

7. Zhu M. et al. Unlocking the potential of oat straw: Efficient pretreatment methods for enhanced glucose production. *BioResources*. 2024. Vol. 19, No. 3. P. 5685–5698. DOI: 10.15376/biores.19.3.5685-5698.

8. Improving Agriculture. International Biochar Initiative. URL: <https://biochar-international.org/about-biochar/soil-health/> (дата звернення: 20.04.2025).

9. Carvalho J. et al. Life Cycle Assessment (LCA) of Biochar Production from a Circular Economy Perspective. *Processes*. 2022. Vol. 10, No. 12. P. 2684. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr10122684>.

10. Global Food Losses and Food Waste - Extent, Causes and Prevention : report. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2011. URL: <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf> (дата звернення: 04.04.2026).

11. Viana L. R. et al. Would Transitioning from Conventional to Organic Oat Grains Production Reduce Environmental Impacts: A LCA Case Study in North-East Canada. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 349. Art. 131344. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131344>.

12. Viana R. et al. Life Cycle Assessment of Oat Flake Production with Two End-of-Life Options for Agro-Industrial Residue Management. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, No. 6. Art. 5124. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15065124>.

УДК 631.31

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІДРІЗАННЯ ТА ПІДЙОМУ ҐРУНТУ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ҐРУНТООБРОБНОЇ УСТАНОВКИ

RESEARCH OF THE PROCESS OF CUTTING AND LIFTING SOIL BY THE WORKING BODIES OF THE SOIL TILLING MACHINE

Василь Грубань, Микита Храмов

*Миколаївський національний аграрний університет,
Миколаїв, Україна*

Проблема зниження негативного впливу механізованого обробітку ґрунту та витрат енергії на його проведення виникли в першій половині минулого сторіччя та є актуальними в міру збільшення інтенсифікації виробництва і маси сільськогосподарської техніки. Сучасні світові тенденції на отримання екологічно чистої продукції вимагають часткової відмови від хімічних засобів боротьби з бур'янами. Робочі органи ґрунтообробних машин не забезпечують раціонального впливу на ґрунт з точки зору агрономічної науки і еколого-економічних вимог. Тому для вдосконалення процесів обробітку ґрунту необхідний комплексний підхід до питань зменшення руйнування робочими органами машин і знарядь структури ґрунту і розробки технологічних процесів, що забезпечують оптимізацію його агрофізичних властивостей і вдосконалення технологій вирощування сільськогосподарських культур з метою зниження витрат енергії на одиницю отриманої продукції.

Поверхневий обробіток ґрунту проводиться з метою кришіння пласта, подрібнення поживних залишків, знищення бур'янів і вирівнювання поверхні поля [1, 2].

При обробітку ґрунту традиційними знаряддями і машинами розвивається складний напружений стан від спільної дії деформацій стиснення, розтягання і зсуву. При цьому превалюючими є деформація стиснення і зсуву. Оскільки ґрунт відноситься до анізотропних матеріалів з міцністю при розтягуванні значно меншим, ніж міцність при стисненні, доцільним є використання робочих органів, що здійснюють відрив ґрунту від масиву [3].

При переміщенні експериментальної ґрунтообробної установки, плоскі диски, що вільно обертаються сприяють відриву ґрунту від масиву, що є затисненим між ними і далі здійснюють його переміщення за лемішем [1,4,5]. Одночасно стрічатая лапа забезпечує заглиблення та підйом шару ґрунту, часткове його кришіння та утворює ґрунтове ядро перед лемішем, і здійснюючи рух,

потрапляє на сепаруючу решітку. Також напрямні диски обмежують згруджування ґрунту з леміша на сторони.

Припустимо, що бічна поверхня дисків взаємодіє з частинками ґрунту, що переміщується під дією леміша і не зміщує їх. В такому випадку рівняння руху частинки відносно диска мають вигляд:

$$\begin{aligned}x_i &= (R_i \cos \alpha_i - v_n t) \cos \omega t + (R_i \sin \alpha_i + z_n) \sin \omega t; \\z_i &= (R_i \cos \alpha_i - v_n t) \sin \omega t - (R_i \sin \alpha_i + z_n) \cos \omega t,\end{aligned}$$

де R_i – відстань від осі обертання диска до розглянутої i -ої точки;

α_i – кут, що характеризує розташування частинки за глибиною h ;

v_n – проекція відносної швидкості руху ґрунту за лемішем на напрямок руху машини;

t – час руху;

ωt – кут повороту дисків.

Напрямок сили тертя частинки ґрунту за диском збігається з вектором його відносної швидкості, що діє за дотичною до траєкторії руху. Останнє описується рівнянням [6]:

$$z_k = \frac{A_1}{B_1} x_k - \frac{C_1}{B_1},$$

де x_k, z_k – поточні координати дотичної лінії.

$$A_1 = \dot{z}; \quad B_1 = \dot{x}; \quad C_1 = \dot{z}x - z\dot{x}.$$

Тоді

$$\begin{aligned}A_1 &= [\omega (R_i \cos \alpha_i - v_n t) - \dot{z}_n] \cos \omega t + \\&+ [\omega (R_i \sin \alpha_i + z_n) - v_n] \sin \omega t; \\B_1 &= [\omega (R_i \sin \alpha_i + z_n) - v_n] \cos \omega t - \\&- [\omega (R_i \cos \alpha_i - v_n t) - \dot{z}_n] \sin \omega t; \\C_1 &= \omega (R_i \cos \alpha_i - v_n t)^2 + \omega (R_i \sin \alpha_i + z_n)^2 - \\&- R_i (v_n \sin \alpha_i + \dot{z}_n \cos \alpha_i).\end{aligned}$$

Полярна відстань моменту сил тертя частинки ґрунту відносно вісі обертання диска знаходиться за формулою [4]:

$$l_n = \frac{|C_1|}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}}.$$

Після перетворень отримаємо:

$$\begin{aligned}l_n &= \left[\omega (R_i \cos \alpha_i - v_n t)^2 + \omega (R_i \sin \alpha_i + z_n)^2 - R_i (v_n \sin \alpha_i + \dot{z}_n \cos \alpha_i) \right] / \\&/ \left\{ \left[\omega (R_i \cos \alpha_i - v_n t) - \dot{z}_n \right]^2 + \left[\omega (R_i \sin \alpha_i + z_n) - v_n \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}.\end{aligned} \quad (1)$$

Для отримання рівняння граничної лінії, що розділяє зони тертя, прирівняємо l_n до нуля. Якщо відлік часу почнемо з моменту потрапляння частинки ґрунту на граничну лінію, тоді рівняння (1) буде мати такий вигляд:

$$R_i = \frac{1}{\omega} (v_n \sin \alpha_i + \dot{z}_n \cos \alpha_i). \quad (2)$$

де ω – кутова швидкість плоского диска.

Схема розподілу зон тертя на бічній поверхні плоского диска, отримана на підставі рівняння (2), показана на рис. 1. Аналіз зміни напрямку дії сил тертя диска при русі ґрунту за лемішем показує, що більш сприятливою є зона поза граничної лінії. У цій зоні кут між вектором швидкості руху ґрунту і напрямком дії на нього сил тертя дисків найменша, що створює найбільш сприятливі умови для зниження згруджування ґрунту на леміші [7,8]. Тому параметри і режими роботи пристрою для піднімання ґрунту повинні вибиратись виходячи з умов одержання найменшої площі зони, в якій сили тертя сприяють обертанню дисків. За таких умов на підставі рівняння (2) отримаємо:

$$\omega \geq \frac{v_{\text{п}}}{R-h};$$

де h – глибина ходу дисків.

Вертикальний зсув ґрунту під впливом леміша залежить від його геометричної форми, яку розглянуто у вигляді полінома n -го порядку:

$$z_{\text{п}} = k_0 + k_1x + k_2x^2 + \dots + k_nx^n,$$

де k_0, \dots, k_n – коефіцієнти, які визначають геометричний профіль леміша.

При постійному русі ґрунту за лемішем будемо вважати, що $x = v_{\text{п}}t$, тоді

$$z_{\text{п}} = k_0 + k_1v_{\text{п}}t + k_2(v_{\text{п}}t)^2 + \dots + k_n(v_{\text{п}}t)^n.$$

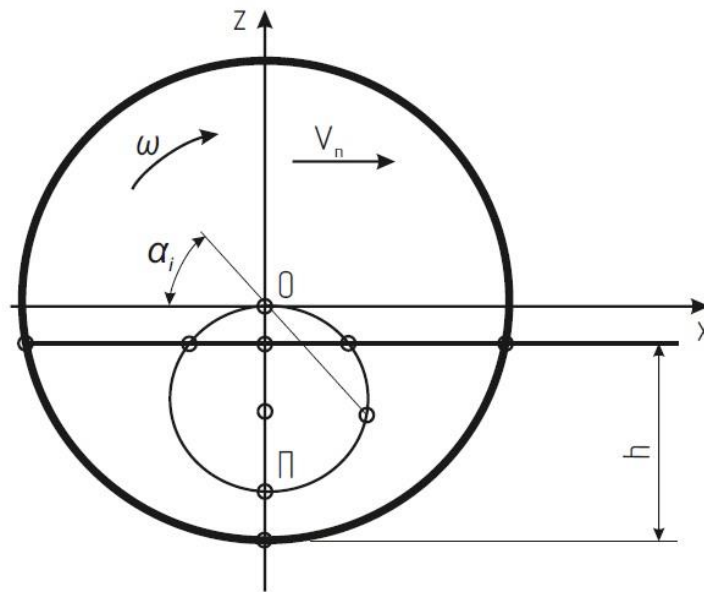


Рис. 1. Схема розподілу зон тертя на поверхні плоского диска

Продиференціював рівняння за часом прийнятої раніше системи відліку ($t=0$), отримаємо $\dot{z}_{\text{п}} = k_1v_{\text{п}}$,

де k_1 – тангенс кута нахилу дотичної до кривої, що описує профіль леміша.

У такому випадку рівняння (2) можна записати у вигляді:

$$R_i = \frac{R\tau}{\lambda} (\sin \alpha_i + k_1 \cos \alpha_i), \tag{3}$$

де $\lambda = \frac{\omega R}{v_{\text{м}}}$ – кінематичний параметр обертання дисків;

$\tau = \frac{v_{\text{п}}}{v_{\text{м}}}$ – співвідношення між поступальною швидкістю ґрунту і робочих органів установки.

Аналіз рівняння (3) з точки зору впливу сил тертя напрямних дисків на ґрунт показує, що умови руху ґрунту покращуються зі зменшенням радіусу дисків і кута нахилу леміша, а також зі збільшенням кінематичного параметра обертання дисків і згруджування ґрунту на леміші. На рис. 2-4 наведено залежності згруджування ґрунту за лемішем в залежності від радіуса дисків, кінематичного параметра їх обертання і кута постановки леміша. З рис. 3 видно, що збільшення радіусу дисків з 0,175 до 0,270 м призводить до підвищення товщини шару ґрунту на леміші не більше ніж на 17%.

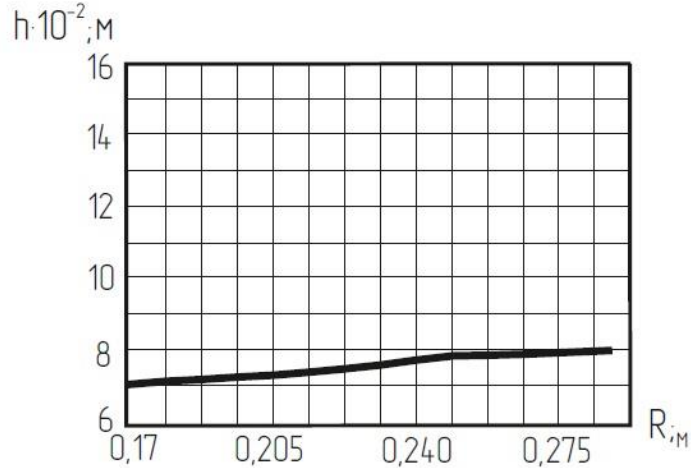


Рис. 2. Вплив радіусу дисків на величину згруджування ґрунту

З рис 3 видно, що зі збільшенням кінематичного параметра обертання дисків від 0 до 0,6 згруджування ґрунту на леміші знижується у 2,73 рази, з 0,6 до 1,0 – у 1,25 рази і з 1,0 до 1,2 – у 1,04 рази.

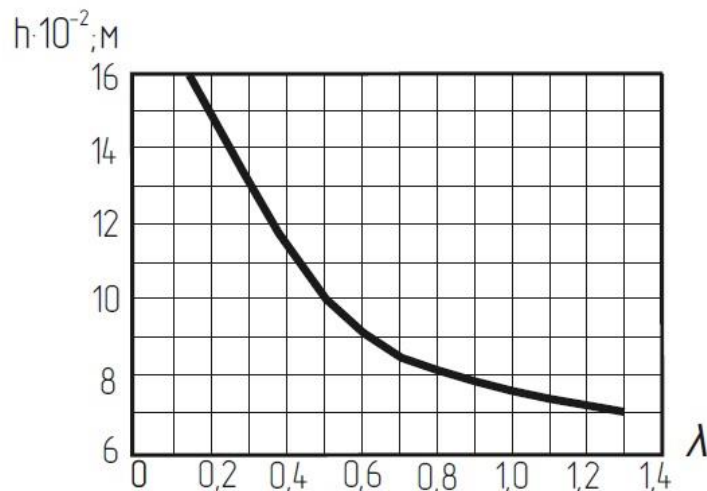


Рис. 3. Вплив кінематичного параметра обертання дисків на величину згруджування ґрунту

З рис. 4 видно, що збільшення кута постановки леміша спочатку призводять до зниження рівня ґрунту на ньому і досягає мінімуму при куті, близькому до 25° .

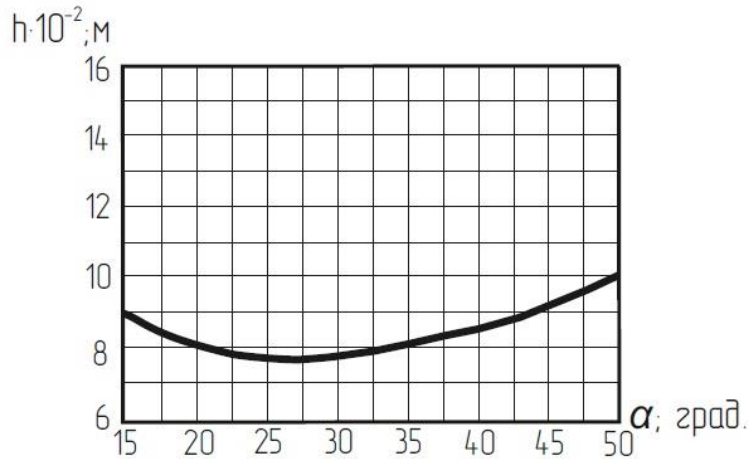


Рис. 4. Вплив кута постановки леміша на величину згруджування ґрунту

Встановлено, що при подальшому збільшенні кута рівень ґрунту на леміші зростає.

Висновок. Відстань між направляючими пасивними дисками, при яких підйом пласта ґрунту лемішем відбувається без заклинювання між ними та в основному визначається вологістю ґрунту і глибиною їх ходу. Аналіз процесу взаємодії плоского диска з ґрунтом, що переміщається за лемішем, показує, що зі збільшенням кінематичного параметра обертання дисків і зі зменшенням їх радіусу умови для переміщення ґрунту за лемішем покращуються.

Список використаних джерел

1. Сиромятников Ю.М., Храмов М.С. Процес підйому ґрунту робочими органами ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої установки. *Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics*. 2021. № 33. С. 86–96.
2. Пашенко В.Ф., Сиромятников Ю.М., Храмов М.С. Ґрунтообробна установка з використанням гнучкого робочого органу для контролю росту бур'янів. *Овочівництво і баштанництво*. 2018. № 64. С. 33–44. DOI: 10.32717/0131-0062-2018-64-33-43.
3. Hruban V., Panfilova A., Galeeva A., Khramov M (2025). Optimisation of structural parameters of rotary tillage units to increase the stability operation under the influence of variable loads *Machinery&Energetics* vol. 16, №1. 106-121. DOI: 10.31548/machinery/1.2025.65.
4. Храмов М.С., Сиромятников Ю.М. Визначення тягового опору установки для підйому ґрунту в залежності від кута постановки направляючих дисків. *Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 113-ї річниці від дня народження Крамарова В.С.* Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2020. С. 223–225.
5. Грушецький С.М., Яропуд В.М. Моделювання відрізання картопляного вороху лезом леміша. *Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця: ВНАУ, 2020. № 3 (98). С. 85–94.
6. Алієв Е.Б., Теслюк Г.В., Белка О.В., Пацула О.М. Чисельне моделювання процесу роботи ґрунтообробного модуля для передпосівного обробітку ґрунту. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2023. № 34. С. 132–145.
7. Голуб Г., Дворник А. Вплив конструкційно-технологічних параметрів агрегата для смугового обробітку ґрунту на грудкуватість. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2020. № 27. С. 89–98.
8. Hruban, V., Drobitko, A., Khramov, M., Tovpyha, M. (2025). Strength analysis and optimisation of trailer agricultural machinery structures using finite element methods. *Machinery&Energetics*, 16(2), 117-130. <https://doi.org/10.31548/machinery/2.2025.117>