

УДК 631.352

Д.В. Богатирьов, доц., канд. техн. наук, В.М. Сало, проф., д-р техн. наук,  
О.А. Кислун, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна  
E-mail: asbdv@ukr.net

## Визначення еквівалентної проекції висоти перетину барабана з непарною кількістю ножів

Стаття присвячена теоретичному дослідженню впливу еквівалентної проекції висоти  $b_{ек}$  на точність визначення сили опору повітря барабану з ножами. Зроблено спробу уточнити площу опору в залежності від кутового положення та кількості ножів барабана котка-подрібнювача. Дослідження впливу еквівалентної проекції висоти на точність опису сили опору повітря барабану з непарною кількістю ножів показали, що відносна похибка зменшується у 1,5 рази, що пояснюється виключенням впливу невизначеності початкового кутового положення барабану.

**коток-подрібнювач, барабан з ножами, площа опору, еквівалента висота**

Д.В. Богатырёв, доц., канд. техн. наук, В.М. Сало, проф., д-р техн. наук, О.А. Кислун, доц., канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина

### Определение эквивалентной проекции высоты сечения барабана с нечетным количеством ножей

Статья посвящена теоретическому исследованию влияния эквивалентной проекции высоты  $b_{ек}$  на точность определения силы сопротивления воздуха барабана с ножами. Предпринята попытка уточнить площадь сопротивления в зависимости от углового положения и количества ножей барабана катка-измельчителя. Исследование эквивалентной проекции высоты на точность описания силы сопротивления воздуха барабана с нечетным количеством ножей показали, что относительная погрешность уменьшается в 1,5 раза, что объясняется исключением влияния неопределенности начального углового положения барабана.

**каток-измельчитель, барабан с ножами, площадь сопротивления, эквивалента высота**

**Постановка проблеми.** В останні роки в Україні широкого застосування набули нетрадиційні, а в ряді випадків і невідомі до цього часу для працівників села технології виробництва продукції рослинництва [1]. Розпочалися зміни з використання імпортованих комбайнів, які залишали на полях практично всю незернову частину врожаю. Такі прийоми дозволили підвищити продуктивність процесів збирання, скоротити загальні терміни жнив, але виникла проблема подальшої переробки рослинних решток. Для наших виробників найбільш простим шляхом її вирішення виявилось масове використання дискових ґрунтообробних знарядь. Як результат – руйнування структури поверхневих родючих шарів ґрунту, змінання цінних у агротехнічному відношенні агрегатів, переведення їх в пиловидний безструктурний стан, переущільнення нижніх шарів ґрунту, порушення процесів аерації і інфільтрації, зниження запасів продуктивної вологи в нижніх горизонтах [2]. За кордоном в таких випадках використовують спеціальні машини – подрібнювачі рослинних решток (ПРР) [1, 3]. В Україні подібні машини є маловідомими, дорогими та сприймаються виробниками сільськогосподарської продукції як процес в технології, що потребує додаткових затрат і може бути не обов'язковим [4, 5]. Крім цього, за характерними для кожного типу

даних машин конструктивними особливостями, при використанні в традиційних для України технологіях виробництва, вони не завжди і не після кожної культури забезпечують необхідну якість подрібнення рослинних решток [1-3, 6].

На даний час не існує рівняння для визначення тягового опору безприводних ПРР з горизонтальною віссю обертання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для точного визначення тягового опору котка-подрібнювача необхідно враховувати зусилля на подолання сили опору повітря. У відомих роботах [6-7] цьому питанню не приділено уваги. Вперше запропоновано враховувати опір повітря Х. Тагаєвим [8-9] для знаряддя, що знешкоджує бур'яни у рисових чеках.

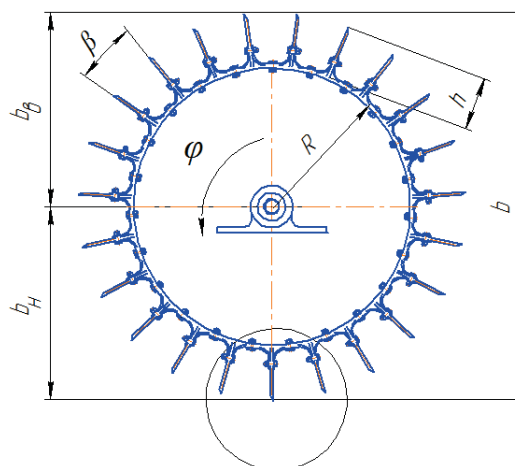
**Постановка завдання.** Мета дослідження полягає у теоретичному визначенні впливу проекції висоти перетину барабана на точність опису подолання ним сили опору повітря.

**Викладення основних результатів.** Експериментально визначений діапазон швидкостей від 15 до 24 км/год враховує особливості роботи котка-подрібнювача у польових умовах, а саме рух агрегата (рис. 1) на схилах-підйомах, як у вертикальній, так і у горизонтальній площині [4]. При таких значеннях швидкості руху доцільно враховувати силу опору повітря.



Рисунок 1 – Подрібнювач рослинних решток, розроблений науковцями кафедри сільськогосподарського машинобудування КНТУ

Розглянемо висоту  $b_6$  перетину півбарабана з ножом при значеннях кута  $-\frac{\beta}{2} \leq \varphi \leq \frac{\beta}{2}$  (рис. 2).



$\beta$  - кут між ножами,  $\beta = \frac{2 \cdot \pi}{z}$ ;  $b$  - проекція висоти перетину півбарабана з ножом на вісь OY

Рисунок 2 – Схема розташування ножів з непарною кількістю ( $z=23$  шт.)

Визначаємо проекцію висоти  $b_g$  в залежності від кута  $\varphi$  якщо  $b_g \geq R$ ,

$$b_g = (h + R) \cdot \cos \varphi, \quad (1)$$

де  $R$  – радіус барабану, м;

$h$  – висота ножа, м.

При парній кількості ножів  $z$  значення проекції висоти  $b_g$  на вісь  $OY$  набуває значення  $b_n = b_g$ .

При непарній кількості ножів:  $b_n = (h + R) \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2} - \varphi\right)$ , при  $0 \leq \varphi \leq \frac{\beta}{2}$ ;

$$b_n = (h + R) \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2} + \varphi\right), \text{ при } -\frac{\beta}{2} \leq \varphi \leq 0.$$

Отже маємо загальний вираз для визначення проекції висоти перетину півбарабана з ножом при  $-\frac{\beta}{2} \leq \varphi \leq \frac{\beta}{2}$ :

$$b_n = (h + R) \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2} - |\varphi|\right). \quad (2)$$

Аналогічно, під час роботи котка-подрібнювача при деякій кількості ножів  $z$  може виникнути випадок, коли поверхню барабану видно за ножів  $b_n < R$ , то приймається  $b_n = R$  [12].

Конструктивно на барабан котка-подрібнювача ножі встановлюються таким чином, щоб випадок коли  $b_g < R$  та  $b_n < R$  був неможливим.

В загальному випадку для парної та не парної кількості ножів  $z$  проекція висоти перетину барабану з ножами буде визначатись:

$$b(\varphi) = (h + R) \cdot \left( \frac{3 - (-1)^{z+1}}{2} \cdot \cos(\varphi) + \frac{1 - (-1)^z}{2} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{z} - |\varphi|\right) \right), \quad (3)$$

де значення кута в межах  $-\frac{\pi}{z} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{z}$ .

Для подальших розрахунків використовувати формулу (3) не доцільно. Із-за неможливості встановлення початкового кутового положення барабану з ножами, а необхідні довизначення з урахуванням похибок розрахунку дають можливість ввести еквівалентну проекцію висоти його перетину  $b_{ек}$

$$b_{ек} = \frac{z}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{-\frac{\pi}{z}}^{\frac{\pi}{z}} b(\varphi) d\varphi. \quad (4)$$

Для парної кількості ножів

$$b_{ек} = \frac{z}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{-\frac{\pi}{z}}^{\frac{\pi}{z}} b(\varphi) d\varphi = \frac{2 \cdot z \cdot (R + h)}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{z}\right). \quad (5)$$

Знайдемо відносну похибку  $\delta$ , яка формується в результаті врахування еквівалентної проекції висоти перетину барабану з ножами за один повний оберт.

Функція  $\cos\left(\varphi - \frac{\pi}{2 \cdot z}\right)$  при  $-\frac{\pi}{z} \leq \varphi \leq 0$  зростає до найбільшого значення на границі при  $\varphi = 0$ .

Оцінимо похибку, точності визначення сили, як результат введення  $b_{ек}$  для парної кількості ножів при  $-\frac{\pi}{z} \leq \varphi \leq 0$

$$\frac{b(\varphi)}{b_{ек}} = \frac{(R+h) \cdot \left( \cos \varphi + \cos \left( \frac{\pi}{z} + \varphi \right) \right)}{\frac{2}{\pi} \cdot (R+h) \cdot z \cdot \sin \left( \frac{\pi}{z} \right)} = \frac{\pi \cdot \cos \left( -\frac{\pi}{2 \cdot z} \right) \cdot \cos \left( \varphi + \frac{\pi}{2 \cdot z} \right)}{z \cdot \sin \frac{\pi}{z}}.$$

При  $0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{z}$

$$\frac{b(\varphi)}{b_{ек}} = \frac{(R+h) \cdot \left( \cos \varphi + \cos \left( \frac{\pi}{z} - \varphi \right) \right)}{\frac{2}{\pi} \cdot (R+h) \cdot z \cdot \sin \left( \frac{\pi}{z} \right)} = \frac{\pi \cdot \cos \left( \frac{\pi}{2 \cdot z} \right) \cdot \cos \left( \varphi - \frac{\pi}{2 \cdot z} \right)}{z \cdot \sin \frac{\pi}{z}}.$$

Найбільше значення похибки  $\delta$  буде при обертанні барабану при значеннях кута  $\varphi = -\frac{\pi}{z}$ ,  $\varphi = 0$  та  $\varphi = \frac{\pi}{z}$ :

$$\delta = \left| 1 - \frac{\pi \cdot \cos^2 \frac{\pi}{2 \cdot z}}{z \cdot \sin \frac{\pi}{z}} \right| \cdot 100\% = \left| 1 - \frac{\pi}{2 \cdot z} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi}{2 \cdot z} \right| \cdot 100\%. \quad (6)$$

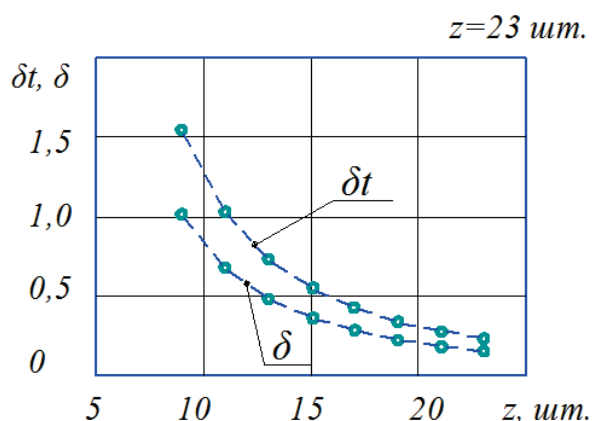
Визначимо похибку  $\delta_T$ , що вноситься невизначеністю початкового кутового положення барабану з ножами при використанні точного визначення проекції висоти перетину  $b$ .

Для непарної кількості ножів

$$\delta_T = \left| 1 - \frac{(h+R) \cdot \left( \cos \varphi_{\max} + \cos \left( \frac{\pi}{z} - |\varphi_{\max}| \right) \right)}{(h+R) \cdot \left( \cos \varphi_{\min} + \cos \left( \frac{\pi}{z} - |\varphi_{\min}| \right) \right)} \right| \cdot 100\% = \left| 1 - \frac{1}{\cos \frac{\pi}{2 \cdot z}} \right| \cdot 100\%, \quad (7)$$

де  $\varphi_{\min} = 0 = -\frac{\pi}{z}$ ,  $\varphi_{\max} = -\frac{\pi}{2 \cdot z}$ .

Графічні інтерпретації (рис. 3) результатів досліджень впливу врахування еквівалентної проекції висоти  $b_{ек}$  на точність опису сили опору повітря барабану з ножами показали, що відносна похибка зменшується у 1,5 рази, що пояснюється виключенням впливу невизначеності початкового кутового положення барабану і становить: для непарної кількості ножів  $\delta = 1\%$ ,  $\delta_T = 1,6\%$ .



$\delta$  – похибка, яка формується в результаті введення  $b_{ек}$  еквівалентної проекції висоти барабана з ножами;

$\delta_T$  – похибка, яка формується в результаті невизначеності початкового кутового положення проекції висоти барабана з ножами

Рисунок 3 – Залежність відносних похибок  $\delta$  та  $\delta_T$  від кількості ножів  $z$  ( $z = 11 \dots 23$  шт.)

Враховуючи формули (5, 6) зусилля на подолання опору повітря можна визначити як

$$P_c = k \cdot k_0 \cdot \rho_0 \cdot L_n \cdot b_{ек} \cdot (\mathcal{G}_{агр} - \mathcal{G}_0)^2, \quad (11)$$

де  $k$  – кількість барабанів з ножами на котку-подрібнювачі, шт.;

$k_0$  – коефіцієнт, що враховує тип середовища;

$\rho_0$  – густина середовища, кг/м<sup>3</sup>;

$L_n$  – довжина леза ножа, м;

$\mathcal{G}_0$  – швидкість вітру, м/с;

$\mathcal{G}_{агр}$  – швидкість агрегату, м/с.

**Висновки.** Для подальшого визначення тягового опору котка-подрібнювача при значеннях швидкості руху від 15 до 24 км/год доцільно враховувати силу опору повітря. Так як робочим органом є барабан з непарною кількістю ножів, то необхідно враховувати зміну його площі проекції на площину перпендикулярну руху агрегата. Тому можливість теоретичного визначення еквівалентної проекції висоти в залежності від кутового положення та кількості ножів дозволить встановити значення зусилля на подолання сили опору повітря котком-подрібнювачем. Наведені дослідження є основою для створення рівняння щодо визначення тягового опору безприводних подрібнювачів рослинних решток з горизонтальною віссю обертання робочих органів і потребують подальшого теоретичного обґрунтування раціональних конструктивних та технологічних параметрів котка-подрібнювача.

## Список літератури

1. Богатирьов Д.В. Обґрунтування перспективних напрямів конструкцій подрібнювачів рослинних решток / Д.В. Богатирьов, В.М. Сало, В.І. Носуленко, Д.В. Мартиненко // [Електронний ресурс] Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Зб. наук. праць. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – Вип. 42. – С. 39-44. (Режим доступу: [http://www.kntu.kr.ua/doc/zb\\_42\\_1/](http://www.kntu.kr.ua/doc/zb_42_1/))

2. Сало В.М. Технічне забезпечення процесів подрібнення рослинних решток / [Електронний ресурс] В.М. Сало, Д.В. Богатирьов // Журнал «Пропозиція» – 2015. – №9 С.42-47. (Режим доступу: <http://www.propozitsiya.com/?page=149&itemid=5026&number=171>)
3. Сало В.М. Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві / [Текст] В.М. Сало, Д.В. Богатирьов, С.М. Лещенко, М.І. Савицький // Техніка і технології АПК – Дослідницьке: УКРНДППВТ ім. Л. Погорілого, 2014 – № 10 (61) – С. 16-19.
4. Богатирьов Д.В. Експериментальні дослідження впливу швидкості руху котка-подрібнювача на якість подрібнення рослинних решток кукурудзи / Д.В. Богатирьов, В.М. Сало, С.М. Лещенко, Ю.В. Мачок // [Електронний ресурс] Сільськогосподарські машини. – Луцьк, 2015. – вип.31.– С. 10-17. (Режим доступу: <http://agrmash.info/zb/31/4.pdf>).
5. Богатирьов Д.В. Технічне забезпечення сучасних процесів подрібнення рослинних решток / Д.В. Богатирьов, В.М. Сало // [Текст] Перспективні напрями наукових досліджень – 2015: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – В 2 т. – Т.2. – К.: Вид-во «Центр навчальної літератури», 2015. – С.131-133.
6. Богатырев Д.В. Современные сельскохозяйственные орудия для измельчения растительных остатков / Д.В. Богатырев, В.М. Сало // [Текст] Simpozionului Științifico-Practic Internațional „Realizări și perspective în inginerie agrară și transport auto” dedicat aniversării a 65 ani de la fondarea Facultății de Inginerie Agrară și Transport Auto. – 2015 – vol.45 – Chișinău: Universitatea agrară de stat din Moldova. – С.33-36.
7. Подрібнювач рослинних решток КП-4.5 [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://www.savitskiy.com.ua/>.
8. Ashford D.L. Use of a mechanical roller-crimper as an alternative kill method for cover crop / [Текст] D.L. Ashford, D.W. Reeves. // American Journal of Alternative Agriculture. – 2003. – 18(1) – P.37-45.
9. Korniecki T.S. Performance of Different Roller Designs in terminating rye cover crop and reducing vibration / [Текст] T.S. Korniecki, A.J. Price // Applied Eng. Agric – Alabama, USA – 22(5) – P.633-641.
10. Тагаев Х. Формула Тагаева по определению гидродинамического сопротивления воды / Х. Тагаев [Текст] // Technical science – Dubai, UAE. –2015 – С.32-37.
11. Тагаев Х. К определению сопротивления воды на лобовую поверхность катка-фрезы / Х. Тагаев [Текст] // Сборник научных трудов. Ташкентский ИИМСХ – Ташкент: ТИИМСХ, 1985. – С.115-120.
12. Богатирьов Д.В. Визначення еквівалентної проекції висоти перетину барабана з парною кількістю ножів / Д.В. Богатирьов, В.М. Сало, О.А. Кислун // International Scientific and Practical Conference "WORLD SCIENCE" (ISSN 2413-1032) Аджман, ОАЕ, 2016. – С.78-85.

**Dmytro Bogatyrov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Vasyl Salo, Prof., DSc., Oleg Kuslyn, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovohrad national technical university, Kropyvnickiy, Ukraine*

#### **Determination of height equivalent projection crossing drum with an odd number of knives**

During the last few years Ukraine was filled with nontraditional and in some cases unknown technologies of crop science. The changes started by using imported harvesters which left practically all residues on the field. This practice allowed increasing the productivity of picking processes and to shorten the terms of harvest period but there appeared the problem of further processing of plant residues. The Ukrainian producers chose the simplest way to solve it and used disc equipment for soil cultivation. As a result the structure of surface soil was damaged, valuable agro-technical aggregates were mashed, which led to their transformation into dusty unstructured condition. There was also overtamping of subsoil, disfunction of the processes of aeration and infiltration, decrease of the storage of productive soil water in lower levels. Special machines are usually used in these cases abroad which are debris pulverisers. In Ukraine these machines are not well known, expensive and perceived by agricultural producers as part of the technological process which needs extra costs and not obligatory. Besides, according to the special design of every of these machines they do not provide necessary pulverization in the traditional for Ukraine production technologies. In order to determine the accurate draught of the crimp-roller it is necessary to take into account the force to overcome air resistance.

The article presents theoretical research of the influence of introduction of equal-area projection of the height on the accuracy of calculation of the resistance power of the air of the cylinder drum with blades. The effort was made to specify the area of resistance depending on the angle setting and the number of blades of the crimp-roller. Research of introduction of the equal-area projection of the height on the accuracy of description of the power of air resistance of the crimp-roller showed that the fractional error decreases in 1,5 times. This is explained by the absence of the influence of uncertainty of the initial angle setting of the cylinder drum.

**crimp-roller, cylinder drum with blades, resistance area, equal-area height**

Одержано 07.11.16