

ОБҐРУНТУВАННЯ ДИСКОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНА КОМБІНОВАНОГО СПОСОБУ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ТА ПРОЦЕСУ РОЗРІЗАННЯ РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ КУКУРУДЗИ

Микола Корчак, к. т. н., Анатолій Рудь, к. т. н.,
Сергій Грушецький, к. т. н., Юрій Павельчук, к. т. н.
*Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
вул. Шевченка, 12, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька область, Україна,
e-mail: korchak_nikolay@ukr.net*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2022.26.030>

Корчак М., Рудь А., Грушецький С., Павельчук Ю. Обґрунтування дискового робочого органа комбінованого способу обробітку ґрунту та процесу розрізання рослинних залишків кукурудзи

Дисковий робочий орган у запропонованому комбінованому способі обробітку ґрунту, засміченого рослинними залишками кукурудзи, який складається з об'єднаних технологічних процесів: розрізання та розподілу рослинних залишків, ущільнення згорненої маси, подрібнення рослинних залишків із ґрунтом та вирівнювання поверхні поля, виконує один із найважливіших технологічних процесів – розрізання довгих і грубих стебел у міжряддях, забезпечуючи при цьому ефективніше виконання наступних процесів запропонованого способу. Тому саме цей робочий орган, що реалізує технологічний процес, який він виконує, потребує ретельних теоретичних досліджень впливу на процес розрізання рослинних залишків та ґрунту. Проведено теоретичні дослідження впливу дискового робочого органа на процес розрізання стеблових залишків кукурудзи, зокрема дослідження його динаміки та активізації впливу на ґрунт. Дослідження технологічного процесу впливу дискового робочого органа на процес розрізання рослинних залишків дають змогу науково обґрунтувати його конструктивні параметри. Найважливішим об'єктом у процесі розрізання дисковим органом є моделі рослинних залишків. Первинною функцією слід вважати вплив дискового робочого органа на стеблові та кореневі залишки кукурудзи. Цей вплив полягає в розрізанні тих стебел, які потрапляють у зону дії ножів, а також у частковому їх повертанні. Таке повертання стебел та вплив дискового робочого органа на листостеблові рослинні залишки суттєво змінює функцію розподілу рослинних залишків на поверхні поля. Теоретично доведено, що поперечні коливання сприяють кришенню ґрунтових макроагрегатів і призводять до зменшення впливу агрегату на ґрунт та розширення смуги обробітку. Результати теоретично обґрунтованого дискового робочого органа знайшли своє застосування в розробці нової технології подрібнення рослинних залишків кукурудзи та подрібнювача для її реалізації. Отримано подальший розвиток досліджень з обґрунтування розрізання стеблових залишків та дискових робочих органів, що застосовуються в комбінованих ґрунтообробних агрегатах для обробітку ґрунту після збирання кукурудзи.

Ключові слова: дисковий робочий орган, рослинні залишки кукурудзи, теоретичне обґрунтування, динамічні властивості, вплив на процес розрізання, ґрунт.

Korchak M., Rud A., Hrushetskyi S., Pavelchuk Y. Justification of the disk working body of combined soil tillage and the process of cutting corn plant residues

The disk working body in the proposed combined method of tilling the soil littered with corn plant residues, which consists of combined technological processes, like cutting and distribution of plant residues, compaction of the compacted mass, grinding of plant residues with soil and leveling of the field surface, performs one of the most important technological processes, i.e. cutting long and rough stems in the interrows, while ensuring more efficient execution of the following processes of the proposed method. Therefore, it is this working body that implements the technological process that it performs, which requires thorough theoretical studies of the impact on the process of cutting plant residues and soil. Theoretical studies of the impact of the disk working body on the process of cutting corn stalk residues have been conducted, in particular, studies of its dynamics and activation of the impact on the soil. The study of the technological process of the impact of the disk working body on the process of cutting plant residues makes it possible to scientifically substantiate its design parameters. In the process of cutting with a disk body, the most important object is the model of plant remains. The primary function is considered to be the impact of the disk working body on the stem and root residues of corn. This effect consists in cutting those stems that fall into the area of action of the knives, as well as in their partial rotation. Such rotation of the stems and the impact of the disk working body on the leaf-stem plant residues significantly changes the function of the distribution of plant residues on the field surface. It has been theoretically proven that transverse vibrations contribute to the collapse of soil macro-aggregates and lead to a decrease in the impact of the aggregate on the soil and an expansion of the cultivation strip. The results of the theoretically justified disk working body were used in the development of a new technology for grinding plant residues of corn and a shredder for its implementation. Further development of studies on the justification of cutting stem residues and disk working bodies, used in combined tillage units for soil cultivation after harvesting corn, was implemented.

Key words: disk working body, plant residues of corn, theoretical justification, dynamic properties, influence on the cutting process, soil.

Постановка проблеми. У запропонованому комбінованому способі обробітку ґрунту, засміченого рослинними залишками кукурудзи, що складається з об'єднаних технологічних процесів: розрізання та розподілу рослинних залишків, ущільнення згорненої маси, подрібнення рослинних залишків з ґрунтом та вирівнювання поверхні поля, дискові робочі органи здійснюють один із найважливіших технологічних процесів – розрізання довгих та грубих стебел у міжряддях, забезпечуючи при цьому ефективніше протікання наступних процесів запропонованого способу. Тому саме цей робочий орган, що реалізує технологічний процес, який він виконує, потребує ретельних теоретичних досліджень впливу на процес розрізання рослинних залишків та ґрунту.

Теоретичні дослідження впливу дискового робочого органа на процес розрізання рослинних залишків дають змогу науково обґрунтувати конструктивні параметри дискових робочих органів комбінованої машини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дискові робочі органи використовують для обробітку ґрунту досить давно. Основне їхнє призначення – руйнування великих брил ґрунту, які за певних умов утворюються після оранки [1; 2]. Мається на увазі, що ножі є плоскими, випуклі ножі мають інші функції.

Вони виконують різні функції – починаючи від післязбирального кришення ґрунту, закінчуючи подрібненням післязбиральних рослинних залишків і знищенням бур'янів. Є декілька типових форм дисків, з яких можна виділити плоскі й опуклі. Математичний опис динамічних властивостей плоских дисків досить мало досліджений у зв'язку з іншим застосуванням. За використання дискових робочих органів для роботи з ґрунтом вони вважаються абсолютно жорсткими. Але експериментальні спостереження показують, що оброблювана смуга ґрунту набагато ширша від товщини диска. Це пов'язано, з одного боку, з недостатнім центруванням дисків на валу, з іншого – з неврахуванням пружних властивостей диска (і, можливо, несучої стійки). Безумовно, розширення ширини оброблюваної ґрунтової смуги є позитивною стороною застосування диска. З цього погляду, обидві вищеназвані причини не відіграють негативної ролі. Проте недостатнє центрування диска на валу призводить до швидкого зношення як вала, так і диска, і акцентування цього способу небажане. Надійнішим є врахування пружних властивостей диска (хоча в цих випадках починають відігравати значну роль процеси старіння металу).

Під час розрахунку динаміки дискового робочого органа для обробітку ґрунту його пружних властивостей дотепер не враховували.

Постановка завдання. Наша мета – провести теоретичні дослідження впливу дискового робочого органа на процес розрізання рослинних залишків кукурудзи, зокрема дослідження його динаміки та активізації впливу на ґрунт з урахуванням його пружних властивостей.

Виклад основного матеріалу. Найважливішим об'єктом у процесі подрібнення дисковим робочим органом є моделі рослинних залишків (листочкостеблових та кореневих). Такі об'єкти, зокрема їхні фізико-механічні властивості, мало вивчені, тому використовувані моделі характеризуватимуться новизною. Для розгляду їхніх динамічних процесів можна використовувати такі моделі:

- в'язко-пружне середовище (на певних етапах процесу);
- реологічні (пов'язані з деформацією первинної структури).

Числові параметри для цих моделей можуть бути отримані в результаті експериментальних досліджень.

Окремо потрібно розглянути модель рослинних залишків на зібраному полі. Специфіка цієї моделі порівняно з вищерозглянутими моделями полягає в тому, що ця модель геометрична. На відміну від вищерозглянутих моделей, нами проведені експериментальні дослідження стану засміченості поля рослинними залишками після збирання кукурудзи в польових умовах. На основі експериментальних досліджень і будується ця модель [6].

Зрозуміло, що дискретний опис розміщення листочкостеблових залишків не зовсім зручний для подальшого опису динамічних процесів, які описують взаємодію польової установки з рослинними залишками. Тому подальший аналіз буде пов'язаний із введенням неперервної функції розподілу $N(\varphi, x)$, де φ – кут розміщення стебел залишків відносно напрямку руху установки (вісь Ox), N – кількість стебел. У подальшому залежність $N(x)$ може бути прийнята постійною величиною (рівномірний розподіл залишків уздовж руху або майже рівномірний).

Ця умова може бути записана в такому вигляді:

$$\frac{|N_1 - N_2|}{N_1 + N_2} \ll \frac{|X_1 - X_2|}{X_1 + X_2}, \quad (1)$$

де N_1, N_2 – кількість рослинних залишків у точках X_1 та X_2 .

Ми використовуватимемо плоскі дискові робочі органи, однак особливість їх використання значно відрізняється від традиційного. По-перше, вони використовуються до оранки, тобто не йтимуться про розрізання масивних брил – вони до оранки просто відсутні. Тому ця функція дискових робочих органів є вторинною.

Первинною функцією слід вважати вплив дискових органів на листостеблові та кореневі залишки зібраної кукурудзи. Цей вплив полягає в розрізанні тих стебел, які потрапляють у зону дії цих ножів, а також у частковому їх повертанні. Таке повертання стебел змінює функцію розподілу $N(\varphi)$. Якісне зображення зміненої функції розподілу подане на рис. 1 (пунктирна крива).

У рамках функції розподілу діаграма розподілу рослинних залишків на поверхні поля може бути зображена графічно (див. рис. 1).

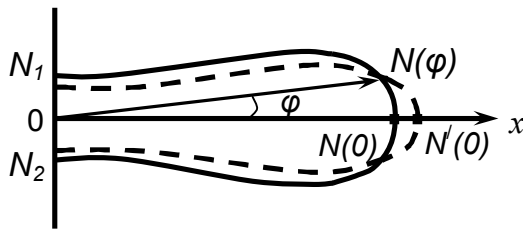


Рис. 1. Схематичне зображення функції розподілу рослинних залишків $N(\varphi)$ у полярній системі координат

Fig. 1. Schematic representation of the distribution function of plant residues $N(\varphi)$ in the polar coordinate system

У рамках функції розподілу можна виразити різні вищерозглянуті величини, а саме:

– математичне сподівання:

$$N_{cp} = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} N(\phi) d\phi; \quad (2)$$

– математичне сподівання квадрата очікуваної величини:

$$N^2 = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} N^2(\phi) d\phi; \quad (3)$$

– дисперсія:

$$D(N) = N^2 - N_{cp}^2. \quad (4)$$

Зрозуміло, що вигляд функції розподілу $N(\varphi)$ залежить від багатьох чинників (умови збирання, збиральні пристрої, сорт кукурудзи тощо).

Дослідження динаміки дискового робочого органа. Для подальшого аналізу роботи дискового органа вважаємо, що він абсолютно жорсткий, вільно закріплений на горизонтальній осі (опір тертя на осі можна врахувати). Поперечний переріз (радіальний) являє собою прямокутник, на одній із менших сторін якого знаходиться рівнобедрений трикутник (зона заточки).

Оскільки використання дискових органів відбувається до оранки і різкі зміни густини й твердості ґрунту відсутні, то можна вважати ґрунт суцільним однорідним середовищем як за глибиною (невелике заглиблення ножа – до 5 см), так і в горизонтальному напрямі. Незначні флуктуації, які мають стохастичний характер, у принципі можуть бути враховані. Але, по-перше, треба мати експериментальні результати, а подібні дослідження не проводилися. По-друге, таке врахування значно ускладнює математичні розрахунки.

Нехай радіус диска дорівнює R , товщина a , висота заточки b , глибина заглиблення диска в ґрунт дорівнює h , причому $h > b$. Вважаючи ґрунт суцільним середовищем, запишемо силу вологого тертя в такому вигляді:

$$F_c = \beta \cdot V_n; \quad \beta = \beta' \cdot S, \quad (5)$$

де F_c – сила вологого тертя, Н; V_n – поступальна швидкість агрегату, м/с; β – коефіцієнт пропорційності, який визначається експериментально, Н·с/м; β' – коефіцієнт тертя, Н·с/м; S – площа контакту, м².

Зрозуміло, що β залежить від площі контакту. Тертя між диском і листостебловими залишками може бути прийняте сухим (закон Кулона), оскільки площа контакту відносно невелика.

Розрахункова схема дискового робочого органа наведена на рис. 2.

Диск виконує плоский поступально-обертний рух. V_0 – лінійна швидкість диска, A_0, B_0 – крайні точки, що позначають заглиблення дискового робочого органа в ґрунт, P – миттєвий центр швидкостей диска. Якщо позначити радіус диска через $R = c + b$, то кутова швидкість обертання дорівнюватиме:

$$\omega = \frac{V_0}{R} = \frac{V_0}{c + b}, \quad (6)$$

де V_0 – лінійна швидкість диска.

Позначимо діаметр стебла, яке потрапляє в зону дії дискового ножа, через d . Тоді час взаємодії ножа і стебла дорівнює:

$$t = \frac{d}{V_c \cdot \sin \phi}, \quad (7)$$

де d – діаметр стебла; V_c – лінійна швидкість точок на ободі диска.

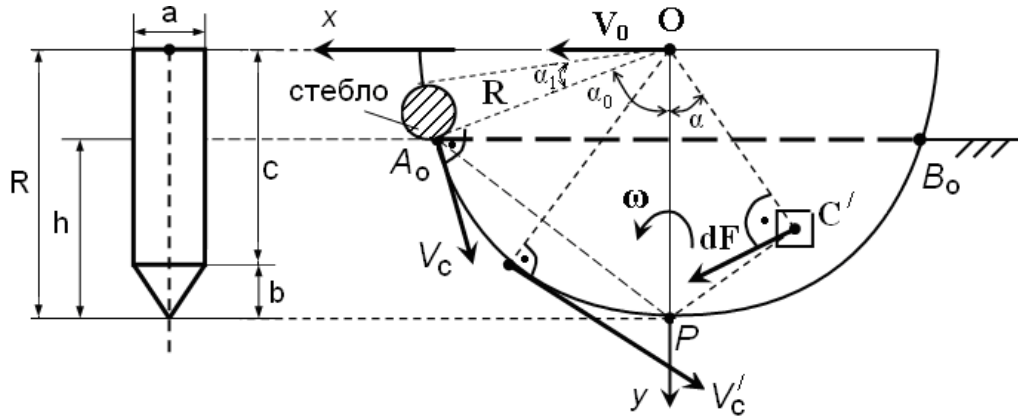


Рис. 2. Розрахункова схема дискового робочого органа
Fig. 2. Calculation scheme of a disk working body

Лінійна швидкість диска V_0 може бути визначена з такого співвідношення:

$$\frac{V_0}{R} = \frac{V_c}{R \cdot \sin \frac{1}{2} \left(\alpha_0 + \frac{\alpha_1}{2} \right)} = \omega ; \quad \phi = \frac{1}{2} \left(\alpha_0 + \frac{\alpha_1}{2} \right), \quad (8)$$

де α – кут між радіус-вектором dS і вертикаллю (Oy); α_0 – кут між вертикаллю (Oy) і радіус-вектором стебла; α_1 – кут між стеблом і лінією OA_0 .

Звідси

$$V_c = V_0 \cdot \sin \frac{1}{2} \left(\alpha_0 + \frac{\alpha_1}{2} \right). \quad (9)$$

Ці вирази справедливі лише в тому разі, коли стебло розташоване горизонтально на поверхні ґрунту.

Для обчислення сили тертя між дисковим робочим органом і ґрунтом, а також між диском і розрізаними листостебловими залишками, введемо декартову систему координат xOy (див. рис. 2). Виділимо елементарну поверхню на диску площею $dx dy$. Координати центра цієї ділянки:

x ($|x| \leq R \cdot \cos \alpha_0$) та y ($R - h \leq y \leq R$). Згідно з теоремою про миттєвий центр швидкостей, справедливим є такий вираз:

$$V_c' = V_0 \cdot \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{R}, \quad (10)$$

де V_c' – миттєва швидкість точок на ободі диска відносно миттєвого центра обертання.

Тоді сила тертя, яка діє на цю площинку, дорівнює:

$$dF = \left(\frac{\beta'}{V_c'} \right) dS = \frac{\beta'}{V_c'} dx dy. \quad (11)$$

У проєкції на вісь Ox :

$$dF_x = \left(\frac{\beta'}{V_c'} \right) \sin \alpha dx dy. \quad (12)$$

Тоді сила тертя, яка діє на всю заглиблену в ґрунт площинку в проєкції на вісь x , визначається виразом

$$F_x = \int_S dF_x = \int_{-R \sin \alpha_0}^{R \sin \alpha_0} \int_{R-h}^R \left(\frac{\beta'}{V_c'} \right) \sin \alpha dy dx. \quad (13)$$

Або з врахуванням виразу (10):

$$F_x = \frac{V_0 \beta'}{R} \int_{-R \sin \alpha_0}^{R \sin \alpha_0} \int_{R-h}^R \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\sqrt{x^2 + y^2}} dx dy = \frac{V_0 \cdot \beta'}{R} \int_{-R \sin \alpha_0}^{R \sin \alpha_0} x dx \int_{R-h}^R dy. \quad (14)$$

Той факт, що подвійний інтеграл розділюється, дозволяє в закінченому вигляді провести інтегрування, і результат відносно нескладного інтегрування може бути записаний у такому вигляді:

$$\begin{aligned} F_x &= \frac{V_0 \cdot \beta'}{2R} \cdot [R^2 \sin^2 \alpha_0 + R^2 \sin^2 \alpha_0] \cdot \\ &\cdot [R^2 - (R-h)^2] = \\ &= V_0 \cdot \beta' \cdot R \sin^2 \alpha_0 \cdot (h^2 - 2R \cdot h) = \\ &= V_0 \cdot \beta' \cdot R \frac{\sqrt{h^2 - 2R \cdot h}}{R} \cdot (h^2 - 2R h) = \\ &= V_0 \cdot \beta' (h^2 - 2R \cdot h)^{\frac{3}{2}} \end{aligned} \quad (15)$$

Для забезпечення рівномірного обертання диска тягове зусилля F_0' мусить бути більшим або рівним силі:

$$F_0' \geq F_x + F_n + F_m, \quad (16)$$

де F_x – сила тертя; F_n – лобовий опір диска в ґрунті; F_m – сила тертя диска по розрізаних стеблових залишках.

Сила лобового опору ґрунту після нескладних обчислень може бути подана в такому вигляді:

$$F_x = \rho \cdot S \cdot V_0^2 = \rho \cdot V_0^2 \cdot \left[a(h-b) + \frac{ab}{2} \right], \quad (17)$$

де ρ – середня густина ґрунту в зоні обробітку.

Для обчислення F_{mx} приймаємо силу різання стебла рівною F_p . Час різання визначається виразом (7), інакше кажучи, сила тертя F_m має імпульсний характер (рис. 3).

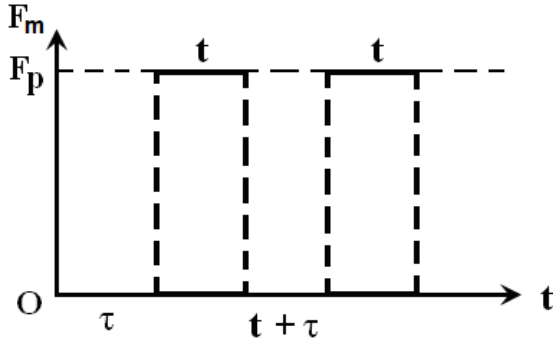


Рис. 3. Діаграма сил різання
Fig. 3. Diagram of cutting forces

Тут τ – інтервал між послідовними імпульсами, який залежить від функції розподілу $N(\varphi)$;

$t + \tau$ – інтервал через певний проміжок часу t .

Зручно ввести усереднене значення сили тертя диска F_m по розрізаних стеблових залишках:

$$F_m = \sum_{i=1}^{t+\tau} \int_{\tau} F(t) dt = F_p \frac{t}{t+\tau}. \quad (18)$$

Тоді проекція сили тертя на вісь x :

$$F_{mx} = \frac{t}{t+\tau} F_p \cdot \sin(\alpha + \alpha_0), \quad (19)$$

де F_p – сила різання;

Тоді сила тертя F_x може бути записана так:

$$F_x \geq 2\beta' V_0 (h^2 - 2R \cdot h)^{\frac{3}{2}} + \rho \cdot V_0^2 \left(a(h-b) + \frac{a \cdot b}{2} \right) + \frac{t}{t+\tau} F_p \cdot \sin(\alpha + \alpha_0) \quad (20)$$

Проаналізуємо залежність сили тертя F_x від кута обертання диска φ . Для цього позначимо перші два доданки у виразі (20) через F_x'' і F_x''' . Тоді одержимо:

$$F_x = F_x'' + F_x''' \frac{d}{V_c \cdot \sin \phi \left(\tau + \frac{d}{V_c \cdot \sin \phi} \right)} = F_x'' + F_x''' \cdot \frac{d}{\tau \cdot V_c \cdot \sin \phi + d} \quad (21)$$

$$F_x''' = F_p \cdot \sin(\alpha + \alpha_0),$$

де F_x'' – складова сили тертя, яка не залежить від кута обертання дискового ножа φ ; F_x''' – складова сили тертя, яка залежить від кута обертання дискового ножа φ .

Розглянемо найбільш актуальну ситуацію – «тонкі стеблові залишки – невелика засміченість»:

$$\frac{d}{\tau \cdot V_c} \ll 1. \quad (22)$$

У цьому разі

$$\frac{dF_x}{d\phi} = -\frac{F_x'''}{\tau \cdot V_c} \cdot \frac{\cos \phi}{\sin^2 \phi}; \quad \frac{F_x}{\tau \cdot V_c} = const. \quad (23)$$

Мінімум функції $F_x(\varphi)$ досягається в точках

$\phi_k = \frac{\pi}{2}$ і дорівнює:

$$F_{x \min} = F_x'' + \frac{2F_x'''}{\pi \cdot \tau \cdot V_c}. \quad (24)$$

Залежність $F_x(\varphi)$ для випадку (1) наведена на рис. 4.

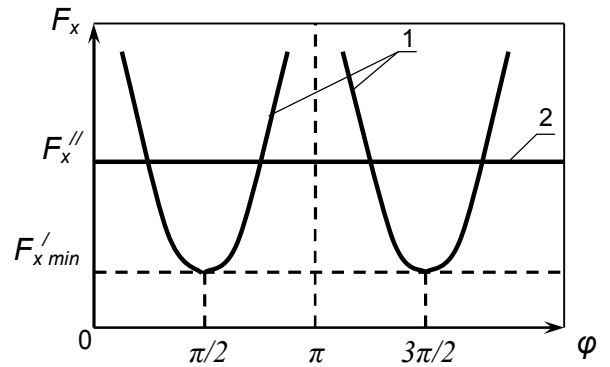


Рис. 4. Залежність сили тертя F_x від кута обертання дискового робочого органа φ для випадків:

1 – тонкі стеблові залишки – невелика засміченість; 2 – грубі стебла – велика засміченість

Fig. 4. Dependence of the friction force F_x on the angle of rotation of the disc working body φ for the following cases: 1 – thin stem remains – slight clogging; 2 – coarse stalks – big clogging

У випадку «грубі стебла – велика засміченість» виконується нерівність

$$\frac{d}{\tau \cdot V_c} \gg 1. \quad (25)$$

Залежність

$$F_x = F_x'' + F_x''' \quad (26)$$

наведена на рис. 4 (пряма 2).

Досліджуючи вплив дискового робочого органа на ґрунт [10], розглянемо таку модель при-

строю (рис. 5). Нехай ми маємо круглу пластину 1 з циліндричною жорсткістю Ω на вигин:

$$\Omega = \frac{E \cdot a^3}{12(1-\nu^2)}, \quad (27)$$

де E – модуль Юнга матеріалу пластини; a – товщина пластини; ν – коефіцієнт Пуассона.

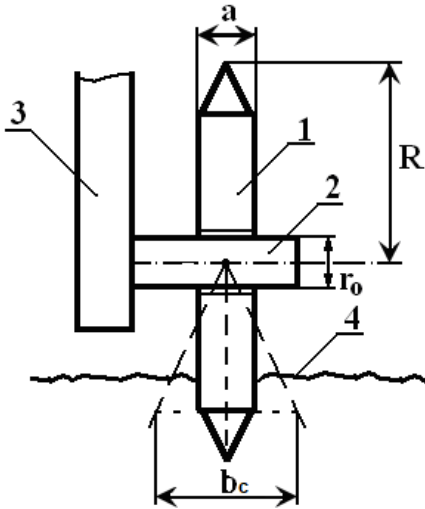


Рис. 5. Схема пристрою для активізації впливу дискового робочого органа на ґрунт:
1 – дисковий ніж; 2 – вал; 3 – стійка; 4 – ґрунт;

R – радіус диска; r_0 – радіус вала;
 a – товщина диска; b_c – смуга обробки ґрунту

Fig. 5. Scheme of the device for activating the influence of the disc working body on the soil:

1 – disk knife; 2 – shaft; 3 – rack; 4 – soil; R – disk radius; r_0 – shaft radius;
 a – disk thickness; b_c – strip of tillage

Дисковий робочий орган 1 закріплений на валу 2 радіусом r_0 , який консольно закріплений на вертикальній стійці 3. Вал і стійка є жорсткими. Лінійна швидкість диска V_0 є порівняно невеликою, і питання про втрату пружної стійкості диска можна не розглядати. Зовнішні дії на диск з боку ґрунту 4 можуть бути враховані через коефіцієнт постелі, але цей вплив також є незначним і його несиметричність при реальних силових діях не призводить до виникнення вузлових діаметрів і, з іншого боку, дозволяє розглядати тільки власні коливання вузлових кіл. Динамічне рівняння поперечних коливань має вигляд для амплітудної функції:

$$\nabla^2 \nabla^2 \omega - \alpha^4 \omega = 0; \quad \alpha^2 = \Omega^2 \cdot \frac{12\rho(1-\nu^2)}{Ea^3}, \quad (28)$$

де $\nabla^2 \nabla^2$ – бігармонічний оператор у полярній системі координат:

$$\nabla^2 \nabla^2 \omega = \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{r^2 \partial \phi^2} - \alpha^2 \right) \cdot \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{r^2 \partial \phi^2} + \alpha^2 \right). \quad (29)$$

За відсутності вузлових діаметрів ($n = 0$) загальне розв'язання може бути представлене у вигляді [11]:

$$\omega(r) = C_1 J_0(\alpha r) + C_2 Y_0(\alpha r) + C_3 I_0(\alpha r) + C_4 K_0(\alpha r), \quad (30)$$

де $J_0(\alpha r)$, $I_0(\alpha r)$ – функції Бесселя першого роду нульового порядку; $Y_0(\alpha r)$, $K_0(\alpha r)$ – модифіковані функції Бесселя; C_i ($i = 1 - 4$) – константи інтегрування, що залежать від крайових умов:

$$\omega(r_0) = \frac{\partial \omega}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = 0; \quad \frac{\partial^2 \omega}{\partial r^2} \Big|_{r=R} = \frac{\partial^3 \omega}{\partial r^3} \Big|_{r=R} = 0. \quad (31)$$

Подальший аналіз та отримання власних частот порівняно нескладні, передбачають обчислення досить громіздких частотних рівнянь і застосування рекурентних формул для функцій Бесселя. Тому для дисків, в яких зовнішній діаметр більший порівняно з діаметром вала ($R \gg r_0$), доцільно застосувати метод Рітца і вибрати як мінімізаційну функцію для серединної лінії таку:

$$\omega(R) = \alpha (R - r_0)^\Psi, \quad (32)$$

де Ψ – параметр, значення якого підбирається з умови мінімуму частот коливань (А. Стодола).

Таким чином, враховуючи початкові умови, можна отримати значення відхилення краю диска ($r = R$) від початкового положення $\omega(R)$. Це відхилення бере участь у розширенні смуги обробки ґрунту b_c . Ця ширина стає рівною:

$$b_c = 2\omega(R) + a. \quad (33)$$

Крім того, поперечні коливання сприяють крихненню ґрунтових макроагрегатів і призводять до зменшення впливу агрегату на ґрунт, що дає змогу розширити смугу обробки [3; 4; 9–12; 14].

Процес розрізання стеблових залишків кукурудзи та дисковий робочий орган для його реалізації обґрунтовані і реалізовані нами в розробці комбінованого подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур [5; 13], досліджувалися раніше й були частково розглянуті в матеріалах конференцій і наукових виданнях [7; 8; 15–25].

Висновки. 1. Первинною функцією належить вважати вплив дискових робочих органів на листостеблові та кореневі залишки зібраної кукурудзи. Цей вплив полягає в розрізанні тих стебел, які потрапляють у зону дії ножів, а також у частковому їх повертанні. Вплив дискового робочого органа на листостеблові рослинні залишки суттєво змінює функцію розподілу рослинних залишків на поверхні поля $N(\phi)$.

2. Теоретично обґрунтовано динамічні властивості впливу дискового робочого органа на процес розрізання рослинних залишків кукурудзи.

3. У результаті досліджень впливу дискового органа на ґрунт доведено, що поперечні коливання сприяють кришенню ґрунтових макроагрегатів і призводять до зменшення впливу агрегату на ґрунт і розширення смуги обробітку.

4. Отримали подальший розвиток дослідження з обґрунтування розрізання стеблових залишків та дискових робочих органів, що застосовуються в комбінованих ґрунтообробних агрегатах для обробітку ґрунту після збирання кукурудзи.

Бібліографічний список

1. Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.
2. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Льченко Т. Д. Сільськогосподарські та меліоративні машини / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2004. 544 с.
3. Заяц О. М. Сівозміни: теоретичні основи, проектування та освоєння. Харків, 1999. 90 с.
4. Льченко В. Ю., Нагірний Ю. П. Машиновикористання в землеробстві. Київ: Урожай, 1996. 384 с.
5. Комбінований подрібнювач рослинних залишків грубостеблових культур з напрямними елементами: пат. 141263, Україна, МПК А 01 В 49/02 (2006.01). № u2019 10350; заявл. 15.10.2019; опубл. 25.03.2020, Бюл. № 6.
6. Корчак М. М., Єрмаков С. В. Дослідження характеру засміченості поля листостебельними та кореневими залишками після збирання кукурудзи. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*. Кам'янець-Подільський, 2007. Вип. 15. С. 498-504.
7. Корчак М. М. Обґрунтування параметрів дискового робочого органа для розрізання стебел кукурудзи. *Abstracts of XXXIV International Scientific and Practical Conference «Problems of the development of modern science»*, 30 August – 02 September 2022. Madrid, 2022. P. 319-326. doi: 10.46299/ISG.2022.1.34.
8. Корчак М. М. Розробка комбінованого способу та подрібнювача для ґрунту, засміченого рослинними залишками. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження*. 2009. № 13, т. 1. С. 155-163.
9. Лотоненко І. В., Литвинюк Р. С., Синявін В. Д. Обробітку ґрунту для різних ґрунтово-кліматичних зон України: навч. посіб. Харків, 1998. 54 с.
10. Мельник І. І., Бондар С. М. Аналіз умов використання ґрунтообробних комплексів у зоні Полісся України. *Механізація сільськогосподарського виробництва: збірник наукових праць Національного аграрного університету*. Київ: НАУ, 2001. Т. 10. С. 131-138.
11. Мельник І. І., Гречкосій В. Д., Марченко В. В. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу: навч. посіб. Київ: Вид. центр НАУ, 2001. 48 с.
12. Нагорний Н. Н. Технологии и технические средства почвозащитного контурно-мелиоративного земледелия. Киев: Урожай, 1994. 248 с.
13. Спосіб обробітку поля, засміченого рослинними залишками грубостеблових культур з вдосконаленням процесу розрізання стебел: пат. № 146178, Україна, МПК (2021.01), A01B 33/00, A01B 79/00. № u 2020 06391; заявл. 02.10.2020 р.; опубл. 20.01.2021 р., Бюл. № 3.
14. Сучасний стан земель України і заходи для його поліпшення / В. В. Медведєв, С. Ю. Булигін, Р. С. Трускавецький, Т. М. Лактіонова. *Вісник аграрної науки*. 1996. № 12. С. 5-13.
15. Development of rational technology for sodium glyceroxide obtaining / M. Korchak et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 5, No 6 (119). P. 16-25. doi: 10.15587/1729-4061.2022.265087.
16. Development of safe technology of obtaining fatty acid monoglycerides using a new catalyst / O. Bliznjuk, N. Masalitina, I. Mezentseva, T. Novozhylova, M. Korchak. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 2, No 6 (116). P. 13-18. doi: 10.15587/1729-4061.2022.253655.
17. Development of technology for the hemp stalks preparation / V. Sheichenko, I. Marynchenko, I. Dudnikov, M. Korchak. *Independent Journal of Management and Production*. 2019. Vol. 10, No 7. P. 687-701.
18. Development of transesterification model for safe technology of chemical modification of oxidized fats / M. Korchak et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 6, No 6 (120). P. 8-13. doi: 10.15587/1729-4061.2022.266931.
19. Features of weediness of the field by root residues of corn / M. Korchak, S. Yermakov, T. Hutsol, L. Burko, W. Tulej. *Environment. Technology. Resources: Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference*. Rezekne, 2021. Vol. 1. P. 122-126. doi: 10.17770/etr2021vol1.6541.
20. Korchak M. Characteristics and mechanical and technological properties of the soils of the Podillya and Polissya zone of Ukraine. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2022. Vol. 1, No 4. P. 92-101. doi: 10.46299/j.isjea.20220104.08.
21. Korchak M. Features of training masters in teaching the discipline «Management of technological processes in plant production». *International Science Journal of Education & Linguistics*. 2022. Vol. 1, No 4. P. 38-45. doi: 10.46299/j.isjel.20220104.07.
22. Korchak M. Justification of the constituent factors of production safety. *International Science Journal of Management, Economics & Finance*. 2022. Vol. 1, No 4. P. 9-16. doi: 10.46299/j.isjmef.20220104.05.
23. Korchak M. Substantiation of agrotechnical requirements for soil preparation for sowing grain crops. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2022. Vol. 1, No 3. P. 52-61. doi: 10.46299/j.isjel.20220103.5.
24. Korchak M. Use and quality assessment of test technologies in the educational process. *International Science Journal of Education & Linguistics*. 2022. Vol. 1, No 3. P. 57-63. doi: 10.46299/j.isjel.20220103.5.
25. Problems of field contamination when growing energy corn as monoculture / M. Korchak et al. *E3S Web of Conferences. 6th International Conference – Renewable Energy Sources*. Krynica, 2020. Vol. 154. doi: 10.1051/e3sconf/202015401009.

Стаття надійшла 29.09.2022