





original article | UDC 633.522 | doi: 10.31210/visnyk2022.02.35


ANALYSIS OF THE OPERATION OF THE BLADES OF THE SKATING RINK – CHOPPER IN THE CONDITIONS OF ITS ROLLING ON THE GROUND
V. Sheichenko^{1*}

 ORCID  [0000-0003-2751-6181](https://orcid.org/0000-0003-2751-6181)
V. Volskyi²

 ORCID  [0000-0002-7639-4216](https://orcid.org/0000-0002-7639-4216)
R. Kotsiubanskyi²

 ORCID  [0000-0002-4114-3951](https://orcid.org/0000-0002-4114-3951)
Y. Skoriak¹

 ORCID  [0000-0001-9220-1827](https://orcid.org/0000-0001-9220-1827)
N. Priliepo^{1*}

 ORCID  [0000-0002-4182-7405](https://orcid.org/0000-0002-4182-7405)
¹ Poltava State Agrarian University, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36003, Ukraine

² National Scientific Center «Institute of Agricultural Engineering and Electrification», 11, Vokzalna str., 08631, Hlevakha, Ukraine

*Corresponding author

E-mail: vsheychenko@ukr.net, nataliia.pryliepo@pdaa.edu.ua

How to Cite

Sheichenko, V., Volskyi, V., Kotsiubanskyi, R., Skoriak, Y., & Priliepo, N. (2022). Analysis of the operation of the blades of the skating rink – chopper in the conditions of its rolling on the ground. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (2), 296–306. doi: 10.31210/visnyk2022.02.35

One of the most promising ways of solving the problem of quality of the technological process of interaction of knives with the vegetative-soil environment is a theoretical analysis of grinder roller blade work under the conditions of its rolling on the soil. The quality of work of grinder roller largely depends on the correct choice of their rational parameters and modes of operation, which are completely determined not only by its design features, but also operating conditions. The process of interaction of the grinder roller blade with the vegetative-soil environment was investigated by an analytical method. It is noted that under conditions when the number of rows of knives in the roller design and their parameters allow approximately the same value of the length of the circle between the tips of the knives with its height (maximum value of immersion depth of the knife in the soil environment), there is a variant of center and lifting. This is possible when the contact with the soil environment is continuous. The noted features of the movement of the center C will take place both at a small depth of immersion of knives in the plant-soil environment, and at significant depth values. The influence of the angle β (the angle between the velocity vector of the point K and the vertical) on the conditions of penetration of the knife into the plant-soil environment is established. Under the conditions of coincidence of the direction of installation of the knife with the radius of the drum, dependence was established, according to which the influence on the angle β of design parameters (drum radius r_{δ} , knife width h_H , angle φ) and technological parameter h_1 , which determines the distance from the point K to the horizontal line of the greatest penetration of knives into the plant-soil environment. Under the conditions of displacement by the angle γ' of the direction of installation of the knives relative to the radius of the drum of the roller in the direction coinciding with the direction of rotation of the drum, the dependence, according to which the influence on the angle β' (the angle between the vertical and the direction of the speed of the end point of the knife K'), design parameters (drum radius r_{δ} , knife width h_H , angles φ and γ'), as well as the technological parameter h_1 , which determines the distance from the point K' to the horizontal line of the greatest penetration of knives into the plant-soil environment.

Key words: roller-shredder, roller knives, penetration conditions, plant-soil environment.

АНАЛІЗ РОБОТИ НОЖІВ КОТКА-ПОДРІБНЮВАЧА ЗА УМОВИ ЙОГО КОЧЕННЯ ПО ҐРУНТУ

В. О. Шейченко¹, В. А. Вольський², Р. В. Коцюбанський², Ю. Б. Скоряк¹, Н. В. Прілепо¹

¹ Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

² Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН України, смт Глеваха, Україна

За допомогою аналітичного способу досліджено процес взаємодії ножа котка-подрібнювача із рослинно-ґрунтовим середовищем. Розглянуто варіант коливального руху центру S котка у поздовжньо-вертикальній площині за умови незначної довжини барабану та його порівняно невисокій вазі. Відмічено, що за умов, коли кількість рядів ножів у конструкції котка та їх параметри уможливають приблизно однакове значення довжини кола між верхівками ножів із його висотою (максимальним значенням глибини занурення ножа у рослинно-ґрунтове середовище), спостерігається варіант руху центру мас S у вигляді почергового опускання та піднімання. Це можливо, коли контакт із рослинно-ґрунтовим середовищем відбувається безперервно. Відмічені особливості руху центру S будуть мати місце як за умови невеликої глибини занурення ножів у рослинно-ґрунтове середовище, так і при значних значеннях глибини. Встановлено вплив кута β (кут між вектором швидкості точки K і вертикаллю) на умови проникнення ножа в рослинно-ґрунтове середовище. За умови збігу напрямку встановлення ножа із радіусом барабана встановлено залежність, згідно з якою з'ясовано вплив на кут β конструкційних параметрів (радіуса барабана r_0 , ширини ножа h_n , кута φ) та технологічного параметру h_1 , яким визначено відстань від точки K до горизонтальної лінії найбільшого проникнення ножів у рослинно-ґрунтове середовище. За умов зміщення на кут γ' напрямку встановлення ножів відносно радіуса барабана котка у бік, що збігається із напрямком обертання барабану, встановлено залежність, згідно з якою з'ясовано вплив на кут β' (кут між вертикаллю та направленням швидкості прикінцевої точки ножа K'), конструкційних параметрів (радіуса барабана r_0 , ширини ножа h_n , кутів φ та γ'), а також технологічного параметру h_1 , яким визначено відстань від точки K' до горизонтальної лінії найбільшого проникнення ножів у рослинно-ґрунтове середовище.

Ключові слова: коток-подрібнювач, ножі котка, умови проникнення, рослинно-ґрунтове середовище.

Вступ

Технологічні операції подрібнення рослинних матеріалів і часткове їх загортання у ґрунт здійснюють спеціальними машинами [1]. Коток-подрібнювач у моноваріанті, а також у поєднанні з дисковою бороною надзвичайно ефективною знаряддя для виконання вищезазначених задач [1]. Якість виконання технологічного процесу взаємодії ножів із рослинно-ґрунтовим середовищем значною мірою визначається дотриманням базових вимог, що висуваються при проектуванні нових машин і знарядь [1]. До найбільш визначальних відносять урахування залежності якісних показників від технологічних параметрів [1–2]. Одним із найбільш перспективних шляхів вирішення зазначеної проблеми є теоретичний аналіз роботи ножів котка-подрібнювача за умов його кочення по ґрунту.

Якість роботи котків-подрібнювачів переважно залежить від правильного вибору їх раціональних параметрів і режимів роботи, які повністю визначаються не тільки конструкційними особливостями, але й умовами експлуатації [3–5].

Зміни в широкому діапазоні більшості властивостей рослинного матеріалу навіть за умов того самого поля є тим причинно-наслідковим чинником, що обумовлює якість роботи [6–8].

Відмітимо відсутність у вищенаведених публікаціях кількісного оцінювання показників якості виконання операцій подрібнення грубостеблових культур у всьому діапазоні розмірів рослинних решток, а також орієнтацію статей на аналіз результатів експериментальних досліджень.

У статті [9] наведено результати досліджень машинно-тракторного агрегату, який одночасно виконує технологічні операції подрібнення і загортання ґрунтом рослинних залишків (соняшникова стерня). Першу операцію здійснюють завдяки подрібнювачу рослинних залишків, встановленого спереду. Проте поза увагою авторів залишилися питання визначення впливу на якість подрібнення рослинних решток швидкості руху агрегату.

У дослідженнях [10–12] відмічено, що повернення та глибоке закопування сільськогосподарської соломи у ґрунт є ефективним способом використання та переробки ресурсу соломи, зменшення забруднення та підвищення родючості ґрунту. Автори статті [13–14] розробили комбінований агрегат для глибокого боронування, подрібнення стерні, перевертання та закопування подрібненої соломи. За результатами статистичного аналізу зроблено висновок, що швидкість обертання лопаті, що руйнує стерню, не впливала на опір обробці ґрунту. Проте поза увагою авторів залишилися питання теоретичного обґрунтування конструкційних схем подрібнювачів.

Для поліпшення якості роботи та зменшення енерговитрат машини на подрібнення соломи запропоновано схему та механізм роботи двокаткового культиватора [15]. У роботі [16] на підставі розробленої математичної моделі проаналізовано умови взаємодії стебла із сошником. Запропоновано два види можливих варіантів розташування ножів, що створює передумови проектування нового типу вузькосмугових роторних культиваторів та подрібнювачів рослинних решток. Проте поза увагою авторів залишилося питання аналізу різних варіантів встановлення ріжучих ножів на барабані та відповідно теоретичний аналіз особливостей взаємодії ножів із рослинно-ґрунтовим середовищем.

Мульчувачі або котки-плющилки в соло варіанті, незважаючи на їх високу ефективність у руйнуванні стебел, навпаки не мають вищенаведені додаткові переваги [17]. Навпаки, їх безсистемне застосування може привести до накопичення великих мас рослинних решток на поверхні ґрунту, що сповільнює його прогрівання навесні [18–20].

Мета досліджень – підвищення ефективності функціонування подрібнювачів рослинної маси завдяки аналізу роботи ножів котка-подрібнювача за умов його кочення по ґрунту.

Матеріали і методи досліджень

За результатами інформаційно-аналітичних досліджень технологічного процесу подрібнення і зароблення рослинних решток у ґрунт визначено такі задачі досліджень:

– встановити аналітичну залежність впливу на кут між вертикаллю та напрямком швидкості прикінцевої точки ножа K конструкційних та технологічних параметрів за умов збігу напрямку встановлення ножа із радіусом барабана;

– встановити аналітичну залежність впливу на кут між вертикаллю та напрямком швидкості прикінцевої точки ножа K' конструкційних та технологічних параметрів за умов зміщення на кут γ' напрямку встановлення ножів відносно радіуса барабана котка у бік, що збігається із напрямком обертання барабану.

Методи досліджень – теоретичні дослідження проведено із застосуванням методів теоретичної механіки, теорії механізмів і машин, математичного моделювання.

Результати досліджень та їх обговорення

Розроблені котки-подрібнювачі рослинних решток є відомими конструкціями. Такі конструкції здійснюють кочення у поздовжньо-вертикальній площині. Коток оснащено двома барабанами діаметром 330 мм. Кожний барабан містить шість рядів ножів довжиною 505 мм і шириною 76 мм. Кількість ножів у кожному ряді барабана складає 4 шт. Кут загострення ножа складає 30° . Конструкція котка передбачає можливість встановлення ножів як паралельно осі барабана, так і з кутом нахилу 10° – 12° до неї.

Під час руху котка-подрібнювача кожен барабан з ножами обертається навколо своєї осі. Кожна вісь жорстко з'єднана із конструкцією рами. За таких умов уможливіється однакова висота розташування ножів від поверхні за умови переміщення котка по ґрунту. Так працює коток за умов жорсткого з'єднання осей барабанів один з одним. Характер руху змінюється, якщо розглядати окремо рух кожного барабану, вісь якого не зв'язана з тримачем осей.

Розглянемо рух за умови невеликого занурення ножів у рослинно-ґрунтове середовище. Представимо барабан з ножами, що рухається ліворуч по рівній однорідній поверхні ґрунту. ґрунт не містить твердих включень (каміння). Швидкість центру тяжіння C барабану позначимо V_c . Внаслідок дії сили тяжіння G барабану один ніж заглиблюється в рослинно-ґрунтове середовище на глибину h_0 . Миттєвим центром обертання барабана (точка, швидкість якої в даний момент дорівнює нулю) буде нижня точка C_v . Дійсно, точка C_v найглибше занурилася у ґрунт і їй швидко найважче миттєво

змінити своє положення. За умов, що C_v є миттєвим центром обертання, радіусом обертання буде лінія $C \cdot C_v$. Тоді кутова швидкість обертання ножа буде ω_n , буде дорівнювати

$$\omega_n = \frac{C_v}{C \cdot C_v}, \quad (1)$$

де $C \cdot C_v$ – відстань від точки C до точки C_v .

Відмітимо, що рух ліворуч барабану обумовлює відповідний рух усіх його точок. Наприклад, точка D набуде швидкості V_D , точка B – V_B , точки K – V_K . Ці швидкості будуть дорівнювати

$$\begin{cases} V_D = \omega_n \cdot C_v \cdot D \\ V_B = \omega_n \cdot C_v \cdot B \\ V_K = \omega_n \cdot C_v \cdot K \end{cases} \quad (2)$$

де $C_v \cdot D$ – відстань від точки C_v до точки D , $C_v \cdot B$ – відстань від точки C_v до точки B , $C_v \cdot K$ – відстань від точки C_v до точки K .

Відмітимо, що $C_v \cdot D$, $C_v \cdot B$, $C_v \cdot K$ – є радіусами обертання точок D , B і K .

Аналізуючи залежності (2), відмітимо, що швидкість точки тим більша, чим більше радіус її обертання, тобто, чим більша відстань від точки C_v . Врахуємо, що положення миттєвого центру обертання (точки C_v) певний період під час руху котка не змінюється. Внаслідок цього, центр мас барабану C повинен дещо опуститися (рис. 1). Нове положення точки C буде C'_1 , що характеризує її переміщення ліворуч за умови відповідного переміщення котка. Дуга $C \cdot C'_1$ – траєкторія переміщення точки C на початку переходу ножа із барабаном із положення $C \cdot C_v$ у положення $C_v \cdot C'_1$.

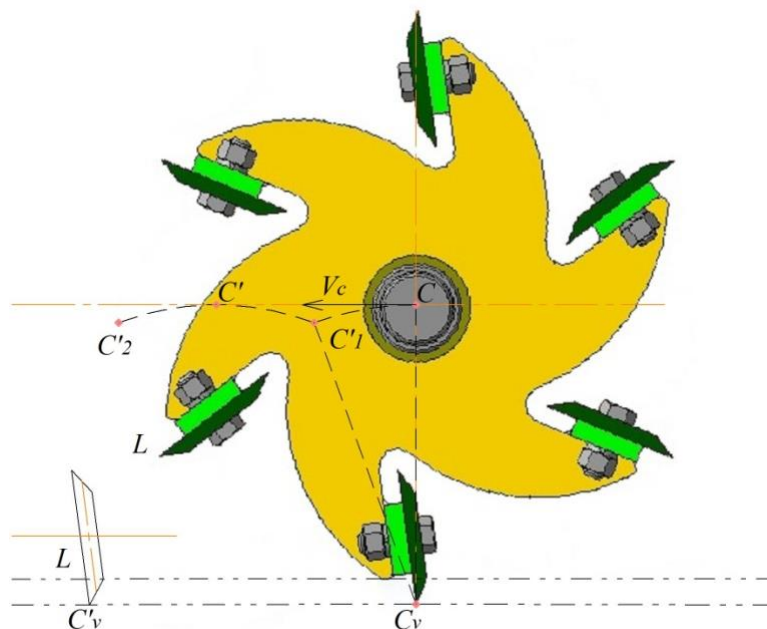


Рис. 1. Схема, що ілюструє коливальний рух центру C котка у поздовжньо-вертикальній площині

За час цього переміщення ніж L також здійснить обертання проти годинникової стрілки і разом із барабаном повернеться навколо точки C_v . За таких умов, точка L (кінець ножа L) зі швидкістю $V_L = \omega_n \cdot L \cdot C_v$ переміститься у положення C'_v , яке буде миттєвим центром обертання ножа L .

У разі обертання ножа $L \cdot C'_v$ навколо точки C'_v , відмічений ніж із положення $L \cdot C'_v$ вийде догори і ліворуч, а точка C'_v центр барабану спрямується також ліворуч і догори у положення C'_1 . Туди ж переміститься і центр барабану після того, як ніж $L \cdot C$ набуде вертикального положення.

Відмітимо, що вищезазначене характеризує особливості переміщення усіх ножів котка. Тобто рух центру C барабану не є рухом чисто по прямій лінії. Його можна охарактеризувати як коливальний рух у поздовжньо-вертикальній площині траєкторіями $C \cdot C'_1$, $C'_1 \cdot C_1$, $C_1 \cdot C'_2$ та інше.

Почергове змінення положення центру C буде залежати від кількості рядів ножів, глибини занурення ножів у рослинно-грунтове середовище. Ця глибина в загальному випадку буде визначатися параметрами ножа (шириною), товщиною шару рослинного матеріалу, твердістю ґрунту. За умови, коли кількість рядів ножів у конструкції котка і їх параметри уможливають приблизно однакове значення довжини кола між верхівками ножів із його висотою (максимальним значенням глибини занурення ножа у рослинно-грунтове середовище), спостерігається варіант руху центру мас C у вигляді почергового опускання та піднімання. Це можливо, коли контакт із рослинно-грунтовым середовищем відбувається безперервно. Один ніж закінчує фазу виходу із середовища, а інший відразу розпочинає. За умови, коли відстань між верхівками ножів перевищує ширину ножа, після закінчення фази контакту ножа із рослинно-грунтовым середовищем центр C повернеться до положення, яке характеризується стійким прямолінійним рухом по деякій прямій лінії. Як тільки ніж котка досягне положення початку взаємодії із рослинно-грунтовым середовищем, відповідно і центр C почне змінювати напрямок руху до низу відносно того стану, що існував.

Вищенаведені особливості руху центру C будуть мати місце як за невеликої глибини занурення ножів у рослинно-грунтове середовище, так і за значних значень глибини.

Відмітимо, що за умови повороту барабану котка на 360° верхівки ножів опишуть 6 хорд кола радіусом $C \cdot C_v$. Відстань $L \cdot C_v$ є основою рівнобедреного трикутника $C \cdot C_v \cdot L$ з кутом $\angle L \cdot C \cdot C_v = \varphi$. Тоді

$$C_v \cdot L = 2 \cdot C \cdot C_v \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \quad (3)$$

Загальна довжина L_k шести таких хорд складе

$$L_k = 6 \cdot 2 \cdot C \cdot C_v \cdot \sin \frac{\varphi}{2} = 12 \cdot R_n \cdot \sin \frac{\varphi}{2}, \quad (4)$$

де R_n – радіус $C \cdot C_v$, у загальному випадку визначається як $R_n = r_0 + h_n$,

де r_0 – радіус барабана котка,

h_n – висота ножа (рис. 2).

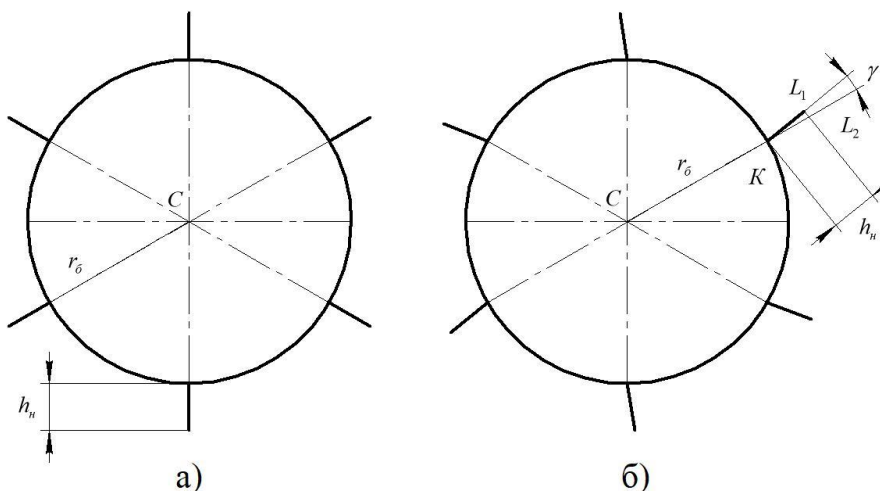


Рис. 2. Схема барабана котка-подрібнювача із встановленими ножами на продовженні радіусів барабану (а) та повернутих у бік обертання барабану на кут γ' (б)

У разі встановлення ножів котка під певним кутом γ' до радіуса барабана, R_n буде визначатися

$$R_n = r_o + h_n \cdot \cos \gamma', \quad (5)$$

де γ' – кут встановлення ножа відносно напрямку радіуса барабана.

За умови шести рядів ножів на барабані кут $\varphi = 60^\circ$. Тоді $L_k = 12 \cdot R_n \cdot \sin 30^\circ = 6 \cdot R_n$, а довжина кола $L_0 = 2 \cdot \pi \cdot R_n = 6,2831 \cdot R_n$. Величина L_0 більша за L_k на $0,2831 \cdot R_n$.

У відсотковому співвідношенні це буде $(0,2831/6,2831) \cdot 100 \approx 4,51\%$. Тобто сума хорд кола радіусом R_n за шести рядів ножів на барабані буде на 4,51 % менша довжини кола радіусом R_n . За умов 8 рядів

$$\sin \frac{\varphi_8}{2} = 0,3824, L_{k_8} = 6,1232 \cdot R_n, \Delta L = L_0 - L_{k_8} = 6,2831 \cdot R_n - 6,1232 \cdot R_n = R_n \cdot 0,1599.$$

Співвідношення $\Delta L/L_0 = 0,1599/6,2831 \approx 2,54\%$. За умов 10 рядів це співвідношення складатиме 1,64 %, дванадцяти рядів – 1,14 %.

Загалом у разі встановлення n рядів ножів кут φ між їхніми напрямками буде складати $360^\circ/n$ градусів, або $2 \cdot \pi/n$ радіан. А довжина суми хорд буде визначатися

$$L_{k_n} = 2 \cdot \pi \cdot R_n \cdot \sin \frac{\pi}{n}. \quad (6)$$

Вищенаведений варіант коливального руху центру C котка характерний для незначної довжини барабану, його порівняно не високій вазі. У разі, коли барабан котка довантажують вертикальною вагою, центр C буде мати швидкість V_c , що буде спрямована горизонтально. За таких умов радіус $C \cdot C_v$, вертикальний, точка C_v є миттєвим центром обертання і розташована на нижній кромці ножа. Переміщення ліворуч центру котка C призводять до відповідного зміщення умовного радіуса ножа $C \cdot C_v$. Точка C буде залишатися на прямій горизонтальній лінії $C \cdot C'$, а нижня точка ножа буде виходити (підніматися догори і дещо змішуватися ліворуч) із рослинно-грунтового середовища.

За таких умов буде мати місце наближена рівність $C \cdot C_v \approx C' \cdot A_1$. Одночасно з переміщенням ножа на радіусі $C \cdot C_v$ відбувається переміщення ножа на радіусі $C \cdot K$, який займе проміжне положення $C' \cdot A_2$. Рух ножа на радіусі $C \cdot K$ буде відбуватися донизу до досягнення точкою K положення C_{v_1} . Тобто $C \cdot C_v = C'_1 \cdot C_{v_1}$. Повна глибина проникнення ножа у рослинно-грунтове середовище буде у разі, коли відповідні радіуси ножів займуть вертикальне положення.

Відмітимо, що як у першому розглянутому варіанті, так і у другому ножі в положенні, близькому до вертикального, проникають у рослинно-грунтове середовище і заглиблюються в нього.

Загалом збільшення глибини проникнення ножів у рослинно-грунтове середовище призводить до відповідного зростання навантаження на них, оскільки значно збільшується площа рослинно-грунтового руйнування.

Відмітимо, що в загальному випадку взаємодія ножа відбувається спочатку із рослинами, а потім ґрунтовим середовищем. Товщина шару рослинного середовища залежить від урожайності культури, забур'яненості, способу збирання культури, технології її вирощування.

Орієнтуючись на функціональне призначення котка-подрібнювача, зробимо висновок щодо доцільності його застосування у таких умовах, коли глибина проникнення ножів у ґрунт буде мінімальною. Умову подрібнення рослинного матеріалу за таких умов буде забезпечено.

На рисунку 3 наведено вектор швидкості точки $K \cdot V_k$, спрямований під кутом β до вертикалі. Встановимо вплив цього кута на умови проникнення ножа в рослинно-грунтове середовище. Трикутник $\Delta K \cdot C_v \cdot C_{v_1}$ подібний $\Delta K \cdot C_v \cdot A'_2$, а кути $\angle K \cdot C_v \cdot C_{v_1} = \angle A'_2 \cdot K \cdot C_{v_1} = \beta$.

Тангенс кута β дорівнює $tg \beta = (K \cdot C_{v_1}) / (C_v \cdot C_{v_1})$. Тоді

$$\beta = \arctg \frac{K \cdot C_{v_1}}{C_v \cdot C_{v_1}}, \quad (7)$$

де $K \cdot C_{v_1}$ – відстань від точки K ножа до горизонтальної лінії $C_v \cdot C_{v_1}$, а $C_v \cdot C_{v_1}$ – відстань між точками найнижчого положення ножів C_v і C_{v_1} . Відмітимо, що найбільш ефективний результат відбувається за умов найменшого відхилення від вертикального положення швидкості V_K у момент початку взаємодії із рослинним середовищем.

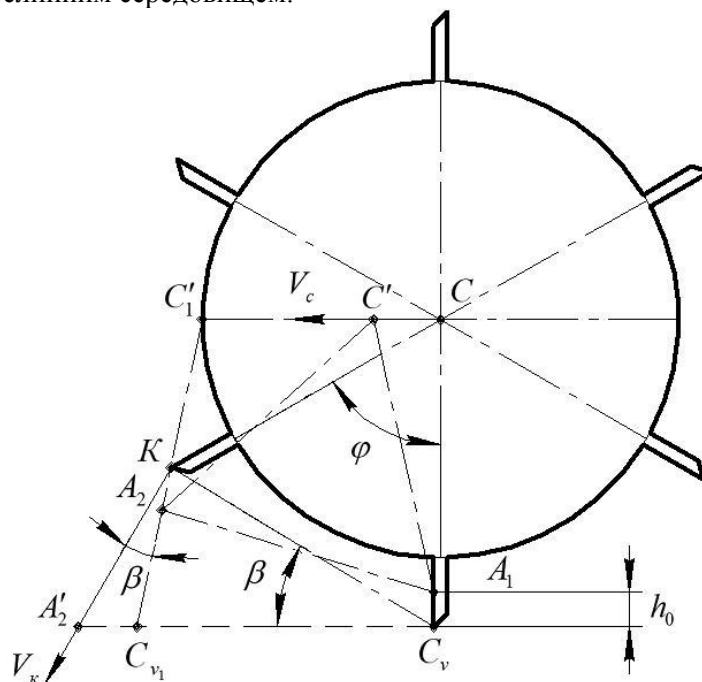


Рис. 3. Схема проникнення у рослинно-грунтове середовище ножа, встановленого на продовженні радіуса барабану

Проаналізуємо цю ситуацію для двох випадків:

1) У першому варіанті напрямок встановлення ножа збігається з напрямком радіуса барабана котка. За таких умов $C \cdot C_v = R_n = r_o + h_n$.

2) За другим варіантом відбувається зміщення напрямку встановлення ножа на кут γ' в бік обертання барабана $C \cdot C_v = R_n = r_o + h_n \cdot \cos \gamma'$.

Із $\Delta K \cdot C \cdot C_v$ знаходимо

$$K \cdot C_v = 2 \cdot R_n \cdot \sin \frac{\varphi}{2}. \quad (8)$$

Тут кут φ – кут між напрямками встановлення ножів $C \cdot C_v$ і $C \cdot K$. Позначимо відстань $K \cdot C_{v_1}$ через h_1 (h_1 – це відстань точки K від лінії найбільшого проникнення ножів $C_v \cdot C_{v_1}$). Тоді

$$h_1 = \sqrt{(K \cdot C_v)^2 - (C_v \cdot C_{v_1})^2}. \quad (9)$$

Внаслідок простих перетворень отримаємо

$$\beta = \arccos \sqrt{1 - \left[\frac{h_1}{2 \cdot (r_o + h_n) \cdot \sin \frac{\varphi}{2}} \right]^2}. \quad (10)$$

На рисунку 4 побудовано залежність змінення кута β від радіуса барабана r_6 за $h_n = 8$ см, $\varphi = 60^\circ$ та значень h_1 : 1 – 10 см, 2 – 11 см, 3 – 12 см, 4 – 13 см. На рисунку 5 побудовано залежність змінення кута β від кута φ (кількості рядів ножів на барабані) за $h_n = 8$ см, $h_1 = 11$ см, радіуса барабана r_6 : 1 – 15 см, 2 – 20 см, 3 – 30 см, 4 – 40 см

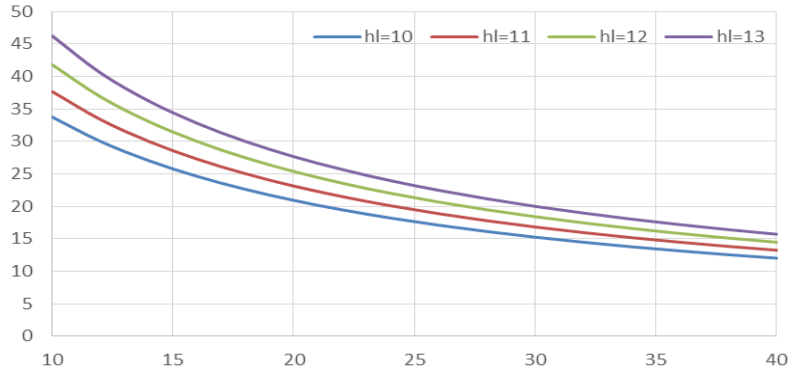


Рис. 4. Залежність змінення кута β від радіуса барабана r_6 за $h_n = 8$ см, $\varphi = 60^\circ$ та значень h_1 : 1 – 10 см, 2 – 11 см, 3 – 12 см, 4 – 13 см

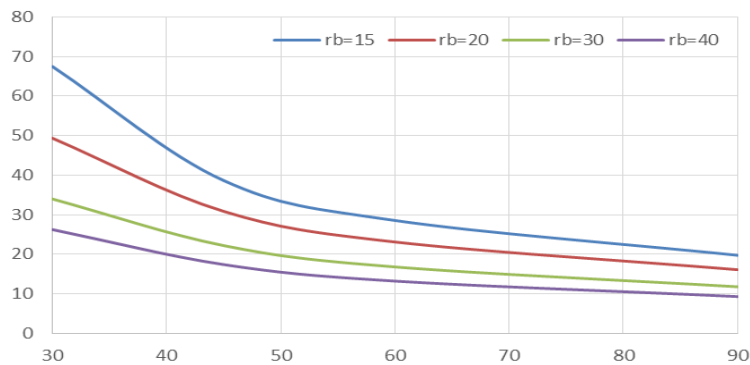


Рис. 5. Залежність змінення кута β від кута φ (кількості рядів ножів на барабані) за $h_n = 8$ см, $h_1 = 11$ см, радіуса барабана r_6 : 1 – 15 см, 2 – 20 см, 3 – 30 см, 4 – 40 см

Аналізуючи залежність (10), відмітимо, що кут β буде тим менше, чим менше значення h_1 . За рівності кута β нулю, швидкість V_k точки K буде спрямовано по вертикалі. Такий напрямок швидкості проникнення ножа в рослинно-грунтове середовище уможливить зменшення сил тертя.

Проаналізуємо варіант встановлення ножа під певним кутом γ' до напрямку умовного радіуса, на кінці якого встановлено ніж (рис. б).

На рисунку 6 наведено схему котка із встановленими під кутом γ' ножами. Кількість рядів ножів – шість. Центр мас котка C' переміщується ліворуч зі швидкістю V_c' .

Проаналізуємо положення повернутого ножа в рослинно-грунтовому середовищі за умови, коли перпендикуляр, що з'єднує задню стінку кріплення ножа до барабана із центром C' , займе вертикальне положення.

Глибина проникнення в рослинно-грунтове середовище складає h'_0 . Пряма $K' \cdot C'_v$ з'єднує крайні нижні точки ножа K' і C'_v і нахилена під кутом β' , який дорівнює куту нахилу вектора швидкості V'_k точки K' .

Відстань

$$C' \cdot C''_v = r_6 + h_n \cdot \cos \gamma', \quad (11)$$

$$C''_v \cdot C'_v = h_n \cdot \sin \gamma' \quad (12)$$

представляє собою горизонтальне зміщення нижньої кромки ножа C'_v від вертикальної лінії $C' \cdot C''_v$.

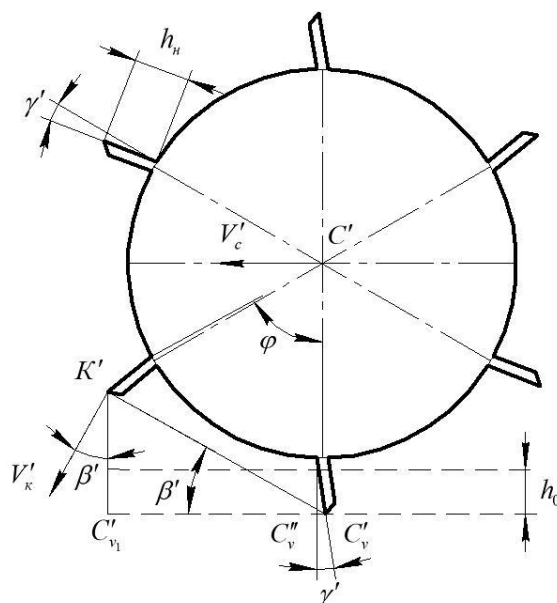


Рис. 6. Схема взаємодії ножа, зміщеного на кут γ' у бік обертання барабана, із рослинно-ґрунтовим середовищем

Провівши аналогічні вищенаведеним перетворення, отримаємо

$$\beta' = \arccos \sqrt{1 - \left(\frac{h'_1}{2 \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \sqrt{(r_{\sigma} + h_n)^2 + 2 \cdot r_{\sigma} \cdot h_n \cdot (\cos \gamma') - 1}} \right)^2}. \quad (13)$$

На рисунку 7 побудовано залежність змінення кута β' від радіуса барабана r_{σ} за $h_n = 8$ см, $\varphi = 60^\circ$ та значень $h_1 = 11$: 1 – 10 см, 2 – 11 см, 3 – 12 см, 4 – 13 см, а на рисунок 7 залежність змінення кута β' від кута φ (кількості рядів ножів на барабані) за $h_n = 8$ см, $h_1 = 11$ см, радіуса барабана r_{σ} : 1 – 15 см, 2 – 20 см, 3 – 30 см.

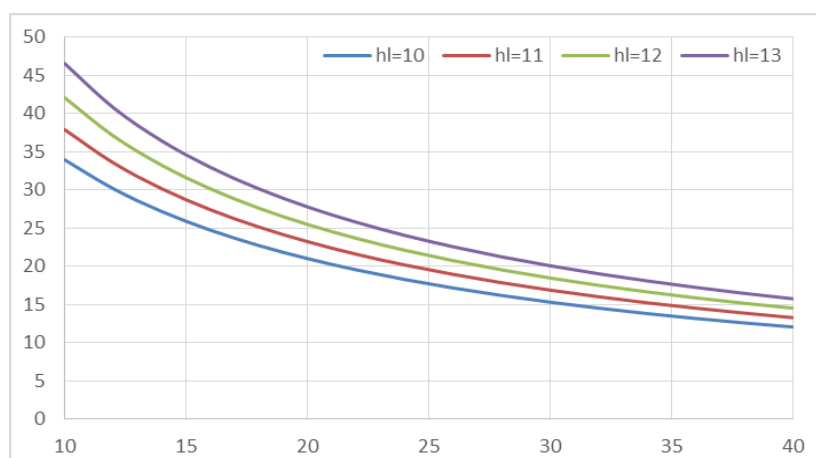


Рис. 7. Залежність змінення кута β' від радіуса барабана r_{σ} за $h_n = 8$ см, $\varphi = 60^\circ$ та значень h_1 : 1 – 10 см, 2 – 11 см, 3 – 12 см, 4 – 13 см

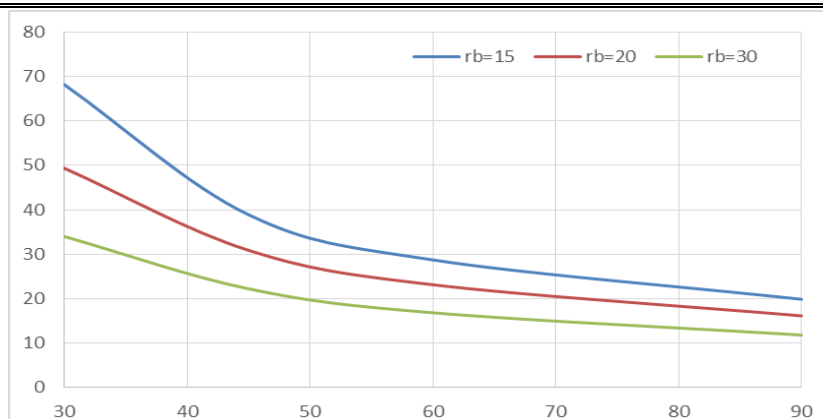


Рис. 8. Залежність змінення кута β' від кута φ (кількості рядів ножів на барабані) за $h_n = 8$ см, $h_1 = 11$ см, радіуса барабана r_b : 1 – 15 см, 2 – 20 см, 3 – 30 см

Аналізуючи залежності (10) і (13), відмітимо, що за умови зменшення h_1 і h'_1 буде змінюватися і значення кутів β і β' . За значення $h_1 = 0$, і $h'_1 = 0$, відповідні кути β і β' також будуть дорівнювати нулю. Швидкості V_k і V'_k за таких умов будуть спрямовані по вертикалі донизу, тобто проникнення ножа в рослинно-грунтове середовище буде відбуватися по вертикалі. Сили тертя за такого варіанту проникнення ножа в рослинно-грунтове середовище будуть меншими, ніж за кутів β і β' більше нуля.

Висновки

1. За допомогою аналітичного способу досліджено процес взаємодії ножа котка-подрібнювача із рослинно-грунтовым середовищем. За умови збігу напрямку встановлення ножа із радіусом барабана виявлено залежність (10), згідно з якою з'ясовано вплив на кут β конструкційних параметрів (радіуса барабана r_b , ширини ножа h_n , кута φ) та технологічного параметра h_1 , яким визначено відстань від точки K до горизонтальної лінії найбільшого проникнення ножів у рослинно-грунтове середовище.

2. За умови зміщення на кут γ' напрямку встановлення ножів відносно радіуса барабана котка у бік, що збігається із напрямком обертання барабану, встановлено залежність (13), згідно з якою з'ясовано вплив на кут β' (кут між вертикаллю та направленням швидкості прикінцевої точки ножа K'), конструкційних параметрів (радіуса барабана r_b , ширини ножа h_n , кутів φ та γ'), а також технологічного параметра h_1 , яким визначено відстань від точки K' до горизонтальної лінії найбільшого проникнення ножів в рослинно-грунтове середовище.

References

1. Voinovskiy, V. (2020). Lehka tekhnika dlia podribnennia roslynnykh reshtok. *Propozitsiia*, 7-8. Retrieved from: <https://propozitsiya.com/ua/legka-tehnika-dlya-podribnennya-roslynnyh-reshtok> [In Ukrainian].
2. Trubilin, E. I., Sokht, K. A., & Konovalov, V. I. (2013). Rabochie organy diskovykh boron i lushilnikov. *Politematicheskij Setevoy Elektronnyj Nauchnyj Zhurnal Kubanskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*, 91 (07), 1376–1382. [In Russian].
3. Kobets A. S., Volyk, B. A., & Puhach, A. M. (2011). *Gruntoobrobni mashyny: teoriia, konstruktsiia, rozrakhunok: monohrafiia*. Dnipropetrovsk: Svidler A. L. [In Ukrainian].
4. Konovyi, A. V., & Volyk, B. A. (2020). Obhruntuvannia konstruktsii katka-podribniuvacha dlia roboty po ahrofonu roslynnykh reshtok hrubosteblovykh kultur. *Tekhnichne zabezpechennia innovatsiinykh tekhnolohii v ahropromyslovomu kompleksi: materialy I Mizhnarodnoi naukovo-prakichnoi internet-konferentsii*. Melitopol: TDATU [In Ukrainian].
5. Kotsiubanskiy, R. V., & Volskyi, V. A. (2020). Dyskovi znariaddia ta kotky-podribniuvachi. *Agroelita. Vseukrainskyi Ahrarnyi Zhurnal*, 6. Retrieved from: <https://agroelita.info/dyskovi-znaryaddya-ta-kotky-podribnyuvachi/> [In Ukrainian].
6. Shatrov, R., Opalko, V., & Marchenko, V. (2017). Tekhnolohii ta zasoby mekhanizatsii mulchuvannia gruntu. *Agroexpert*, 10. Retrieved from: <https://agroexpert.ua/tekhnolohii-ta-zasoby-mekhanizatsii-mulchuvannia-gruntu/> [In Ukrainian].

7. Bulgakov, V., Aboltins, A., Beloev, H., Nadykto, V., Kyurchev, V., Adamchuk, V., & Kaminskiy, V. (2021). Experimental investigation of plow-chopping unit. *Agriculture (Switzerland)*, 11 (1), 1–14. doi: 10.3390/agriculture11010030
8. Nadykto, V., Ivanov, S., & Kistechok O. (2017). Investigation of the draft-and-power, and agrotechnical indicators of the work of a ploughing aggregate, created according to the scheme ‘push-pull’. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 62, 136–139.
9. Bohatyrov, D. V., Salo, V. M., Leshchenko, S. M., & Machok, Yu. V. (2015). Eksperymentalni doslidzhennia vplyvu shvydkosti rukhu kotka-podribniuvacha na yakist podribnennia roslynnykh reshtok kukurudzy. *Silskohospodarski mashyny*, 31, 10–17. [In Ukrainian].
10. Sheichenko, V., Volskyi, V., Kotsiubanskyi, R., Dnes, V., Shevchuk, M., Bilovod, O., & Drozhchana, O. (2021). Design of a roll crusher for sunflower stems and substantiation of the rational modes of its operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6, 1 (114), 28–37. doi: 10.15587/1729-4061.2021.244903
11. Ashford, D. L., & Reeves, D. W. (2003). Use of a mechanical roller-crimper as an alternative kill method for cover crops. *American Journal of Alternative Agriculture*, 18 (1), 37–45. doi: 10.1079/ajaa2003037
12. Li, Y., Song, J., Kang, X., Dong, X., Jiang, H., & Peng, W. (2013). Experiment on twin-roller cultivator for straw returning. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 44 (6), 45–49. doi: 10.6041/j.issn.1000-1298.2013.06.009
13. Wu, S. H., & Gao, J. (2011). Study on the Technics Principle for Stalk and Stubble Chopper Based on No-Tillage Planter. *Advanced Materials Research*, 230-232, 1039–1044. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.230-232.1039
14. Yisa, M. G., Terao, H., Noguchi, N., & Kubota, M. (1998). Dynamics of Tractor-implement Combinations on Slopes (Part III): Stability Regions and Optimum Design Parameters. *Journal of the Faculty of Agriculture, Hokkaido University*, 68, 1–17.
15. Zhou, H., Zhang, J., Xia, J., Tahir, H., Zhu, Y., & Zhang, C. (2019). Effects of subsoiling on working quality and total power consumption of high stubble straw returning machine. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12, 56–62. doi: 10.25165/j.ijabe.20191204.4608
16. Behera, A., Raheman, H., & Thomas, E. (2021). A comparative study on tillage performance of rotacultivator (a passive – active combination tillage implement with rotavat or an active tillage implement). *Soil and Tillage Research*, 207, 104861. doi: 10.1016/j.still.2020.104861
17. Gürsoy, S., Kolay, B., Avsar Ö., & Sessiz A. (2015). Evaluation of wheat stubble management practices in terms of the fuel consumption and field capacity. *Research in Agricultural Engineering*, 61 (3), 116–121. doi: 10.17221/77/2013-rae
18. Sheichenko, V., Chernovol, M., Volskyi, V., & Kotsiubanskyi, R. (2021). Research of influence of the scheme of an arrangement of knives of a cat-shredder on indicators of quality of crushing of stalks of sunflower. *National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, (51), 78–88. doi:10.32515/2414-3820.2021.51.78-88
19. Linnik, M., Volsky, V., & Kotsiubynsky, R. (2019). Systematic approach to the substantiation of the technological scheme and structure of a combined machine for cultivating corn stubble. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 104 (4), 99–105. doi: 10.31521/2313-092x/2019-4(104)-11
20. Salo, V. M., Bohatyrov, D. V., Leshchenko, S. M., & Savytskyi, M. I. (2014). Vitchyzniane tekhnichne zabezpechennia suchasnykh protsesiv u roslynnytstvi. *Tekhnika i Tekhnolohii APK*, 10 (61), 16–19. [In Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції: 29.04.2022 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Шейченко В. О., Вольський В. А., Коцюбанський Р. В., Скоряк Ю. Б., Прілепо Н. В. Аналіз роботи ножів котка-подрібнювача за умови його кочення по ґрунту. *Вісник ПДАА*. 2022. № 2. С. 296–306.

© Шейченко Віктор Олександрович, Вольський Володимир Анатолійович,
Коцюбанський Ростислав Васильович, Скоряк Юлія Борисівна,
Прілепо Наталія Володимирівна, 2022