

УДК 631.312.024.001.63

## ОБГРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ КОТКА НА ПРОЦЕС УЩІЛЬНЕННЯ КОМБІНОВАНОГО СПОСОБУ ОБРОБІТКУ ПОЛЯ ПІСЛЯ ЗБИРАННЯ КУКУРУДЗИ

*Микола Корчак, к. т. н., доцент, Анатолій Рудь, к. т. н., доцент,  
Сергій Грушецький, к. т. н., доцент, Степан Замойський, к. т. н., доцент  
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/agroengineering2024.28.041>

### **Корчак М., Рудь А., Грушецький С., Замойський С. Обґрунтування впливу котка на процес ущільнення комбінованого способу обробітку поля після збирання кукурудзи**

При запропонованому комбінованому способі обробітку поля, засміченого рослинними залишками кукурудзи, послідовно здійснюються процеси: переріз довгих та грубих рослинних залишків; розподіл по рядках; ущільнення; подрібнення згорненої рослинно-земляної маси; вирівнювання обробленої поверхні ґрунту. Кожен процес сприяє кращому протіканню наступного.

Котки при запропонованому комбінованому способі обробітку поля після збирання кукурудзи здійснюють один із найважливіших технологічних процесів – ущільнення розрізаних та згорнених стебел по смугах обробітку, забезпечуючи при цьому більш ефективне протікання наступних процесів запропонованого способу.

Проведені теоретичні дослідження впливу котка на процес ущільнення розрізаних і згорнених рослинних залишків кукурудзи по смугах обробітку, зокрема обґрунтовано його основні технологічні параметри. Дослідження впливу котка на процес ущільнення рослинних залишків дають можливість його науково обґрунтувати.

Обґрунтовано основні технологічні параметри котка, враховуючи отримані раніше дослідні дані характеру засміченості поля рослинними залишками кукурудзи: діаметр котка  $D_k = 0,20 \dots 0,24$  м, ширина котка  $B_k = 0,20 \dots 0,25$  м.

Теоретично обґрунтований коток реалізований у розробці комбінованого подрібнювача рослинних залишків кукурудзи. Отримано подальший розвиток досліджень з обґрунтування ущільнення стеблових залишків та котків, що застосовуються в комбінованих ґрунтообробних агрегатах для обробітку ґрунту після збирання кукурудзи.

**Ключові слова:** коток, рослинні залишки кукурудзи, теоретичне обґрунтування, вплив на процес ущільнення, ґрунт.

### **Korchak M., Rud A., Hrushetskyi S., Zamoiskyi S. Justification of the influence of the roller on the process of compaction of the combined method of field cultivation after harvesting corn**

With the proposed combined method of cultivating fields with corn plant residues, several processes are carried out in sequence, namely cutting long and coarse plant residues, distributing them in rows, compacting the materials, crushing the compacted plant-earth mass, and leveling the treated soil surface. Each step is designed to improve the effectiveness of the subsequent processes.

The proposed combined method suggests that after harvesting corn rollers perform a crucial technological function - compacting the cut and rolled stalks along the cultivation lanes. This step ensures a more efficient flow of the subsequent processes in the proposed method.

Theoretical studies were conducted to examine how the roller impacts the compaction of cut and rolled corn plant residues along the cultivation strips. These studies helped establish the roller's main technological parameters based on experimental data regarding field clogging with corn plant residues.

The key technological parameters of the roller include a diameter ( $D_k$ ) of 0.20 to 0.24 meters and a width ( $B_k$ ) of 0.20 to 0.25 meters.

A theoretically justified roller has been incorporated into the design of a combined shredder for corn plant residues. Further research is needed to optimize the compaction of stem residues and rollers that are used in combined tillage units for soil cultivation following corn harvest.

**Keywords:** roller, plant residues of corn, theoretical justification, influence on the process of compaction, soil.

**Постановка проблеми.** Удосконалення способу обробітку поля, засміченого рослинними залишками кукурудзи після її збирання, здійснюється шляхом поєднання послідовних процесів впливу на рослинні залишки та ґрунт, що дозволяє забезпечити: якісний обробіток по-

ля, подрібнення і загорання рослинних залишків по всьому фронту ширини захвату за один прохід агрегату; ефективне використання енергії, що витрачається на привод засобів подрібнення залишків, а тим самим досягти можливості збільшення ширини захвату агрегату та

його продуктивності; залишити вирівняну поверхню поля. Реалізація цього способу полягає у розробленні та обґрунтуванні технологічних параметрів та режимів роботи комбінованого подрібнювача рослинних залишків завдяки дослідженню технологічних процесів.

При запропонованому комбінованому способі обробітку поля, засміченого рослинними залишками кукурудзи, послідовно здійснюються процеси: переріз довгих та грубих рослинних залишків; розподіл по рядках; ущільнення; подрібнення згорненої рослинно-земляної маси; вирівнювання обробленої поверхні ґрунту. Кожен процес сприяє кращому протіканню наступного.

Процес перерізу здійснює перерізування довгих та грубих стебел в міжряддях. Процес розподілу призначений для спрямування рослинних залишків з міжрядь на рядки посіву. Процес ущільнення забезпечує втрамбування згорнених рослинних залишків та сприяє кращому підготовленню до процесу подрібнення. Процес подрібнення здійснює подрібнення рослинних залишків і перемішування їх з ґрунтом. Процес вирівнювання забезпечує вирівнювання обробленої поверхні поля.

Технологія запропонованого способу відбувається таким чином. При переміщенні машини вздовж рядків поля після збирання кукурудзи розподільники рухаються в міжряддях, забезпечуючи процес розподілу розрізаних стебел в зони подрібнення (до рядків посіву), де вони разом з прикореневими залишками подрібнюються ножами фрезерних секцій і перемішуються з ґрунтом. Для перерізування довгих та грубих стебел, а також для запобігання забиванню розподільників встановлені плоскі дискові ножі, що забезпечують процес перерізу довгих та грубих рослинних залишків та подання їх на бокові стінки напрямних крил розподільників, якими вони вільно переміщуються. Далі відбувається втрамбування згорненої рослинної маси прикочувальними котками, що працюють по рядках посіву, забезпечуючи процес ущільнення. Після вищеписаних процесів відбувається процес подрібнення фрезерними барабанами, що працюють в зонах подрібнення. Ґрунт і рослинні залишки, що відкидаються ножами, за допомогою вирівнювальних щитків забезпечують процес вирівнювання поверхні поля.

Котки при запропонованому комбінованому способі обробітку поля після збирання кукурудзи здійснюють один із найважливіших технологічних процесів – ущільнення розрізаних та згорнених стебел по смугах обробітку, забезпечуючи при цьому більш ефективне протікання наступних процесів запропонова-

ного способу. Тому саме цей робочий орган, який реалізує технологічний процес, що він виконує, потребує теоретичних досліджень впливу на процес ущільнення рослинних залишків.

Теоретичні дослідження технологічного процесу впливу котка на процес ущільнення рослинних залишків дають можливість науково обґрунтувати конструктивні параметри котків. Дослідження потрібні у першу чергу для теоретичного аналізу роботи саме цих робочих органів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Пасивні робочі органи в комбінованих ґрунтообробних машинах удосконалюють фірми зарубіжних країн: Kongskilde, Kverneland, Dal – Vo, Franquet та ін. Вони впроваджують різні типи котків та вирівнювальні робочі органи із забезпеченням стабільної дії на ґрунт [1-6].

Наукові дослідження взаємодії з ґрунтом ущільнюючих пасивних робочих органів опубліковано в працях [7-9], де досліджуються технологічні параметри та ущільнюючий вплив різних типів котків. Такі котки задовільно працюють, однак є масивними та мають великий тяговий опір [1; 2; 10; 11]. Усе це зменшує можливості їхнього використання в енергоощадних комбінованих ґрунтообробних машинах.

Сьогодні котки використовуються в різних комбінованих ґрунтообробних машинах [2; 12-17]. Однак у публікаціях вітчизняних учених недостатньо обґрунтовано розміри котків залежно від умов і режимів роботи. Залишається недослідженою взаємодія котків з іншими типами робочих органів, не вивчено процес ущільнення рослинних залишків котками по рядках посіву кукурудзи та не встановлено умови надійного його виконання, відсутні рекомендації стосовно ефективності застосування котків в комбінованих подрібнювачах для обробітку ґрунту, засміченого рослинними залишками кукурудзи.

**Постановка завдання.** Наше завдання – теоретично обґрунтувати вплив котка на процес ущільнення рослинних залишків кукурудзи по смугах обробітку.

**Виклад основного матеріалу.** *Обґрунтування основних технологічних параметрів котка.* Робочим органом котка є циліндрична поверхня, а основні технологічні параметрами – діаметр і ширина. Коток ущільнює згорнену рослинну масу по рядках посіву кукурудзи. Щоб дослідити (виявити) дію котка на рослинні залишки, розглянемо його взаємодію із сформованим стебловим валком (рис.).

Від дії сили  $N$  на стебла виникають сили тертя  $F_2$  (див. рис.) між ободом котка і стебла-

ми, які направлені в сторону, зворотно напрямку руху котка. Защемлення стебел між котком і поверхнею поля проходить у тому випадку, коли

$$F_1 + F_2 \cdot \cos \alpha > N', \quad (1)$$

але  $N' = N \cdot \sin \alpha. \quad (2)$

$$F_2 = N \cdot \operatorname{tg} \varphi_2, F_1 = Q \cdot \operatorname{tg} \varphi_1. \quad (3)$$

$$Q = N'' + F_2 \sin \alpha = N \cdot \cos \alpha + N \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot \sin \alpha. \quad (4)$$

Провівши скорочення на  $N$ , і розділивши на  $\cos \alpha$ , одержимо:

$$\alpha \leq \frac{\operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi_2}{1 - \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2}, \text{ або } \operatorname{tg} \alpha \leq \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2). \quad (5)$$

Стебла не будуть переміщуватись перед котком за умови:

$$\alpha \leq \varphi_1 + \varphi_2. \quad (6)$$

де  $\alpha$  – кут між горизонталлю і дотичною до кола котка, проведений у точці дотику його із стеблами [18].

Кут  $\alpha$  залежить від висоти стебел  $h_{\text{заг.ст}}$  і діаметра котка  $D_{\kappa}$ .

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{\cos \alpha} = \frac{2\sqrt{hD_{\kappa} - h^2}}{D_{\kappa} - 2h}. \quad (7)$$

Відповідно

$$\operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2) \geq \frac{2\sqrt{hD_{\kappa} - h^2}}{D_{\kappa} - 2h}. \quad (8)$$

Знаючи кути тертя  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  та діаметр котка  $D_{\kappa}$ , можна визначити висоту стебел, які ущільнює коток, не переміщуючи їх вперед.

Кут обхвату обода котка:

$$\cos \alpha = \frac{(r - h)}{r} = \frac{(D_{\kappa} - 2h)}{D_{\kappa}} = 1 - \frac{2h}{D_{\kappa}}, \quad (9)$$

де  $D_{\kappa}$  – діаметр котка;  $h$  – глибина колії котка.

Задавши глибину колії котка і кут обхвату, можна визначити допустимий мінімальний діаметр котка

$$D_{\kappa} \geq \frac{2h_{\text{заг.ст}}}{(1 - \cos \alpha)}. \quad (10)$$

Отже, для ущільнення згорнутих стебел висотою  $h_{\text{заг.ст}}$  діаметр котка повинен задовольняти умову:

$$D_{\kappa} \geq h_{\text{заг.ст}} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}, \quad (11)$$

де  $h_{\text{заг.ст}}$  – загальна висота згорнутих стебел;  $\varphi_1, \varphi_2$  – відповідно кути тертя стебел до котка та ґрунту.

Враховуючи одержані раніше експериментальні дані стану засміченості та статистичну характеристику результатів досліджень, приймаємо діаметр котка в межах  $D_{\kappa} = 0,20 \dots 0,24$  м [19].

Ущільнюючу дію котка визначаємо за формулою:

$$P = 9,8 \cdot \frac{m}{b}, \quad (12)$$

де  $m$  – маса котка, кг;

$b$  – ширина котка, см;

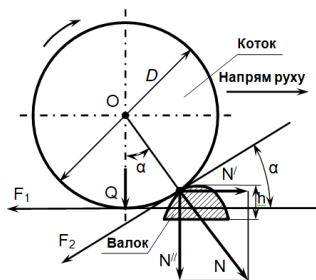
$P$  – питомий тиск, що припадає на 1см ширини котка, Н/см.

Мінімальне значення діаметра котка можна визначити за умовою недопущення намотування стебел на коток із співвідношення:

$$D_{\kappa} \geq \frac{l_{c \max}}{\pi}, \quad (13)$$

де  $D_{\kappa}$  – діаметр барабана котка, см;

$l_{c \max}$  – максимальна довжина стебел (одержані нами дослідні дані [19]), см.



**Рис.** Схема дії котка на згорнені стебла:  $h$  – висота валка згорнених стебел;  $D$  – діаметр котка;  $\alpha$  – кут між горизонталлю і дотичною до кола котка, проведений у точці дотику його із стеблами;  $N$  – сила, нормальна до поверхні котка в точці дотику із стеблами

**Fig.** Scheme of action of a rolling pin on rolled stems:  $h$  – height of the swath of rolled stems;  $D$  – diameter of the roller;  $\alpha$  – the angle between the horizontal and the tangent to the rolling circle drawn at the point of contact with the stems;  $N$  – force normal to the surface of the roller at the point of contact with the stems

Ширина котка дорівнює:

$$B_k = B_{фр} = d_k, \quad (14)$$

де  $B_{фр}$  – ширина фрези, см;  
 $d_k$  – діаметр кореневища (одержані дослідні дані), см.

Враховуючи одержані раніше експериментальні дані діаметрів кореневищ та їхню характеристику, приймаємо ширину котка в межах  $B_k = 0.20 \dots 0.25$  м [19].

Тяговий опір котка:

$$P_k = 0,86 \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{G^4}{g_o \cdot B_k \cdot D_k}}, \quad (15)$$

де  $G$  – сила тиску котка на рослинні залишки та ґрунт;  
 $g_o$  – коефіцієнт об'ємної деформації ґрунту.

Затрати потужності:

$$N_k = P_k \cdot V_n, \quad (16)$$

де  $P_k$  – тяговий опір котка;  
 $V_n$  – поступальна швидкість.

Процес ущільнення стеблових залишків кукурудзи та коток для його реалізації обґрунтовані та реалізовані нами у розробці комбінованого подрібнювача рослинних залишків кукурудзи [20; 21], досліджувалися раніше та були частково розглянуті в матеріалах конференцій та наукових виданнях [22-33].

**Висновки.** 1. Теоретично обґрунтовано вплив котка на процес ущільнення рослинних залишків кукурудзи по смугах обробітку.

2. Аргументовано основні технологічні параметри котка, враховуючи отримані нами раніше дослідні дані характеру засміченості поля рослинними залишками кукурудзи: діаметр котка  $D_k = 0,20 \dots 0,24$  м, ширина котка  $B_k = 0,20 \dots 0,25$  м.

3. Отримано подальший розвиток досліджень з обґрунтування ущільнення стеблових залишків та котків, що застосовуються в

комбінованих ґрунтообробних агрегатах для обробітку ґрунту після збирання кукурудзи.

### Бібліографічний список

1. Каталог фірми "Kvernelend" (Oferta produkcyjna), на польській мові, Toruń, 1998. 62 с.
2. Каталог фірми "Kongsilde" (Cennik), на польській мові, Kutno, 1999. 150 с.
3. Каталог фірми "Franquet" на англійській мові, Guignicourt, 1997. 4 с.
4. Каталог фірми "Dal – Bo" (Preisliste) на німецькій мові, Langendorf, Udbye Grafisk, 1999. 44 с.
5. Gach S. Maczyny rolnicze. Elementy teorii i obliczeń / Gach S., Kuczewski J., Waszkiewicz C. Warszawa: SGGW, 1991. 664 s.
6. Kuczewski J. Mechanizacja rolnictwa. Maczyny i urządzenia do produkcji roślinnej i zwierzęcej / Kuczewski J., Waszkiewicz C. Warszawa : SGGW, 1997. 552 s.
7. Woźniak W. Ciągniki i maszyny rolnicze. Budowa, przeznaczenie / Woźniak W. Poznań: PIMR, 2002. 905 s.
8. Шевченко І. А. Обґрунтування технологій та технічних засобів для обробітку ґрунтів на базі їх агрофізичних показників: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Київ, 2002. 36 с.
9. Залужний В. І., Грицишин М. І. Особливості компонування і використання ґрунтообробних комбінованих агрегатів з пасивними робочими органами. *Машиновипробування на службі прогресу машинобудування і сільськогосподарського виробництва: зб. наук. праць*. Дослідницьке: УкрНДІПВТ. 1997. С. 87–92.
10. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. Сільськогосподарські та меліоративні машини / за ред. Войтюка Д. Г. Київ: Вища освіта, 2004. 544 с.
11. Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. Сільськогосподарські машини.

Основи теорії та розрахунку / за ред. Войтюка Д.Г. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.

12. Лотоненко І. В. Обробіток ґрунту для різних ґрунтово-кліматичних зон України: навч. посібник / Лотоненко І. В., Литвинюк Р. С., Синявін В. Д.; Харк. держ. аграр. ун-т ім. В. В. Докучаєва. Харків, 1998. 54 с.

13. Ільченко В. Ю., Нагірний Ю. П. [та ін.]. Машиновикористання в землеробстві. Київ: Урожай, 1996. 384 с.

14. Медведєв В. В., Булигін С. Ю., Трускавецький Р. С., Лактіонова Т. М. та інші. Сучасний стан земель України і заходи для його поліпшення. *Вісник аграрної науки*. 1996. № 12. С. 5–13.

15. Нагорний Н. Н. Технологии и технические средства почвозащитного контурно-мелиоративного земледелия. Киев: Урожай, 1994. 248 с.

16. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу : навч. посібник. Укладачі: Мельник І.І., Гречкосій В.Д., Марченко В.В. та ін. Київ: Видавничий центр НАУ. 2001. 48 с.

17. Мельник І.І., Бондар С.М. Аналіз умов використання ґрунтообробних комплексів у зоні Полісся України. *Збірник наукових праць Національного аграрного університету "Механізація с/г. виробництва"*. Том X. Київ: НАУ, 2001. С. 131–138.

18. Заяц О. М. Сівозміни: теоретичні основи, проектування та освоєння. Харків, 1999. 90с.

19. 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.

20. Пат. № 152751, Україна, МПК (2006.01) А01В 49/02. Комбінований подрібнювач рослинних залишків грубостеблових культур зі шлейфовими робочими органами / Корчак М. М. № у 2022 03673; заявл. 03.10.2022; опубл. 05.04.2023, Бюл. № 14. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=284698> (дата звернення: 20.03.2024).

21. Пат. № 154183, Україна, МПК (2006.01) А01В 49/02. Комбінований подрібнювач рослинних залишків грубостеблових культур з регулюванням вирівнювальних робочих органів / Корчак М. М. № у 2023 01645. заявл. 12.04.2023; опубл. 18.10.2023, Бюл. № 42. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=286622> (дата звернення: 20.03.2024).

22. Корчак М. М. Обґрунтування параметрів дискового робочого органу 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, Spain 2022. С. 319–326. DOI – 10.46299/ISG.2022.1.34).

23. 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.

24. Korchak M., Yermakov S., Maisus V., Oleksiyo S., Pukas V., Zavadskaya I. Problems of field contamination when growing energy corn as monoculture. *E3S Web of Conferences*. Krynica, Poland. 6th International Conference – Renewable Energy Sources. 2020. Volume 154. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015401009>.

25. Sheichenko V., Marynchenko I., Dudnikov I., Korchak M. Development of technology for the hemp stalks preparation. *Independent Journal of Management and Production.State agrarian and engineering university in Podilia*. 2019. V. 10, № 7. P. 687–701.

26. Korchak M., Yermakov S., Hutsol T., Burko L., Tulej W. Features of weediness of the field by root residues of corn. *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference*. 2021. Rezekne, Latvia, Volume 1. P. 122–126. DOI: 10.17770/etr2021vol1.6541.

27. Bliznjuk O., Masalitina N., Mezentseva I., Novozhylova T., Korchak M. Development of safe technology of obtaining fatty acid monoglycerides using a new catalyst. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022. Volume 2, № 6 (116), P. 13–18. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253655>

28. Korchak M. Use and quality assessment of test technologies in the educational process. *International Science Journal of Education & Linguistics*. National Centre for Poland, Poland. 2022. Volume 1, № 3. P. 57–63 (2022). DOI: <https://doi.org/10.46299/j.isjel.20220103.5>

29. Korchak M. Substantiation of agrotechnical requirements for soil preparation for sowing grain crops. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. National Centre for Poland, Poland. 2022. Volume 1, № 3. P. 52–61. DOI: <https://doi.org/10.46299/j.isjel.20220103.5>

30. 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*. National Centre for Poland, Poland. 2022. Volume 1, № 4. P. 92–101. DOI: <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20220104.08>

31. Korchak M. Features of training masters in teaching the discipline "Management of technological processes in plant production". *International Science Journal of Education & Linguistics*. National Centre for Poland, Poland. 2022. Volume 1, № 4. P. 38–45. DOI: <https://doi.org/10.46299/j.isjel.20220104.07>

32. Korchak M. Justification of the constituent factors of production safety. *International Science Journal of Management, Economics &*

*Finance*. National Centre for Poland, Poland. 2022. Volume 1, № 4. P. 916. DOI: <https://doi.org/10.46299/j.isjmef.20220104.05>

33. Korchak M., Bliznjuk O., Nekrasov S., Gavrish T., Petrova O., Shevchuk N., Strikha L., Kostyrkin O. Semenov, E. Saveliev D. Development of rational technology for sodium glyceroxide obtaining. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Volume 5, № 6 (119), P. 16-25. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265087>.

*Стаття надійшла 12.04.2024*