УДК 631.512:631.41
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-23

Шевченко І. А.
доктор технічних наук, доктор сільськогосподарських наук,
професор, член-кореспондент НААН України,
професор кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії,
Хмельницький національний університет
Хмельницький, Україна
***E-mail:** shevchenko9985@gmail.com*
***ORCID:** 0000-0002-4191-4146*

Ткачук В. С.
кандидат технічних наук,
асистент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
***E-mail:** tkachukvs@pdatu.edu.ua*
***ORCID:** 0000-0001-5414-2387*

Мартинюк А. В.
кандидат технічних наук, доцент,
завідуючий кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії,
Хмельницький національний університет
Хмельницький, Україна
***E-mail:** avmart@khmnu.edu.ua*
***ORCID:** 0000-0001-8277-1308*

Люховець В. В.
кандидат технічних наук,
асистент кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії,
Хмельницький національний університет
Хмельницький, Україна
E-mail:** liukhovetsvo@khmnu.edu.ua**s
***ORCID:** 0000-0002-6978-7820*

ДОСЛІДЖЕННЯ МАКЕТНОГО ЗРАЗКА КОМБІНОВАНОГО ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ТА ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Анотація

У світовій практиці знаходять широке застосування універсальні комбіновані агрегати, які здатні виконувати як поверхневий, так і передпосівний обробіток ґрунту. Вони обладнанні шлейфом різних пристосувань, відмінною особливістю яких є наявність пружних стійок робочих органів в комплекті зі стрілчастою лапою. Дослідження підпружинених або встановлених на пружних стійках робочих органів свідчать, що в певних ґрунтових умовах при заданих робочих швидкостях і глибині обробітку можна досягти зниження питомого тягового опору, покращити якісні показники роботи машини, а також забезпечити самоочищення робочих органів від налипання ґрунту та зависання бур'янів.

Запропоновано конструкцію комбінованого агрегату для поверхневого та передпосівного обробітку ґрунту в якості першої групи робочих органів було застосовано Х-подібні робочі органи типу "Ханкмо", а у якості пружних робочих обрано S-подібну посилену підресорену стійку із стрілчастою лапою шириною захоплення 220 мм.

Об'єкт дослідження – процес взаємодії ґрунтообробного комбінованого агрегату для поверхневого та передпосівного обробітку із ґрунтовим середовищем з метою визначення його якісних та енергетичних показників роботи в умовах України в залежності від режимів роботи.

За проведеними експериментальними дослідженнями визначені базові показники роботи знаряддя – якість розпушення ґрунту, питомий тяговий опір макетного зразка комбінованого агрегату, гребенистість поверхні поля після обробітку, в залежності від швидкості руху знаряддя і глибини обробітку ґрунту.

Отримані рівняння регресії дозволяють підбирати в залежності від технологічних завдань режими роботи агрегата. Графічна інтерпретація результатів експериментальних досліджень свідчить, що отримані раціональні режими роботи макетного зразка комбінованого агрегату (V = 2,1–2,2 м/с і h =10–12 см) відповідають оптимальним режимам роботи робочих органів, за якими вони проєктувалися. Зокрема, це підтверджено за параметром оптимізації "тяговий опір комбінованого агрегату" в діапазоні швидкостей агрегату 2-2,1 м/с. Практичне значення результатів досліджень полягає в тому, що вони можуть бути використані для доопрацювання макетного зразка знаряддя перед запуском його в серійне виробництво.

***Ключові слова:** ґрунтове середовище, поверхневий обробіток, передпосівний обробіток, комбінований агрегат, якісні та енергетичні показники роботи.*

© Шевченко І. А., Ткачук В. С., Мартинюк А. В., Люховець В. В., 2026
pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

Вступ. У світовій практиці знаходять широке застосування універсальні комбіновані агрегати, які здатні виконувати як поверхневий, так і передпосівний обробіток ґрунту. Вони обладнанні шлейфом різних пристосувань, відмінною особливістю яких є наявність пружних стійок робочих органів в комплекті зі стрілчастою лапою. Дослідження підпружинених або встановлених на пружних стійках робочих органів свідчать, що в певних ґрунтових умовах при заданих робочих швидкостях і глибині обробітку можна досягти зниження питомого тягового опору, покращити якісні показники роботи машини, а також забезпечити самоочищення робочих органів від налипання ґрунту та зависання бур'янів.

Комбінація пружної S-подібна стійки зі стрілчастою лапою найбільш повно відповідає її призначенню – якісному обробітку ґрунту на глибину до 16 см, із переважаючою в обробленому шарі структури ґрунту з агрегатним складом не більше 25 мм.

Проведені лабораторно-польові дослідження робочих органів на пружній стійці, які серійно виробляються, показали їх недостатню функціональну відповідність своєму призначенню в складі комбінованого агрегату через неможливість роботи із стрілчастою лапою на глибині більшою за 8 см [4; 5; 7].

Із збільшенням глибини обробітку режим вимушеного автоколивального руху порушується, стійка відходить назад, блокується в такому стані і починає працювати як звичайна жорстка. Але, при цьому, розпушуюча лапа, кут встановлення якої до дна борозни змінний в процесі роботи і розрахований на режим автоколивання ($0\text{-}20^0$), в крайньому положенні стає значно вищим і зафіксованим далеко за 20^0 . Це призводить до значного зростання тягового опору, погіршення якісних показників роботи та зміни геометрії стійки, що, в свою чергу, робить ґрунтообробний агрегат не працездатним [5; 8; 12].

Залежно від технологічних завдань комбінований агрегат повинен виконувати поверхневий обробіток ґрунту на глибину до 16 см, а передпосівний – на глибину 6–8 см [2; 6; 11].

Із огляду на істотно відмінні умови роботи, схема технологічного процесу комбінованого агрегату було запропоновано в роботі [9; 10] і може бути загальною (рис. 1), а робочі органи, що її реалізують, бути конструктивно-технологічно адаптовані під конкретні технологічні задачі.

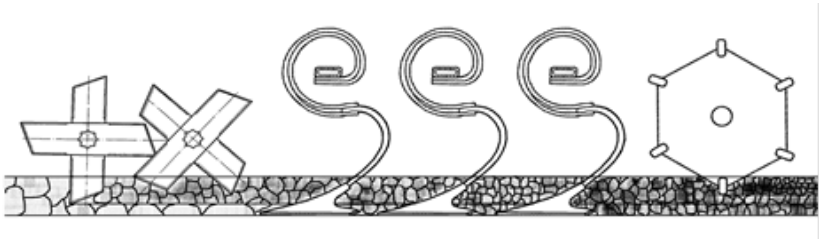


Рис. 1. Схема технологічного процесу комбінованого ґрунтообробного агрегату

У представленій схемі агрегату для поверхневого та передпосівного обробітку ґрунту в якості першої групи робочих органів було застосовано X-подібні робочі органи типу "Ханкмо" [10], а в якості пружних робочих обрано S-подібну посилену підресорену стійку із стрілчастою лапою шириною захоплення 220 мм [3].

Реалізація даної схеми сприяє вирішенню завдань, пов'язаних зі створенням необхідного агрегатного складу орного горизонту для умов недостатнього зволоження півдня. "Ханкмо" або X-подібні ротаційні робочі органи не відносяться до традиційних. Їх завдання – зменшити навантаження на S-подібні пружні робочі органи, виконати попередній обробіток важких (пересушених чи перезволожених ґрунтів), подрібнити рослинні рештки на стернових фонах, фонах після кукурудзи та соняшнику і в садах.

Взявши за основу теоретичні та експериментальні дослідження, що викладено в роботах [3; 10], на Гуляйпільському ВАТ "Сільмаш" було виготовлено макетні зразки універсального комбінованого агрегата АМК-2,7, експериментальним дослідженням якого присвячена дана робота (рис. 2).



Рис. 2. Макетний зразок знаряддя АМК-2,7

Мета дослідження – провести системні польові дослідження комбінованого ґрунтообробного агрегата з метою встановлення якісних та енергетичних показників роботи в умовах півдня України в залежності від режимів роботи.

Для досягнення мети необхідно:

– визначити вплив швидкості руху знаряддя і глибини обробітку ґрунту на якість розпушення ґрунту (процентний вміст агрегатного складу ґрунту розміром менше 25 мм в обробленому шарі);

– визначити вплив швидкості руху знаряддя і глибини обробітку ґрунту на питомий тяговий опір макетного зразка комбінованого агрегату. У випробуваннях використовувався питомий тяговий опір – $R_x/B{\cdot}a$ (кН/м), де B – робоча ширина захвату знаряддя, a – глибина обробітку ґрунту;

– визначити вплив швидкості руху знаряддя і глибини обробітку ґрунту на гребенистість поверхні поля після обробітку, мм.

Виклад основного матеріалу дослідження. Програмою лабораторно-польових досліджень макетного зразка комбінованого агрегату передбачалися його агротехнічна та енергетична оцінки.

Дослідження агрегату АМК-2,7 (рис. 3) проводилося на південноукраїнському чорноземі (агрофірма «Дружба», с. Новомиколаївка, Токмакського району, Запорізької обл., серпень 2020 р.). Тип ґрунту – південноукраїнський чорнозем. Фон – стерня озимої пшениці. Повторність досліджень – 3-кратна. Вологість ґрунту в шарах становила: 0–5 см – 10–12%; 5–10 см – 10–14%; 10–16 см – 12–15%. У цих шарах щільність ґрунту відповідно становила: 0,98–1,11 г/см^3; 1,22–1,26 г/см^3 та 1,29–1,31 г/см^3.

Для реєстрації тягового опору на тракторі встановлювалася тензоначіпка із тензоланкою кільцевого типу, аналогово-цифровий перетворювач KAD-WA-4, персональний комп'ютер та акумуляторна батарея. Обробка сигналу та нако-пичення результатів вимірювання здійснюється за допомогою пакета GAUS 8.

В основу методики проведення лабораторно-польових досліджень покладені ДСТУ 7435:2013 «Техніка сільськогосподарська. Методи визначення умов випробувань» та СОУ 74.3-37-155:2004 «Випробування сільськогосподарської техніки. Машини і знаряддя для обробітку ґрунту. Методи випробувань», а також загальноприйняті методики. Для експрес-аналізу вологості та щільності ґрунту застосовувався радіоізотопний прилад РПП-2.

Дослідження проводилися за методикою планування експерименту. Застосовувався дрібнофакторний D-оптимальний план Бокса-Бенкіна за трикратною повторністю. Адекватність отриманих рівнянь регресії оцінювали за критерієм Фішера. Статистичне оцінювання рівня дисперсії отриманих результатів проводилося за критерієм Кохрена. Значимість коефіцієнтів рівняння регресії оцінювали за критерієм Стьюдента. Всі критерії визначалися на 95 % рівні довірчої ймовірності [1].

Параметрами, що характеризують режим роботи макетного зразка комбінованого ґрунтообробного агрегату, були: швидкість руху знаряддя (V, км/год.) і встановлена глибина обробітку ґрунту (h, см).

Значення параметрів і матриця планування експериментів наведені в таблицях 1 і 2.



Рис. 3. Випробування макетного зразка комбінованого агрегату АМК-2,7

Параметрами оптимізації при проведенні експерименту встановлювалися:

K – якість розпушення ґрунту (процентний вміст агрегатного складу ґрунту розміром менше 25 мм в обробленому шарі);

Q – питомий тяговий опір макетного зразка комбінованого агрегату (кН/м^2).

У порівняльних випробуваннях використовувався питомий тяговий опір – $R_x/B{\cdot}a$ (кН/м^2), де B – робоча ширина захвату знаряддя, a – глибина обробітку ґрунту;

G – гребенистість поверхні поля після обробітку, мм.

Таблиця 1. Фактори та рівні варіювання в польових дослідженнях макетного зразка комбінованого агрегату

Фактор	Умовне позначення	Рівень			Інтервал
		+1	*0*	*-1*	
Робоча швидкість, ***V***, м/с	*x1*	2,8	2,3	1,8	0,5
Глибина обробітку, ***h***, см	*x2*	16	11	6	5

Таблиця 2. Матриця планування експерименту та значення факторів по варіантах при дослідженні макетного зразка комбінованого агрегату

N	Фактори		Варіанти в експерименті	
	x1	*x2*	*x1 – V, м/с*	*x2 – h, мм*
1	+1	+1	2,8	160
2	-1	+1	1,8	160
3	-1	-1	1,8	60
4	+1	-1	2,8	60
5	0,4	-1	2,5	60
6	+1	-0,5	2,8	85
7	-0,1	0,25	2,25	123

Результатами експериментальних досліджень макетного зразка універсального комбінованого агрегата АМК-2,7 є: якість розпушення ґрунту після обробітку макетним зразком комбінованого агрегату збільшилася у всіх варіантах порівняно з вихідним значенням на 40–60%. Інтенсивність зміни показника *K* в залежності від *V* і *h* представлена на рисунку 4. Гребенистість поверхні поля – параметр, що значно визначає якість роботи ґрунтообробних агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту. Вирівняне поле знижує динамічні навантаження на сільськогосподарську техніку і, як наслідок, підвищує її надійність і довговічність роботи (табл. 3).

Графічна інтерпретація результатів експериментальних досліджень свідчить, що отримані раціональні режими роботи макетного зразка комбінованого агрегату (V = 2,1–2,2 м/с і h =10–12 см) відповідають оптимальним режимам роботи робочих органів, за якими вони проєктувалися. Зокрема, це підтверджено за параметром оптимізації "тяговий опір комбінованого агрегату" в діапазоні швидкості агрегату 2–2,1 м/с (рис. 6), де на всіх режимах по глибині обробітку тяговий опір мінімально можливий, що обумовлено оптимальною амплітудно-частотною характеристикою пружних робочих органів для даних режимів роботи. При цьому забезпечується зниження енерговитрат на відділення та руйнування елементів ґрунту.

Необхідно зазначити, що при роботі АМК-2,7 на стерньових фонах з великої кількістю стерні Х-подібні ротаційні робочі органи типу "Ханкмо" не здійснюють її повного подрібнення та загортання. У випадках, коли рослинних решток на полі більше, ніж 3 т/га, необхідно застосовувати дискові робочі органи з відповідними параметрами . Із позиції якості кришення ґрунту робочі органи типу "Ханкмо" цілком задовольняють вимоги до робочих органів такого функціонального призначення.

Таблиця 3. Результати досліджень макетного зразка комбінованого агрегату за агротехнічними показниками роботи

№ з/п варіанту	Робоча швидкість		Режим роботи трактора	Глибина обробітку, см	Гребнистість мм		Розподіл агрегатів ґрунту (%) по фракціям (мм)					Якість розпушення, % (фр. <25 мм)
	за планом	фактична			середнє значення	σ	<10	10-25	25-50	50-100	>100	
1	2,8	2,69	-4	160	21	1,51	32,3	30,1	23,6	13,9	0	63,4
2	1,8	1,77	-2	160	27	1,58	30,5	21,6	24,9	20,7	2,3	51,9
3	1,8	1,84	-2	60	21	1,29	32,7	23,7	19,4	22,6	1,6	56,8
4	2,8	2,72	-4	60	26	1,5	34,1	28,1	16,3	20,4	1,1	59,9
5	2,5	2,44	-3	60	24	1,7	32,5	25,1	19,4	21,8	1,2	58,9
6	2,8	2,72	-4	85	24	1,54	35,9	22,0	18,2	22,6	1,3	58,1
7	2,25	2,31	-3	123	29	1,71	32,3	24,9	21,9	20,9	0	57,4
Початковий фон до обробітку					28	3,26	13,0	19,5	22,1	24,8	20,6	-

На основі рівнянь регресії будуємо поверхні відгуку (рис. 4, 5, 6).

Застосування пружних S-подібних підресорених стійок із стрілчастою лапою шириною захоплення 220 мм [2] для універсального ґрунтообробного агрегату цілком виправдана. Для всіх діапазонів технологічних задач щодо швидкості агрегату та глибини обробітку режим автоколивань підтримувався.

Робочий орган стабільно тримав задану глибину ходу, що підтверджується не значним збільшенням тягового опору знаряддя при збільшенні глибини обробітку та незначним відхиленням при зміні швидкості руху агрегата. Треба відзначити мінімальний тяговий опір знаряддя при швидкості руху 2,2 м/с (≈ 8 км/год.), що відповідає середньому значенню, під яке проєктувався пружний робочий орган [2].

При цьому виконується умова, щодо якості кришення ґрунтового середовища: при всіх режимах роботи вони не опускається менше ніж 54 %. А при наближені до оптимальної швидкості роботи (8…10 км/год.) виходить на рівень 65%, що цілком задовольняє вимогам. Вібронавантаження на ґрунтове середовище за рахунок

$K = 57{,}09 + 3{,}27\ x1 - 0{,}21\ x2 + 1{,}84\ x1\ x2 + 0{,}25(x1)^2 + 0{,}21\ (x2)^2$
$K_{min}(x1=-1{,}00,\ x2=1{,}00)=54{,}16;\ K_{max}(x1=1{,}00,\ x2=1{,}00)=68{,}04$

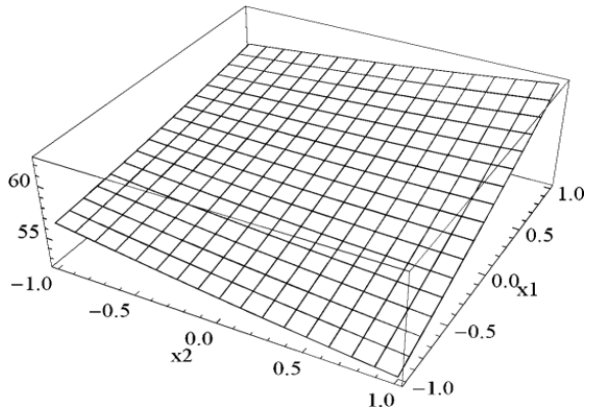


Рис. 4. Вплив параметрів *V* (*x1*) і *h* (*x2*) на параметр оптимізації

Примітка: *K* – "якість розпушення ґрунту".

$G = 28{,}80 - 0{,}98\ x1 + 1{,}26\ x2 - 2{,}82\ x1\ x2 - 1{,}67\ (x1)^2 - 4{,}12\ (x2)^2$
$G_{min}\ (x1=-1{,}00,\ x2=-1{,}00)=20{,}07;\ G_{max}\ (x1=-0{,}60,\ x2=0{,}36)=30{,}05$

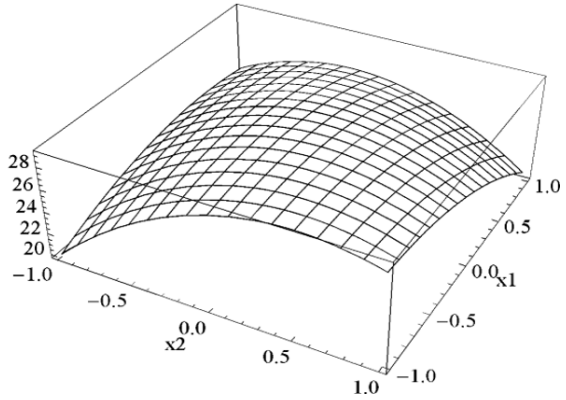


Рис. 5. Вплив параметрів *V* (*x1*) і *h* (*x2*) на параметр оптимізації

Примітка: *G* – "гребенистість поля".

$Q = 14{,}01 + 0{,}59\ x1 + 3{,}41\ x2 - 0{,}48\ x1\ x2 + 2{,}40\ (x1)^2 - 2{,}47\ (x2)^2$
$Q_{min}\ (x1=-0{,}23,\ x2=-1{,}00)=8{,}01;\ Q_{max}\ (x1=1{,}00,\ x2=0{,}57)=18{,}04$

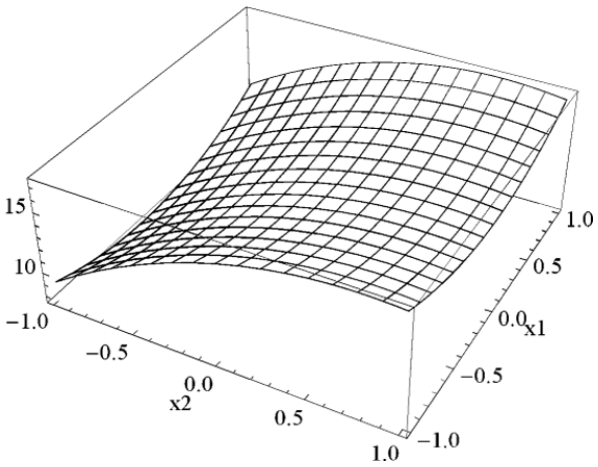


Рис. 6. Вплив параметрів *V* (*x1*) і *h* (*x2*) на параметр оптимізації

Примітка: *Q* – "тяговий опір комбінованого агрегату".

постійних вимушених коливань в широкому діапазоні роботи за швидкістю руху разом із вірно розрахованими амплітудно-частотними характеристиками стійки розпушує ґрунтове середовище з мінімальними енерговитратами, у тому числі і на поверхні вібруючої лапи.

Теж саме можна побачити і для параметра оптимізації «гребнистість поля»: вище швидкість агрегату – показник гребнистості зменшується. Тобто, стійка виходить на свій оптимальний режим, щодо автоколивань, і поверхня розбушованого ґрунтового середовища вирівнюється як при дії віброрешета.

До недоліків проведених досліджень слід віднести їх проведення у визначених ґрунтово-кліматичних умовах, вони мають зональний характер, а отримані результати обмежуються умовами проведення експерименту за вологістю, вихідною пошаровою щільністю ґрунту та забур'яненістю фонів.

Однак методичні основи та результати досліджень можуть бути основою для проведення порівняльних досліджень в інших ґрунтово-кліматичних умовах при застосуванні розроблених робочих для інших технологічних режимів та задач.

Практичне значення результатів досліджень полягає в тому, що вони можуть бути використані для подальшої модернізації розробленої конструкції щодо розширення її функціональної спроможності.

Висновки.

1. Розроблений макетний зразка комбінованого ґрунтообробного агрегата для поверхневого та передпосівного обробітку ґрунту за результатами дослід-жень підтвердив свою універсальність і повністю задовольняє вимогам щодо визначених видів обробітку ґрунтового середовища.
2. За показником «якість розпушення ґрунту» (процентний вміст агрегатного складу ґрунту розміром менше 25 мм в обробленому шарі) середній показник склав, приблизно 68%, для стандартної швидкості агрегату при виконанні більшості операцій (8…10 км/год.) що є кращим за показники роботи більшості ґрунтових агрегатів, включаючи закордонні, в умовах Півдня України.
3. За показником «гребенистість поверхні поля після обробітку» на швидкостях роботи агрегату наближених до 10 км/год. та глибині, що відповідає передпосівному обробітку ґрунту, отримано майже ідеальний вирівняний фон поля.
4. Відхилення питомого тягового опору макетного зразка комбінованого агрегату при зміні швидкості агрегату в межах досліджень коливалося на рівні ±8%, що підтверджує оптимальний вибір параметрів пружної стійки для визначених ґрунтових умов та підкреслює функціональні можливості стійки.
5. Перспективи подальшої науково-дослідної роботи передбачають проведення досліджень експлуатаційних характеристик машини у різних ґрунтово-кліматичних умовах, визначення оптимальних робочих параметрів і розробка рекомендацій щодо використання машини.

Список використаних джерел

1. Основи наукових досліджень і теорія експерименту : Навчальний посібник для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / укл. Ю. Б. Капаціла, П. О. Марущак, В. Б. Савків, О. П. Шовкун. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2023. 186 с. URL: https://elartu.tntu. edu.ua/handle/lib/40843/

2. Середа Л. П., Ковальчук Д. А. Математичне моделювання ґрунтообробного агрегату в системі «ґрунт-агрегат-енергетичний засіб» для strip-till технології обробітку ґрунт. *Науковий журнал «Техніка і енергетика»*. 2021. Вип. 12 (4). С. 103–108. DOI:10.31548/machenergy2021.04.103

3. Шевченко І., Шевченко Ір. Експериментально-теоретичні підстави створення пружних робочих органів ґрунтообробних машин. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2016. 23. С. 222–226.

4. Akhalaya B. Kh., Tsench Yu. S. Combined tillage unit with universal working tools. *Agricultural machinery and technologies.* 2026. 20(1). p. 58–63. DOI: http://dx.doi.org/10.22314/2073-7599-2026-20-1-58-63 .

5. Damanauskas V, Janulevičius A. Effect of tillage implement (spring tine cultivator, disc harrow), soil texture, forward speed and tillage depth on fuel consumption and tillage quality. *Journal of Agricultural Engineering.* LIII:1371, 2022. p. 270–280. DOI: http://dx.doi.org/10.4081/jae.2022.1371 .

6. Jugović M., Ponjičan O., Jakišić T. The effect of rotary tiller and other machines for tillage on the soil structure aggregates. *Agriculture and Forestry.* 2020. 66 (1). p. 251260. DOI: http://dx.doi.org/10.17707/AgricultForest.66.1.23

7. Prem M. et al. Combined Tillage Tools. A Review. *Curr Agri Res.* 2016. 4(2). DOI: http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.4.2.07

8. Salo V., Pastukhov V., Leshchenko S., Shchur T., Dzhidzhora O., Szwedziak K., Parafiniuk S. Differentiation of the composition of combined soiltillage machines depending on the conditions of use. *Agricultural Engineering.* 2024. Vol. 28, Is. 1. p. 353–365. DOI: http://dx.doi.org/10.2478/agriceng-2024-0022.

9. Shevchenko I. A. Agrotechnological fundamentals of creation tillage equipment. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS*. 2021. 31. p. 152–158. DOI: https://doi.org/10.36710/ioc-2021-31-14

10. Shevchenko I. et al. Substantiating the structural and technological parameters of tillage rotary X-like working bodies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024. 4 (1 (130)). p. 45–53. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309756 (Scopus).

11. Sokas S. et al. A Comparison of the Effects of Site-Specific and Uniform-Depth Tillage on Soil Physical Properties, Fuel Consumption, and CO_2 Emissions Under Spatially Variable Field Conditions. *Agriculture.* 2026. 16. 1089. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/agriculture16101089.

12. Usaborisut P., Prasertkan K. Performance of combined tillage tool operating under four different linkage configurations. *Soil and Tillage Research*. 2018. Vol. 183. p. 109–114. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2018.06.004.

Shevchenko I. A.
Doctor of Engineering Science, Doctor of Agricultural Sciences,
Professor, Corresponding Member of the NAAS of Ukraine,
Professor at the Department of Sectoral Mechanical Engineering and Agro-engineering,
Khmelnytskyi National University
Khmelnytskyi, Ukraine
E-mail: *shevchenko9985@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-4191-4146*

Tkachuk V. S.
Candidate of Technical Sciences,
Assistant at the Department of Technical Service and General Technical Disciplines,
Higher Educational Institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *tkachukvs@pdatu.edu.ua*
ORCID: *0000-0001-5414-2387*

Martyniuk A. V.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Industrial Machinery and Agricultural Engineering,
Khmelnytskyi National University
Khmelnytskyi, Ukraine
E-mail: *avmart@khmnu.edu.ua*
ORCID: *0000-0001-8277-1308*

Liukhovets V. V.
Candidate of Technical Sciences,
Assistant at the Department of Industrial Machinery and Agricultural Engineering,
Khmelnytskyi National University
Khmelnytskyi, Ukraine
E-mail: *liukhovetsvo@khmnu.edu.ua*
ORCID: *0000-0002-6978-7820*

RESEARCH OF A PROTOTYPE COMBINED SOIL TILLAGE UNIT FOR SURFACE AND PRE-SOWING SOIL TREATMENT

Abstract

Universal combination implements capable of performing both shallow and pre-sowing soil tillage are widely used in global practice. They are equipped with a range of attachments characterized by resilient shanks for the working elements, paired with sweep shares. Studies of spring-loaded working elements or those mounted on flexible supports indicate that, under specific soil conditions and at given operating speeds and tillage depths, it is possible to reduce specific draft resistance, improve the machine's performance quality, and ensure the working elements self-clean of adhering soil and accumulated weeds.

A design for a combined implement for surface and pre-sowing soil tillage is proposed; X-shaped «Hankmo»-type working elements were employed as the first group of working parts, while a reinforced S-shaped spring-loaded tine with a 220 mm wide sweep share was selected as the resilient working element.

The object of the study is the process of interaction of a combined tillage unit for surface and pre-sowing cultivation with the soil environment in order to determine its qualitative and energy performance indicators in the conditions of the south of Ukraine depending on the operating modes.

Based on the conducted experimental studies, the basic indicators of the tool's operation were determined – the quality of soil loosening, the specific traction resistance of the model sample of the combined unit, the ridgeness of the field surface after cultivation, depending on the speed of movement of the tool and the depth of soil cultivation.

The obtained regression equations allow you to select the operating modes of the unit depending on the technological tasks. A graphical interpretation of the experimental results indicates that the rational operating modes obtained for the prototype combined implement (V = 2.1–2.2 m/s and h = 10–12 cm) correspond to the optimal operating modes for which its working elements were designed. In particular, this is confirmed by the optimization parameter «draft resistance of the combined implement» within the speed range of 2–2.1 m/s. The practical significance of the research results is that they can be used to refine the model sample of the tool before launching it into mass production.

Key words: *soil environment, surface tillage, pre-sowing tillage, combined unit, qualitative and energy performance indicators.*

References

1. Kapatsila, Yu. B., Marushchak, P. O., Savkiv, V. B., & Shovkun, O. P. (2023). *Osnovy naukovykh doslidzhen i teoriia eksperymentu: Navchalnyi posibnyk dlia zdobuvachiv osvitnoho stupenia «Mahistr» spetsialnosti 174 «Avtomatyzatsiia, kompiuterno-*

intehrovani tekhnolohii ta robototekhnika» [Fundamentals of Scientific Research and Experimental Theory: A Study Guide for Master's Degree Students of Specialty 174 "Automation, Computer-Integrated Technologies and Robotics"]. Ternopil: FOP Palianytsia V. A. Retrieved from https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/40843 [in Ukrainian].

2. Sereda, L. P., & Kovalchuk, D. A. (2021). Matematychne modeliuvannia gruntoobrobnoho ahrehatu v systemi «grunt-ahrehat-enerhetychnyi zasib» dlia strip-till tekhnolohii obrobitku gruntu [Mathematical modeling of a tillage unit in the "soil–unit–power source" system for strip-till tillage technology]. *Naukovyi zhurnal «Tekhnika i enerhetyka» [Scientific Journal "Engineering and Energy"]*, *12*(4), 103–108. https://doi.org/10.31548/machenergy2021.04.103 [in Ukrainian].

3. Shevchenko, I., & Shevchenko, Ir. (2016). Eksperymentalno-teoretychni pidstavy stvorennia pruzhnykh robochykh orhaniv hruntoobrobnykh mashyn [Experimental and theoretical foundations for the development of elastic working elements for tillage machines]. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oil Crops NAAS*, 23, 222–226. [in Ukrainian]

4. Akhalaya, B. Kh., & Tsench, Yu. S. (2026). Combined tillage unit with universal working tools. *Agricultural machinery and technologies*, 20(1), 58–63. DOI: http://dx.doi.org/10.22314/2073-7599-2026-20-1-58-63 [in English].

5. Damanauskas, V., & Janulevièius, A. (2022). Effect of tillage implement (spring tine cultivator, disc harrow), soil texture, forward speed and tillage depth on fuel consumption and tillage quality. *Journal of Agricultural Engineering*. LIII:1371. DOI: http://dx.doi.org/10.4081/jae.2022.1371 [in English].

6. Jugović, M., Ponjičan, O., & Jakišić, T. (2020): The effect of rotary tiller and other machines for tillage on the soil structure aggregates. *Agriculture and Forestry*, 66 (1), 251–260. DOI: http://dx.doi.org/10.17707/AgricultForest.66.1.23 [in English].

7. Prem, M., Swarnkar, R., Kantilal, V.D.K., Jeetsinh, P.S.K, Chitharbhai, K.B. (2016). Combined Tillage Tools – A Review. *Curr Agri Res.,* 4 (2). DOI : http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.4.2.07 [in English].

8. Salo, V., Pastukhov, V., Leshchenko, S., Shchur, T., Dzhidzhora, O., Szwedziak, K., & Parafiniuk, S. (2024). Differentiation of the composition of combined soil-tillage machines depending on the conditions of use. *Agricultural Engineering,* Vol. 28, Is. 1, 353–365. DOI: http://dx.doi.org/10.2478/agriceng-2024-0022 [in English].

9. Shevchenko, I. A. (2021). Agrotechnological fundamentals of creation tillage equipment. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS*, 31, 152–158. DOI: https://doi.org/10.36710/ioc-2021-31-14 [in English].

10. Shevchenko, I., Golub, G., Tsyvenkova, N., Shevchenko, I., Titova, L., Omarov, I., Sukmaniuk, O., Kulykivskyi, V., Borovskyi, V., & Zayets, M. (2024). Substantiating the structural and technological parameters of tillage rotary X-like working bodies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (130)), 45–53. DOI: https://doi.org/10.15587/1729- 4061.2024.309756 [in English].

11. Sokas, S., Buragien, S., Kazlauskas, M., Brucien, I., Naujokien, V., Mickevicius, T., & Šarauskis, E. (2026). A Comparison of the Effects of Site-Specific and Uniform-Depth Tillage on Soil Physical Properties, Fuel Consumption, and CO_2 Emissions Under Spatially Variable Field Conditions. *Agriculture,* 16, 1089. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/agriculture16101089 [in English].

12. Usaborisut P., Prasertkan K. (2018). Performance of combined tillage tool operating under four different linkage configurations. *Soil and Tillage Research.* V 183, p.p. 109-114. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2018.06.004 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 21.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 12.08.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026