

ПОЛІЩУК ОЛЕКСАНДР

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6207-8327>e-mail: polischuk@vntu.edu.ua**ЗАГНІТКО ЯРОСЛАВ**

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0009-0002-6870-7347>e-mail: yaroslavzagnitko94@gmail.com

ВІБРАЦІЙНИЙ ОБРОБІТОК ҐРУНТУ: АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ

У статті проаналізовано сучасний стан досліджень вібраційних методів обробітку ґрунту як перспективного напрямку вдосконалення сільськогосподарських технологій. Висвітлено проблеми традиційних методів обробки ґрунту, зокрема оранки, безпліцевого, роторного, мінімального та нульового обробітку, які при широкому застосуванні мають значні обмеження та недоліки. Обґрунтовано актуальність пошуку інноваційних підходів з огляду на виклики, пов'язані зі зміною клімату, деградацією ґрунтів та необхідністю ефективнішого використання ресурсів. Розглянуто принципи функціонування вібраційних систем обробітку ґрунту, в основі яких лежить застосування коливального руху до робочих органів ґрунтообробних знарядь. Проаналізовано механізм дії вібрацій на ґрунт, що полягає у тимчасовому зменшенні опору ґрунту за рахунок зниження міцності на зсув та тертя між частинками. Висвітлено потенційні переваги вібраційного обробітку, серед яких: зниження енергетичних витрат, покращення фізичних властивостей ґрунту, підвищення ефективності боротьби з бур'янами, краще подрібнення ґрунту та можливість роботи в різних умовах. Представлено порівняльний аналіз традиційних методів обробки ґрунту з вібраційними технологіями за критеріями енергоспоживання, впливу на структуру ґрунту, ефективності боротьби з бур'янами, складності обладнання та іншими показниками. Описано наявні експериментальні зразки вібраційного обладнання, зокрема плуги з дебалансними пристроями, електромагнітними віброзбуджувачами, гідравлічними вібраторами та конструкції з примусовим збудженням вібрацій. Визначено основні обмеження вібраційних технологій обробітку ґрунту, пов'язані з експериментальним статусом більшості розробок, та окреслено напрями подальших досліджень, що мають бути сфокусовані на оптимізації параметрів вібрації для різних типів ґрунтів, розробці економічно вигідного обладнання та проведенні польових випробувань у різних агрокліматичних зонах. Зроблено висновок про значний потенціал вібраційного обробітку ґрунту у розвитку більш стійких та ефективних систем землеробства.

Ключові слова: вібрації, віброзбуджувач, енергоспоживання, плуг, ґрунт, дослідження.

POLISHCHUK OLEKSANDR**ZAHNITKO YAROSLAV**

Vinnytsia National Technical University

VIBRATION TILLAGE. ANALYSIS OF TECHNOLOGIES AND APPLICATION PROSPECTS

The article analyzes the current state of research on vibratory tillage methods as a promising area for improving agricultural technologies. The problems of traditional tillage methods, in particular plowing, moldboardless, rotary, minimum and zero tillage, which, despite their widespread use, have significant limitations and disadvantages, are highlighted. The relevance of finding innovative approaches in view of the challenges associated with climate change, soil degradation, and the need for more efficient use of resources is substantiated. The principles of functioning of vibration tillage systems, which are based on the application of oscillatory motion to the working bodies of tillage tools, are considered. The mechanism of vibration action on the soil is analyzed, which consists in a temporary decrease in soil resistance due to a decrease in shear strength and friction between particles. The potential benefits of vibration tillage are highlighted, including: reduced energy costs, improved physical properties of the soil, increased weed control efficiency, better soil crushing, and the ability to work in different conditions. The article presents a comparative analysis of traditional tillage methods with vibration technologies in terms of energy consumption, impact on soil structure, weed control efficiency, equipment complexity, and other indicators. The available experimental models of vibration equipment are described, including plows with unbalancing devices, electromagnetic exciters, hydraulic vibrators, and structures with forced vibration excitation. The main limitations of vibration tillage technologies associated with the experimental status of most developments are identified, and the directions of further research are outlined, which should focus on optimizing vibration parameters for different soil types, developing cost-effective equipment, and conducting field tests in different agroclimatic zones. It is concluded that vibration tillage has a significant potential for the development of more sustainable and efficient farming systems.

Keywords: vibrations, vibration exciter, energy consumption, plow, soil, research.

Стаття надійшла до редакції / Received 25.03.2025

Прийнята до друку / Accepted 15.04.2025

Постановка проблеми та мета даної роботи

Ґрунт є основою сільськогосподарського виробництва, а його обробіток відіграє вирішальну роль у забезпеченні високих урожаїв та підтримці здоров'я ґрунту. Ефективні методи обробітку ґрунту впливають на аерацію, вологоутримання, розподіл поживних речовин та контроль бур'янів, що безпосередньо позначається на продуктивності сільськогосподарських культур. З огляду на зростаючі виклики, пов'язані зі зміною клімату, деградацією ґрунтів та необхідністю більш ефективного

використання ресурсів, постійно ведеться пошук інноваційних підходів до управління ґрунтом. Одним із таких перспективних напрямів є використання вібрацій під час обробки ґрунту, яке привертає увагу дослідників як потенційний спосіб підвищення ефективності та стійкості сільськогосподарських практик. Тож метою статті є проведення аналізу сучасних знань про використання вібрацій в обробітку ґрунту на основі доступних досліджень.

Аналіз досліджень та публікацій

Одним із найважливіших секторів народного господарства в Україні є аграрний сектор. Україна має значні площі сільськогосподарських земель, які використовуються для землеробства. За даними різних джерел, Україна входить до ТОП-10 країн світу за площами орних земель, займаючи близько 43,37 млн га, що становить близько 2,31% світових площ орних земель [1]. Загальна площа сільськогосподарських земель в Україні значно більша, але точна частина, використовувана виключно для землеробства, залежить від категорій земельного фонду та їхнього призначення. Важливим видом сільськогосподарських робіт є підготовка землі перед посівними. Це пояснюється тим, що так створюються сприятливі умови для проростання насіння, забезпечується збереження вологи та оптимізація мікроклімату, ведеться боротьба з бур'янами та шкідниками, підтримується здоров'я ґрунту і, відповідно, підвищується врожайність та покращується якість продукції.

На сьогодні в Україні та у світі основними методами обробки ґрунту залишаються [2,3,4,5]: оранка, яка передбачає повне обертання орного шару за допомогою плугів; безпліцевий обробіток, що виконується за допомогою плоскорізів, чизелів тощо, без обертання ґрунту; роторний обробіток, що використовується для активного подрібнення та перемішування ґрунту на всю глибину обробки; нульовий та мінімальний обробіток, який застосовуються для збереження структури ґрунту та зниження витрат на обробку; чизелювання та глибокорихлення, яким здійснюється розпушування ґрунту на великих глибинах, що допомагає знищувати тверді шари та поліпшувати структуру ґрунту.

Усі ці методи набули широкого використання і, за певних умов, є досить ефективними. Проте, кожен із розглянутих методів має свої обмеження, залежно від типу ґрунту, клімату та умов використання, що робить їх не універсальними. Також усім розглянутим методам характерні певні недоліки обробки ґрунту [6, 7, 8, 9]: оранка руйнує мікрофлору ґрунту, порушуючи баланс між аеробними та анаеробними організмами, створює «плужну підшову», яка обмежує доступ води та повітря до коренів, зумовлює високу витрату палива та енергії через необхідність додаткових операцій для підготовки ґрунту; безпліцевий обробіток може бути менш ефективним на важких ґрунтах, де потрібна глибша обробка та вимагає більше часу для досягнення позитивних результатів; роторний обробіток призводить до ущільнення підґрунтя через постійне використання, викликає втрату азоту та інших поживних речовин через надмірне перемішування верхнього шару; мінімальний обробіток потребує спеціалізованого обладнання, яке є дорогим, при цьому зменшення температури ґрунту може негативно вплинути на врожайність певних культур; нульовий обробіток, що передбачає залишення рослинних залишків, сприяє поширенню хвороб та шкідників і тому вимагає складного управління бур'янами та шкідниками, що потребує додаткових ресурсів і знань.

Зменшити негативні наслідки обробки ґрунтів різними способами можна вживши ряд заходів, які можуть бути як індивідуальними, тобто направленими на усунення наслідків конкретного способу обробки, так і загальними (універсальними). При оранці для профілактики плужної підшови використовують глибоке рихлення (чизелювання), щоб руйнувати ущільнені шари. Для збереження мікрофлори вносять органічні добрива або сидерати. Енергоефективність досягається шляхом застосування ротаційних систем, наприклад, чергуючи рік оранки з двома роками мінімального обробітку [9,10]. Для безпліцевого обробітку на важких ґрунтах можна поєднувати його з глибоким розпушуванням для поліпшення аерації. Щоб прискорити ефект, висаджують покровні культури, такі як бобові, які структурують ґрунт кореневою системою. Під час роторного обробітку для попередження втрати поживних речовин додають азотні добрива після інтенсивного перемішування ґрунту. Щоб боротися з ущільненням, чергують цей метод з нульовим обробітком для відновлення структури ґрунту. Нульовий обробіток вимагає боротьби з хворобами шляхом впровадження строгого сівозміну та використання стійких до патогенів сортів. Контроль бур'янів здійснюється за допомогою комбінації мульчування, механічного видалення та органічних гербіцидів. Управління залишками здійснюється з допомогою технологій моніторингу для оптимізації кількості рослинних решток [11,12].

Попередній аналіз показує, що усі методи обробітку ґрунту по різному впливають на аерацію, вологоутримання, розподіл поживних речовин та контроль бур'янів, що безпосередньо позначається на продуктивності сільськогосподарських культур. З огляду на зростаючі виклики, пов'язані зі зміною клімату, деградацією ґрунтів та необхідністю більш ефективного використання ресурсів, постійно ведеться пошук інноваційних підходів до управління ґрунтом. Одним із таких перспективних напрямів є використання вібрацій під час обробки ґрунту, яке привертає увагу дослідників як потенційний спосіб підвищення ефективності та стійкості сільськогосподарських практик. Основна ідея вібраційного обробітку ґрунту полягає у застосуванні коливального руху до робочих органів ґрунтообробних знарядь, таких як лемеші плугів або лапи культиваторів. Вважається, що вібрації можуть тимчасово зменшувати опір ґрунту за рахунок зниження міцності на зсув та тертя між частинками ґрунту та поверхнею робочого органу. Застосування вібрацій певної частоти та амплітуди може сприяти кращому

подрібненню ґрунту, його розпушуванню та аерації. Механізм дії вібраційного обробітку ґрунту часто порівнюють з ефектом відбійного молотка, де швидкі повторювані удари створюють мікротріщини в ґрунті, полегшуючи його руйнування[13].

Тож використання вібрацій для обробки сільськогосподарських земель може мати цілий ряд переваг. Однією з найбільш значущих потенційних переваг використання вібрацій в обробітку ґрунту є можливість зниження енергетичних витрат, особливо при оранці [14]. Зменшення опору ґрунту під час обробітку завдяки вібраціям може призвести до зниження витрати палива тракторами та підвищення загальної ефективності сільськогосподарських операцій. Також вібраційний обробіток ґрунту може сприяти покращенню його фізичних властивостей. Наприклад, вертикальний обробіток, який є спорідненою технологією, покращує обмін вологи та повітря в ґрунті, сприяє збільшенню кількості гумусу та полегшує проникнення коренів рослин у глибокі шари ґрунту. Вважається, що вібрації можуть мати схожий ефект, створюючи мікротріщини та розпушуючи ґрунт, що покращує його аерацію та водопроникність[13]. Це може бути особливо важливим у порівнянні з традиційною оранкою, яка іноді може призводити до ущільнення ґрунту. Деякі дослідження показують, що використання вібрацій може підвищити ефективність боротьби з бур'янами. Мілкий обробіток ґрунту, зокрема, може зменшити забур'яненість поля однорічними бур'янами. Культиватори з активними робочими органами, що здійснюють кутові коливання, продемонстрували здатність більш інтенсивно зрізати бур'яни. Відтак, вібрації, застосовані під час обробітку ґрунту, можуть забезпечити краще знищення бур'янів або запобігати їхньому проростанню. Крім зазначених вище переваг, використання вібрацій в обробітку ґрунту може мати й інші позитивні наслідки. Дослідження показують, що обробіток ґрунту вібруючими органами сприяє кращому його подрібненню. Технологія вертикального обробітку з використанням вібруючих дисків може ефективно працювати в різних умовах ґрунту, включаючи пересушений, перезволожений та мерзлий ґрунт[15].

Таблиця 1.

Порівняння методів обробки ґрунту

Характеристика	Традиційні методи	Вібраційний обробіток ґрунту
Енергоспоживання	Високе	Потенційно нижче
Вплив на структуру ґрунту	Може призводити до ущільнення	Потенційно покращує структуру та аерацію, зменшує ущільнення
Ефективність боротьби з бур'янами	Залежить від методу (оранка може заглиблювати насіння бур'янів)	Потенційно вища, особливо проти однорічних бур'янів
Складність обладнання	Зазвичай менша	Потенційно більша
Початкова вартість	Зазвичай нижча	Потенційно вища
Робоча швидкість	Залежить від знаряддя	Може бути вищою в деяких випадках
Придатність для різних типів ґрунтів	Широкий спектр, але є обмеження	Потребує додаткових досліджень для різних типів ґрунтів
Рівень впровадження	Широко застосовується	Переважно на стадії експериментальних розробок

В таблиці 1 наведено порівняння традиційних та вібраційного методів обробки сільськогосподарських ґрунтів. З цього можна зробити попередній висновок, що вібраційний обробіток ґрунту має потенціал для зниження енергоспоживання та покращення структури ґрунту порівняно з традиційними методами. Він може бути ефективнішим у боротьбі з бур'янами, що зменшує потребу в гербіцидах. Однак, ця технологія все ще перебуває на експериментальному рівні і має певні недоліки. Ймовірно, вібраційні знаряддя можуть бути складнішими та дорожчими у виробництві та обслуговуванні порівняно з традиційними. Також залишається відкритим питання про ефективність вібраційного обробітку на різних типах ґрунтів та за різних умов вологості. В Україні немає інформації про широке застосування вібраційних плугів вітчизняного виробництва, хоча існують окремі дослідження щодо використання вібраційних технологій у сільському господарстві [14,15,16].

Існуючі розробки та зразки вібраційного обладнання для обробки ґрунту

Існує кілька підходів до реалізації вібраційного обробітку ґрунту. Одним з основних напрямів є розробка вібраційних плугів. У різних конструкціях таких плугів вібрації можуть генеруватися різними способами, включаючи використання дебалансних вібраторів, електромагнітних збудувачів, кривошипно-шатунних механізмів та гідравлічних приводів.

В роботі [14] розглянуто конструкції плуга з пристроєм, що запобігає залипанню лемешно-полицевої поверхні (рис. 1) та вібраційного плуга з електромагнітним вібратором (рис. 2), а також запропоновано результати практичного використання цих пристроїв, що показали суттєву інтенсифікацію процесу обробки ґрунтів та покращення їх якості.

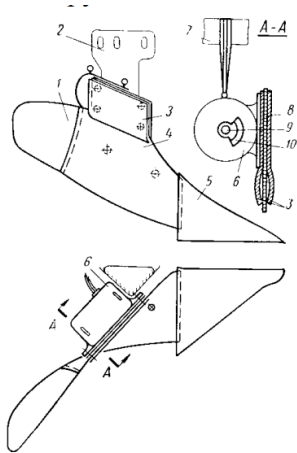


Рисунок 1. Корпус плуга з дебалансним пристроєм

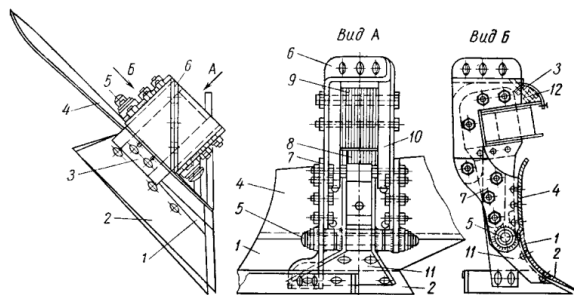
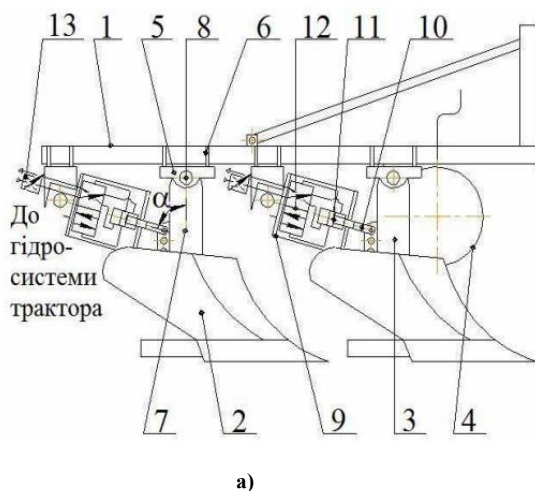


Рисунок 2. Вібраційний плуг з електромагнітним збуджувачем вібрацій



а)



б)

Рисунок 3. Вібраційний плуг з гідравлічними вібраторами: а) конструктивна схема; б) експериментальний зразок

Робота [16] присвячена дослідженню параметрів вібраційного плуга з гідравлічними вібраторами (рис. 3). Результати проведених досліджень, як і в розглянутому вище випадку, показали високу ефективність вібраційної обробки ґрунту. Також було виявлено переваги використання гідравлічного приводу, які зумовлені його економічністю та можливістю регулювання робочих режимів в досить широкому діапазоні, що дозволяє використання такого обладнання на різних ґрунтах. Інші варіанти прототипів вібраційних плугів розглянуті в роботах [18,19]

Окремої уваги заслуговує плуг SALFORD RTS I-2100 (рис. 4) іноземного виробництва, який набуває широкого використання як за кордоном, так і в Україні [17]. Особливістю конструкції даного плуга є те, що збудження вібрацій є примусовим і здійснюється за рахунок хвилястої конструкції дисків плуга, а зворотній рух забезпечується за рахунок встановлення пружинних елементів. Основною перевагою такої конструкції є ресурсоощадність та продуктивність. До недоліків можна віднести неможливість використання на важких (глинистих та засмічених) ґрунтах.



Рисунок 4. Вертикальний плуг SALFORD RTS I-2100

Висновки із даного дослідження та перспективи розвитку вібраційних технологій обробки ґрунту

Одним з основних обмежень на сьогоднішній день є те, що значна частина технологій вібраційного обробітку ґрунту перебуває на стадії експериментальних розробок. Для ширшого впровадження цієї технології необхідні подальші дослідження, спрямовані на оптимізацію параметрів вібрації (частоти, амплітуди) для різних типів ґрунтів та умов їх обробітку. Існує також потреба у розробці надійного та довговічного вібраційного ґрунтообробного обладнання, яке було б економічно вигідним для сільгоспвиробників. Важливим етапом є проведення польових випробувань та підтвердження ефективності технології в різних агрокліматичних зонах та для різних сільськогосподарських культур. Майбутні дослідження у цій галузі можуть бути зосереджені на оптимізації параметрів вібрації для конкретних типів ґрунтів та сільськогосподарських культур, розробці більш надійного, ефективного та економічно доступного вібраційного ґрунтообробного обладнання, проведенні довгострокових досліджень впливу вібраційного обробітку на здоров'я ґрунту та врожайність культур, вивченні можливостей інтеграції вібраційного обробітку з іншими технологіями точного землеробства.

Тож використання вібрацій під час обробки ґрунту є перспективним напрямом у сільськогосподарській інженерії. Потенційні переваги цієї технології, особливо в контексті зниження енергоспоживання та покращення фізичних властивостей ґрунту, роблять її привабливою для подальших досліджень та розробок. Незважаючи на те, що більшість існуючих зразків вібраційного ґрунтообробного обладнання залишаються експериментальними, отримані результати свідчать про значний потенціал цього підходу. У майбутньому вібраційний обробіток ґрунту може відіграти важливу роль у розвитку більш стійких та ефективних систем землеробства.

Література

1. Головний сайт для агрономів. Україна входить в ТОП-10 країн світу за площами орних земель. *Superagronom.com*. URL: <https://superagronom.com/news/8942-ukrayina-vhodit-v-top-10-krayin-svitu-za-ploshami-ornih-zemel> (дата звернення: 3.03.2025).
2. Головний сайт для агрономів. Підготовка ґрунту до сівби навесні: способи та помилки. *Superagronom.com*. URL: <https://superagronom.com/blog/1017-obrobitok-gruntu-navesni-etapi-tehnologiyi-ta-osnovni-pomilki> (дата звернення: 3.03.2025).
3. Обробіток ґрунту: що собою представляє і яке має значення. *НОВИНИ – «АГРОКЕБЕТИ»*. URL: <https://blog.agrokebety.com/obrobitok-hruntu> (дата звернення: 3.03.2025).
4. Основні технології обробітку ґрунту – журнал Пропозиція. *Пропозиція - Головний журнал з питань агробізнесу*. URL: <https://propozitsiya.com/ua/osnovni-tehnologiyi-obrobitku-gruntu> (дата звернення: 3.03.2025).
5. Способи механічного обробітку ґрунту та сільськогосподарська техніка для її проведення. *Сельскохозяйственная техника - производство и продажа - Купить сельхозтехнику в Украине | Галещина Машинозавод*. URL: <https://galmash.com.ua/ua/news/sposoby-mehanicheskoy-obrabotki-pochvy-i-selskohozyajstvennaya-tehnika-dlya-ee-provedeniya> (дата звернення: 3.03.2025).
6. What is Plowing? Strong points, weak points and alternative methods - Forigo. *Forigo*. URL: <https://www.forigo.it/en/news/what-is-plowing> (date of access: 3.03.2025).
7. Damage caused by plowing to soil, biodiversity and pollinating insects. *Saving Bees*. URL: <https://www.savingbees.org/en/2023/05/02/damage-caused-by-plowing-to-soil-biodiversity-and-pollinating-insects/> (date of access: 3.03.2025).
8. I. Johan Arvidsson, Ararso Etana, Åsa Myrbeck and Tomas Rydberg. Ploughless Tillage in Long- and Short-term Experiments// Ecosystem Health and Sustainable Agriculture: collective monograph. – Baltic University Programme, Uppsala University, 2012. – P. 222-228.
9. Advantages and Disadvantages of Conservation Tillage Methods. *Benchmark Labs*. URL: <https://www.benchmarklabs.com/blog/advantages-disadvantages-of-conservation-tillage-methods/> (date of access: 3.03.2025).
10. Rotary tillage in rotation with plowing tillage improves soil properties and crop yield in a wheat-maize cropping system / L. Zhang et al. *PLOS ONE*. 2018. Vol. 13, no. 6. P. e0198193. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198193> (date of access: 4.03.2025).
11. Cherlinka V. No-Till Farming: Benefits, Challenges, And Sustainable Effects. *EOS Data Analytics*. URL: <https://eos.com/blog/no-till-farming/> (date of access: 5.03.2025).
12. Bosch D. D., Hawkins G. L. Water Management. *CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS IN THE SOUTHEAST* / ed. by J. Bergtold, M. Sailus. 2020. P. 194–203. URL: https://www.sare.org/wp-content/uploads/Conservation-Tillage-Systems-in-the-Southeast_compressed.pdf.
13. Вертикальний обробіток ґрунту (verti-till) | growex.ua. *Growex UA - Agro Digital Holding*. URL: <https://growex.ua/blog/vertikalnij-obrobitok-gruntu-verti-till> (дата звернення: 5.03.2025).
14. Дослідження вібраційних процесів при основному обробітку ґрунту / В. М. Булгаков, М. О. Свірень, Р. В. Кісільов, С. Б. Орищенко, І. О. Лісовий // Науковий вісник Таврійського державного

агротехнологічного університету. - 2015. - Вип. 5, Т. 1. - С. 3-13. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvtdau_2015_5_1_3 (дата звернення: 10.03.2025)

15. Хейло М., Канівець О. Основний обробіток ґрунту активними робочими органами плоскоріза. *ВІСНИК Полтавської державної аграрної академії*. 2010. № 2. С. 167–171. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2010/02/167.pdf>.

16. Методика експериментального дослідження параметрів віброплуга з гідравлічними вібраторами. / В. С. Ловейкин, Л. А. Дяченко // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – 2012. – Вип. 57. – с. 161-165.

17. SALFORD RTS I-2100: Агрегат вертикальной обработки почвы в Украине – АИКо. *Аграрная Индустриальная Компания*. URL: <https://aico.ua/ru/product/agregat-vertikalnoy-obrabotki-pochvy-salford-rts-i-2100/> (дата звернення: 12.03.2025).

18. Філімонов, С. О., & Ященко, С. С. (2023). Вдосконалена конструкція віброплуга з п'єзокерамічним актуатором. Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки, (1), 23-31.

19. Піхоцький В., Фіяківський П. Дослідження ефективності роботи ґрунтообробного знаряддя. II Міжнародна студентська науково - технічна конференція "ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ НАУКИ. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ": матеріали студент. науково-техн. конф., м. Тернопіль, 25–26 квіт. 2019 р. Тернопіль, 2019. С. 85–86. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/28565/2/SNT_2019_Pikhotskyi_V-Efficiency_work_research_85-86.pdf.

References

1. Holovnyi sait dlia ahronomiv. Ukraina vkhodit v TOP-10 krain svitu za ploschamy ornykh zemel. Superagronom.com. URL: <https://superagronom.com/news/8942-ukrayina-vhodit-v-top-10-krayin-svitu-za-ploschami-ornih-zemel> (data zvernennia: 3.03.2025).
2. Holovnyi sait dlia ahronomiv. Pidhotovka ґрунту do sivyb navesni: sposoby ta pomylky. Superagronom.com. URL: <https://superagronom.com/blog/1017-obrobitok-gruntu-navesni-etapi-tehnologiyi-ta-osnovni-pomilki> (data zvernennia: 3.03.2025).
3. Obrobitok hruntu: shcho soboiu predstavliaie i yake maie znachennia. NOVYNY – «AHROKEBETY». URL: <https://blog.agrokebety.com/obrobitok-hruntu> (data zvernennia: 3.03.2025).
4. Osnovni tekhnologii obrobitku ґрунту – zhurnal Propozytsiia. Propozytsiia - Holovnyi zhurnal z pytan ahrobiznesu. URL: <https://propozytsiia.com.ua/osnovni-tehnologiyi-obrobitku-gruntu> (data zvernennia: 3.03.2025).
5. Sposoby mekhanichnoho obrobitku ґрунту ta silskohospodarska tekhnika dlia yii provedennia. Celskokhoziaistvennaia tekhnika - proyzvodstvo y prodazha - Kупyt selkhoztekhnky v Ukrayne | Haleshchyna Mashzavod. URL: <https://galmarsh.com.ua/ua/news/sposoby-mekhanicheskoy-obrabotki-pochvy-i-selskohozyajstvennaya-tehnika-dlya-ee-provedeniya> (data zvernennia: 3.03.2025).
6. What is Plowing? Strong points, weak points and alternative methods - Forigo. Forigo. URL: <https://www.forigo.it/en/news/what-is-plowing> (date of access: 3.03.2025).
7. Damage caused by plowing to soil, biodiversity and pollinating insects. Saving Bees. URL: <https://www.savingbees.org/en/2023/05/02/damage-caused-by-plowing-to-soil-biodiversity-and-pollinating-insects/> (date of access: 3.03.2025).
8. I. Johan Arvidsson, Ararso Etana, Åsa Myrbeck and Tomas Rydberg. Ploughless Tillage in Long- and Short-term Experiments// Ecosystem Health and Sustainable Agriculture: collective monograph. – Baltic University Programme, Uppsala University, 2012. – P. 222-228.
9. Advantages and Disadvantages of Conservation Tillage Methods. Benchmark Labs. URL: <https://www.benchmarklabs.com/blog/advantages-disadvantages-of-conservation-tillage-methods/> (date of access: 3.03.2025).
10. Rotary tillage in rotation with plowing tillage improves soil properties and crop yield in a wheat-maize cropping system / L. Zhang et al. PLOS ONE. 2018. Vol. 13, no. 6. P. e0198193. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198193> (date of access: 4.03.2025).
11. Cherlinka V. No-Till Farming: Benefits, Challenges, And Sustainable Effects. EOS Data Analytics. URL: <https://eos.com/blog/no-till-farming/> (date of access: 5.03.2025).
12. Bosch D. D., Hawkins G. L. Water Management. CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS IN THE SOUTHEAST / ed. by J. Bergtold, M. Sailus. 2020. P. 194–203. URL: https://www.sare.org/wp-content/uploads/Conservation-Tillage-Systems-in-the-Southeast_compressed.pdf.
13. Vertykalnyi obrobitok hruntu (verti-till) | growex.ua. Growex UA - Agro Digital Holding. URL: <https://growex.ua/blog/vertikalnij-obrobitok-gruntu-verti-till> (data zvernennia: 5.03.2025).
14. Doslidzhennia vibratsiinykh protsesiv pry osnovnomu obrobitku ґрунту / V. M. Bulhakov, M. O. Sviren, R. V. Kisilov, S. B. Oryshchenko, I. O. Lisovyi // Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu. - 2015. - Vyp. 5, T. 1. - S. 3-13. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvtdau_2015_5_1_3 (data zvernennia: 10.03.2025)
15. Kheilo M., Kanivets O. Osnovnyi obrobitok ґрунту aktyvnymy robochymy orhanamy ploskoriza. VISNYK Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii. 2010. № 2. S. 167–171. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2010/02/167.pdf>.
16. Metodyka eksperymentalnoho doslidzhennia parametriv vibropluha z hydravlichnymy vibratoryami. / V. S. Loveikyn, L. A. Diachenko // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu. – 2012. – Vyp. 57. – s. 161-165.
17. SALFORD RTS I-2100: Агрегат вертикальной обработки почвы в Украине – АИКо. Аграрная Индустриальная Компания. URL: <https://aico.ua/ru/product/agregat-vertikalnoy-obrabotki-pochvy-salford-rts-i-2100/> (data zvernennia: 12.03.2025).
18. Filimonov, S. O., & Yashchenko, S. S. (2023). Vdoskonalena konstruktsiia vibropluha z piezokeramichnym aktyatorom. Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Tekhnichni nauky, (1), 23-31.
19. Pikhotskyi V., Fiialkivskyi P. Doslidzhennia efektyvnosti roboty ґрунтообробnoho znariaddia. II Mizhnarodna studentska naukovo - tekhnichna konferentsiia "PRYRODNYCHІ TA HUMANITARNІ NAUKY. AKTUALNІ PYTANNІA" : materialy student. naukovo-tekhn. konf., m. Ternopil, 25–26 kvit. 2019 r. Ternopil, 2019. S. 85–86. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/28565/2/SNT_2019_Pikhotskyi_V-Efficiency_work_research_85-86.pdf.