

ОБРОБКА ГРУНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІБРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезах розглянуто сучасні підходи до використання вібраційних технологій для оранки землі, які спрямовані на підвищення енергоефективності, зменшення тягового опору та покращення агротехнічних показників. Проаналізовано механізми впливу вібрацій на ґрунт, конструктивні особливості вібраційних плугів, типи приводів та їхню ефективність. Окрему увагу приділено зниженню витрат пального, оптимізації енергобалансу, а також впливу вібраційної обробки на структуру ґрунту, збереження вологи та боротьбу з ерозією. Окреслено перспективи інтеграції вібраційних систем із технологіями точного землеробства та біонічними рішеннями. Зроблено висновок про доцільність впровадження вібраційних технологій у сучасне землеробство для підвищення продуктивності та стійкості агросистем.

Ключові слова: вібраційні технології, енергоефективність, тяговий опір, структура ґрунту, вібраційний плуг, енергозбереження, водоутримуючі властивості, ерозія ґрунту.

Abstract

The thesis considers modern approaches to the use of vibration technologies for ploughing, which are aimed at increasing energy efficiency, reducing traction resistance and improving agrotechnical performance. The mechanisms of vibration impact on the soil, design features of vibratory ploughs, types of drives and their efficiency are analysed. Particular attention is paid to reducing fuel consumption, optimising energy balance, and the impact of vibration tillage on soil structure, moisture retention, and erosion control. The prospects for integrating vibration systems with precision farming technologies and bionic solutions are outlined. It is concluded that it is expedient to introduce vibration technologies into modern agriculture to increase the productivity and sustainability of agricultural systems.

Keywords: vibration technologies, energy efficiency, traction resistance, soil structure, vibratory plough, energy saving, water retention properties, soil erosion.

Вібраційні технології стали ключовим інструментом сучасної агроінженерії, пропонуючи комплексне покращення процесів оранки через зниження енерговитрат, підвищення довговічності обладнання та оптимізацію агротехнічних показників. Сучасні дослідження демонструють, що застосування механічних коливань у робочих органах плугів і розпушувачів зменшує опір ґрунту на 5–15%, підвищує твердість поверхні лемешів на 22–35% та забезпечує ефективне руйнування ґрунтових агрегатів без порушення його структури. Ці технології також сприяють зменшенню ерозійних процесів і поліпшенню водоутримуючих властивостей ґрунту[1-8], що особливо критично в умовах змін клімату.

Взаємодія вібрації з ґрунтом має різні механізми. Високочастотні коливання робочих органів (20–100 Гц) змінюють характер контакту металу з ґрунтом. Замість статичного тертя ковзання виникає динамічний режим із періодичним розривом контакту, що знижує середній коефіцієнт тертя на 30–40%. Експерименти з ультразвуковими вібраторами (понад 20 кГц) демонструють зменшення тягового зусилля на 18–22% за рахунок мікроколивань, які руйнують адгезійні зв'язки між частками ґрунту. Для піщаних ґрунтів оптимальна амплітуда коливань становить 2–5 мм, тоді як для глинистих – 5–8 мм із частотою 25–50 Гц[2,9].

Також уваги заслуговують резонансні ефекти. Синхронізація частоти коливань із власними частотами ґрунтового масиву призводить до резонансного руйнування структурних зв'язків. Дослідження п'єзоелектричних приводів показали, що максимальна амплітуда вібрації лемеша досягається при частоті 87–92 Гц, що відповідає резонансній характеристиці ґрунтів середньої щільності. Гідравлічні вібратори з регульованим кутом коливань (15–45°) дозволяють адаптуватися до різних типів ґрунтів, зменшуючи енергоспоживання на 12–15% порівняно з електромеханічними аналогами[9,10].

Для реалізації процесу вібраційної обробки ґрунтів використовують плуги з різними типами вібраційних приводів. Сучасні конструкції використовують чотири основні типи джерел коливань. Найпростішими є дебалансні механізми, яким характерний високий ККД 65–70%, але при цьому вони мають обмежену частоту (до 25 Гц) та високе вібраційне навантаження на раму[5,11]. Перспективним напрямком є використання гідравлічних вібраторів, оскільки вони забезпечують плавне регулювання параметрів (діапазон частот 5–50 Гц та амплітуда до 10 мм) із зменшенням енерговитрат на 20–25%[3,12]. Для забезпечення високочастотних вібрацій (до 10 Гц) можуть бути використані п'єзоелектричні віброзбуджувачі, проте вони вимагають складного обладнання для керування і мають обмежену потужність[10,13]. Найбільш точними та із можливістю швидкої зміни режимів є електромагнітні віброзбуджувачі, проте вони чутливі до забруднення і тому не мають перспективи до широкого використання [10].

Використання вібраційних технологій під час обробки ґрунту підвищує енергетичну ефективність процесу та дозволяє забезпечити економію палива за рахунок зниження тягового опору та оптимізація енергобалансу. Польові випробування показали, що для легких та середніх ґрунтів вібраційний культиватор зменшує тяговий опір на 5–7% при глибині обробітку 25 см, що еквівалентно економії дизпалива 2,1–2,4 л/г. Для важких глинистих ґрунтів ефект більш виражений – до 12% зниження опору при частоті коливань 35–40 Гц[2,6].

Загальна енергомісткість процесу оранки з використанням вібрації складає 18–22 кВт·год/га проти 25–30 кВт·год/га для традиційних методів[1,2]. Ключовим фактором є співвідношення енергії, що витрачається на генерацію коливань, та економії від зменшення опору. Для п'єзоелектричних систем цей показник становить 1:4,3, тоді як для гідравлічних – 1:3,8[10, 13].

Окремо слід зауважити, що вібраційна обробка сприяє поліпшенню структури ґрунту та дозволяє боротися із ерозією ґрунту і створює кращі умови для збереження вологи в ґрунтах. Відтак вібраційна обробка збільшує частку агрономічно цінних агрегатів (0,25–10 мм) на 15–20%, що покращує аерацію і водопроникність. Наприклад у виноградниках застосування вібраційного розпушувача призводить до збільшення об'єму кореневої системи на 25–30% через стимуляцію росту периферійних коренів[1,4,6]. Технологія Verti-till із вертикальними вібраційними стійками зменшує змив ґрунту на схилах на 40–45% порівняно з традиційною оранкою, зберігаючи до 30 мм додаткової вологи в кореновому шарі. У посушливих регіонах це дозволяє збільшити врожайність зернових на 10–12%[6,8].

Відтак використання вібраційних технологій має гарні перспективи і в цьому напрямку продовжуються наукові дослідження та розробка нового ефективного обладнання. На сьогодні розробляються системи адаптивного керування вібрацією на основі датчиків опору ґрунту, які автоматично коректують частоту і амплітуду коливань. Попередні тести їх використання показують зменшення енерговитрат на 8–10% у порівнянні зі статичними системами[14,15]. Також на основі дослідження механізмів риття комах (наприклад, мурашок-лептонів) були створені лопати з мікрорізьбленням поверхні, що у поєднанні з вібрацією знижують опір на 18–22%. Подальший розвиток цього напрямку передбачає використання штучного інтелекту для імітації складних біомеханічних паттернів[2].

Вібраційні технології відкривають нові горизонти для енергоефективного та екологічно збалансованого землеробства. Їх впровадження вимагає подальших досліджень у галузі

матеріалознавства (для підвищення довговічності робочих органів) та розробки уніфікованих стандартів для різних типів ґрунтів. Перспективним напрямком є створення гібридних систем, що поєднують механічні коливання з акустичним або електромагнітним впливом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. The analyses of physical and mechanical properties in the process of soil interaction with working elements of the cultivator of vibrating principle action | E3S Web of Conferences. *E3S Web of Conferences*. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2024/69/e3sconf_rseiii2024_02034/e3sconf_rseiii2024_02034.html (date of access: 27.03.2025).
2. Resistance and consumption reduction mechanism of bionic vibration and verification of field subsoiling experiment / D. Zhou et al. *Applied sciences: agricultural science and technology*. 2021. No. 11(21). 10480. URL: <https://doi.org/10.3390/app112110480>.
3. Marchenko D., Matvyeyeva K. Investigation of the process of surfacing and vibration deformation during the restoration of plowshares and discs of tillage machines. *Problems of tribology*. 2021. Vol. 102, no. 4. P. 34–41. URL: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2021-102-4-34-41> (date of access: 27.03.2025).
4. Effect of vibration treatment on increasing the durability of tillage equipment working bodies / A. Dudnikov et al. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2021. Vol. 2, no. 1 (110). P. 104–108. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.228606> (date of access: 27.03.2025).
5. Vibrating plow feathers oscillating hitch. *FARM SHOW Magazine - Farming, Ranching & Agriculture News, Clever Farm Shop Inventions, Ranch & Farming Tips, Time-saving Tricks, Shortcuts & the Best Farm Shop Hacks & ways to Boost your farm income! Learn about DIY Workshop Projects, Barn Shop Hacks*. URL: https://www.farmshow.com/view_articles.php?a_id=667 (date of access: 27.03.2025).
6. Головний сайт для агрономів. Вертикальний обробіток ґрунту як спосіб боротьби з ущільненням та ефективного управління рослинними рештками. *Superagronom.com*. URL: <https://superagronom.com/blog/658-vertikalniy-obrobitok-gruntu-yak-sposib-borotbi-z-uschilnenniam-ta-efektivnogo-upravlinnya-roslinnimi-reshtkami> (дата звернення: 28.03.2025).
7. Альфатех. Спецтехніка в Україні, купити будівельну техніку Hyundai в Україні. URL: <https://alfatech.com.ua/news/shcho-take-zyableva-oranka-gruntu> (дата звернення: 28.03.2025).
8. Основні технології обробітку ґрунту – журнал Пропозиція - Головний журнал з питань агробізнесу. URL: <https://propozitsiya.com/ua/osnovni-tehnologiyi-obrobitku-gruntu> (дата звернення: 28.03.2025).
9. Reducing friction in tillage using ultrasonic vibration / R. Kattenstroth et al. *Cropping and machinery*. 2011. No. 1. P. 10–13.
10. Mathematical modeling of features of electrophysical processes in a vibration plow with piezoelectric actuator / V. Galchenko et al. *International scientific journal "mechanization in agriculture & conserving of the resources"*. 2022. No. 1. P. 3–6.
11. 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.
12. Методика експериментального дослідження параметрів виброплуга з гидравлическими вибраторами. / В. С. Ловейкин, Л. А. Дяченко // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – 2012. – Вип. 57. – с. 161-165.
13. Філімонов, С. О., & Ященко, С. С. (2023). Вдосконалена конструкція виброплуга з п'єзокерамічним актуатором. Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки, (1), 23-31.
14. Rao G., Chaudhary H., Sharma A. Design and analysis of vibratory mechanism for tillage application. *De Gruyter Brill*. URL: <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/opag-2018-0048/html> (date of access: 28.03.2025).
15. Ryaboshapka V., Zharskyi M., Zharskyi R. Increasing the efficiency of operation of trailed soil tillage machine units. *Vibrations in engineering and technology*. 2023. No. 4(111). P. 75–80. URL: <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2023-4-10> (date of access: 29.03.2025).

Поліщук Олександр Васильович – к.т.н., доц. кафедри БЖДПБ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: polischuk@vntu.edu.ua.

Загнітко Ярослав Віталійович – аспірант кафедри «Галузеве машинобудування», Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: yaroslavzagnitko94@gmail.com.