +              |                 | +                | +                  |                              |
| Підвищена температура поверхні обладнання                                               |                           |                    |               | +              | +               | +                |                    | +                            |
| Підвищений рівень шуму на робочому місці                                                |                           | +                  | +             |                | +               | +                |                    | +                            |
| Підвищений рівень вібрації на робочому місці                                            |                           | +                  | +             | +              | +               | +                |                    | +                            |
| Підвищене значення напруги в електромережі (замикання може відбутися через тіло людини) |                           | +                  | +             | +              | +               | +                |                    | +                            |
| Підвищений рівень статичної електрики                                                   |                           | +                  | +             | +              | +               | +                |                    | +                            |
| Підвищений рівень електромагнітного випромінювання                                      |                           |                    |               | +              | +               | +                |                    | +                            |
| Токсичні і подразнюючі речовини                                                         |                           |                    |               | +              |                 | +                | +                  |                              |

Основним джерелом утворення пилу є робота дробарки, екструдера, торцювального пристрою. У повітря виділяється високодисперсний пил (0,8–5 мкм), до складу якого, крім органічних сполук, входять металеві та мінеральні частинки. Вміст пилу у повітрі може сягати 600–1000 мг/м<sup>3</sup> при подрібненні без використання примусової вентиляційної системи.

В лінії виробництва брикетів відбуваються механічні та фізико-хімічні зміни структури біомаси. У повітря робочої зони надходить суміш парів, газів і аерозолів. Летючі продукти, що утворюються при тепловому розкладанні (термодеструкції) ряду органічних речовин, є пожежонебезпечними, токсичними та можуть

викликати зміни центральної нервової і судинної систем, внутрішніх органів, створювати шкірно-трофічні порушення. Тривале вдихання пилу призводить до розвитку пилових захворювань бронхо-легеневого апарату – пневмоконіозів та хронічного пилового бронхіту. Також вдихання пилу і шкідливих газів призводить до захворювання бериліозом [3, 7]. Показники за вмістом пилу у повітрі робочої зони наведено у таблиці 2.

**Таблиця 2** - Вміст пилу у повітрі при брикетуванні залежно від типу сировини

| <b>Перероблювальна сировина</b> | <b>Вміст пилу, мг/м<sup>3</sup></b> |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Лушпиння соняшнику              | 800–1000                            |
| Деревна тирса                   | 500–554                             |
| Солома ячменю                   | 126–238                             |

Хімічний склад повітря та вміст димових газів, які утворюються при піролізі біомаси майже не залежить від типу сировини. Під час піролізу 1 м<sup>3</sup> сировини утворюється 85–95 м<sup>3</sup> газів, з яких метан та кисень утворюють вибухонебезпечну суміш. Повітря в робочій зоні має підвищену температуру димових газів 70–255°C та такий склад газів у відсотках (%): оксид сірки 10–16; оксид азоту 9–16; кисень 8–15; метан 0–0,01; діоксид вуглецю 5–9.

Рівень шуму на робочих місцях вимірювали відповідно до вимог ГОСТ 12.1.050-86 Система стандартів безпеки праці. Методи вимірювання шуму на робочих місцях. Спектри шуму більшості обладнання лінії для виробництва паливних брикетів з рослинної біомаси мають середній та високочастотний характер. Загальні рівні звукового тиску знаходяться в межах від 85 до 100 дБА. Найбільш високі рівні спостерігаються в робочій зоні дробарки, екструдера та торцювального пристрою. Рівень звукової потужності на робочому місці оператора не повинен перевищувати гранично-допустимий рівень 80 дБА, тобто необхідно виконувати заходи безпеки для зменшення дії цього фактору [3, 7].

Під час виробництва брикетів з біомаси трапляються опіки шкіри працівника, причиною яких є гаряча поверхня сушарки, дробарки, екструдера та торцювального пристрою. Особливо небезпечними є поверхня головки екструдера

та паливні брикети після екструзії, які можуть тліти і є пожежонебезпечними. Температуру робочих органів екструдера та брикетів після екструзії залежно від виду сировини наведено у таблиці 3.

**Таблиця 3** - Температура робочих органів екструдера та брикетів після екструзії

| Тип сировини       | Температура обробки, °С |
|--------------------|-------------------------|
| Деревні залишки    | 320–350                 |
| Лушпиння соняшнику | 250–290                 |

Також трапляються опіки, якщо вологість сировини перевищує 8 %. Це пов'язано з тим, що під час екструзії утворюються парові пробки, сировина вилітає з головки екструдера та травмує працівників. Технічне обслуговування екструдера та пакування брикетів заборонено, якщо їх температура перевищує 40°С. Під час екструзії під великим тиском та високою температурою відбувається термічна деструкція, піроліз поверхні паливних брикетів [3, 7].

За результатами проведеного аналізу доцільно застосовувати низку заходів безпеки на брикетному виробництві.

У поточних лініях при зупинці будь-якого засобу слід зупиняти все попереднє обладнання, якщо лінії не оснащені накопичувачами або відсутні буферні майданчики. Над гарячим брикетним пресом та в місцях охолодження гарячих брикетів необхідна установка укриття з місцевими відсмоктувачами.

Розміщення виробничого обладнання при організації технологічних процесів виробництва паливних брикетів повинно забезпечувати безпеку та зручність його обслуговування, а також можливість евакуації працюючих. Проїзди і проходи у приміщеннях, де встановлено обладнання, повинні бути позначені лініями білого кольору та знаками відповідно до вимог ДСТУ ISO 6309:2007 Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір.

Обладнання, що створює підвищений рівень шуму, слід розташовувати в окремих приміщеннях або розміщувати в звукоізолюючі засоби. Робочі місця операторів у шумних зонах повинні бути захищені щитами, що поглинають шум.

Для обслуговування обладнання (теплогенератор барабанної сушарки,

транспортер, циклон), розташованого вище 1,3 м від рівня підлоги, повинні передбачатися огорожі відповідно до вимог ГОСТ 12.4.059-89 ССБТ. Будівництво. Огородження запобіжні інвентарні. Загальні технічні умови.

Гарячий брикетний прес та інше обладнання, що інтенсивно виділяє тепло, повинно бути оснащено екранами, щоб інтенсивність теплового заручення на робочих місцях не перевищувало  $100 \text{ Вт/м}^2$  [7].

З метою експрес-аналізу біопаливних брикетів необхідно отримати зразки. Для цього пропонується використовувати жароміцні кліщі, які мають форму профілю брикету (коло, шестикутник, чотирикутник) та ручку із жароміцного матеріалу. В зоні екструзії та охолодження необхідно встановити витяжку для виведення з робочої зони повітря, яке містить дим та пил. Повітря має пройти очищення крізь змонтовані тканинні фільтри, скрубери або електрофільтри.

Для попередження опіків під час технічного обслуговування екструдера, сушарки та торцювального пристрою потрібно встановлювати термодатчики, які автоматично контролюють температуру на робочих органах та в місцях обслуговування. Спеціальний одяг, рукавиці та окуляри для працівників мають бути виготовлені з термостійких матеріалів для захисту від потрапляння іскор та гарячого пилу і диму.

**Висновки.** Аналіз чинників небезпек та оцінка ризиків небезпечного виробництва паливних брикетів з рослинної біомаси необхідні для впровадження заходів щодо зменшення дії небезпечних факторів на організм людини та навколишнє середовище, які можуть призвести до виникнення нещасних випадків та аварій на виробництві.

Режими технологічних процесів виробництва біопаливних брикетів згідно з вимогами ДСТУ ISO 6309:2007 Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір повинні забезпечувати:

- узгодженість роботи обладнання, що виключає виникнення небезпечних і шкідливих факторів;
- пожежну безпеку виробництва;
- застосування засобів індивідуального і колективного захисту працівників;

– охорону навколишнього середовища.

Під час екстрагування під дією продуктів термічної деструкції біомаси (органічних кислот) та мінеральних речовин відбувається корозійне-механічне, адгезійне, утомне та абразивне зношування. Одним із шляхів підвищення зносостійкості і зменшення впливу небезпечних хімічних сполук є нейтралізація агресивного, кислотного середовища для мінімізації зазначеного зношування.

За результатами досліджень розроблено методику визначення активної та загальної кислотності сировинної біомаси та брикетів. Запропоновано методику визначення вмісту абразиву у сировині для виробництва брикетів. Встановлено, що біомаса має слабо-кисле середовище та містить абразивні частинки. Найбільшу загальну кислотність має лузга соняшника, а найбільший вміст абразивних частинок має солома ячменю.

### Література

1. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Драгнєв С.В. Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні. Аналітична записка БАУ № 20. К.: 2018. 48 с.

2. Piskunova L.E., Yeremenko O.I., Zubok T.O., Serbeniuk H.A., Korzh Z.V. Scientific and methodological aspects of solid biofuel production processes in compliance with labor protection and environmental safety measures. Polityka energetyczna – energy policy Journal, 2022. Volume 25. Issue 1. 143-154. DOI: 10.33223/epj/144008. URL. <https://epj.min-pan.krakow.pl/>

3. Цимбал Б.М., Войтов В.А., Артем'єв С.Р. Підвищення ефективності виконання заходів з охорони праці та екологічної безпеки під час експлуатації шнекових екструдерів: монографія. Харків: НУЦЗ України, 2018. 172 с.

4. O. Yeremenko, V. Maidanovych, S. Subota, T. Zubok. INFLUENCE OF PRESSING MODES ON QUALITY INDICATORS OF BRIQUETTES FROM STRAW MATERIALS AND GRAIN WASTE. Proceedings of 24nd International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”, May 21-23, 2025, Jelgava, Latvia, pp. 913-918. DOI: 10.22616/ERDev.2025.24.TF189

5. Sanchez, P. D. C., Aspe, M. M. T., & Sindol, K. N. An overview on the production of bio-briquettes from agricultural wastes: methods, processes, and quality. Journal of Agricultural and Food Engineering, 2022, 1, 0036. <http://doi.org/10.37865/jafe.2022.0036>

6. Єременко О.І., Василенков В.С., Руденко Д.Т. Дослідження процесу брикетування біомаси шнековим механізмом. Інженерія природокористування, № 3(17). Харків: 2020. С. 15-22. <http://journals.uran.ua/index.php/2311-1828>

7. Войналович О.В. Працезохоронні засади у схемах, таблицях і графіках. К.: Основа, 2014. 142 с.

## НАУКОВЕ ВИДАННЯ

### Науково-технічні засади розроблення, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій

**Матеріали**  
**XXV Міжнародної наукової конференції,**  
***присвяченої пам'яті академіка Леоніда Погорілого***

Відповідальний за випуск – Н. Майданович

Коректор – А. Біліченко

Комп'ютерна верстка – О. Литовченко

Державна наукова установа «Український науково-дослідний інститут  
прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського  
виробництва імені Леоніда Погорілого»  
(УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

Підписано до друку 1.10.2025.  
Формат 60х84/8. Папір офсетний. Друк цифровий.  
Умов. друк. арк. 16,2.  
Наклад 100 прим.

Виготовлювач УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого.  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру  
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія ДК № 4415 від 01.10.2012 р.  
08654, Київська обл., Білоцерківський р-н, смт Дослідницьке,  
вул. Інженерна, 5