



Всеукраїнський науково-технічний журнал

All-Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2520-6168 (Print)

DOI-10.37128/2520-6168-2020-3

Machinery
Energetics
Transport
of Agribusiness



**ТЕХНІКА
ЕНЕРГЕТИКА
ТРАНСПОРТ АПК**



**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

Журнал науково-виробничого та навчального спрямування
Видавець: Вінницький національний аграрний університет

Заснований у 1997 році під назвою «Вісник Вінницького державного сільськогосподарського інституту».
Правонаступник видання: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.
Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації
КВ № 16644–5116 ПР від 30.04.2010 р.

*Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» /
Редколегія: Токарчук О.А. (головний редактор) та інші. Вінниця, 2020. 3 (110) . 153 с.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету
(протокол №4 від 30.10.2020 р.)*

Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації №21906-11806 Р від 12.03.2016р.

*Журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» включено до переліку наукових фахових видань
України з технічних наук (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України
від 02.07.2020 року №886);*

- присвоєно ідентифікатор цифрового об'єкта (Digital Object Identifier – DOI);

- індексується в CrossRef, Google Scholar;

- індексується в міжнародній наукометричній базі [Index Copernicus Value](#) з 2018 року.

Головний редактор

Токарчук О.А. – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

Заступник головного редактора

Веселовська Н.Р. – д.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет

Відповідальний секретар

Полєвода Ю.А. – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

Члени редакційної колегії

Іскович – Лотоцький Р.Д. – д.т.н., проф.,
Вінницький національний технічний університет

Цуркан О.В. – д.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

Булгаков В.М. – д.т.н., проф., академік НААН,
Національний університет біоресурсів і
природокористування України

Іванчук Я.В. – к.т.н., доц., Вінницький національний
технічний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

Йордан Максимов – д.т.н., професор Технічного
університету Габрово (Болгарія)

Відповідальний секретар редакції **Полєвода Ю.А.** кандидат технічних наук, доцент
Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний університет,
тел. (0432) 46–00–03

Сайт журналу: <http://tetapk.vsau.org/>

Електронна адреса: pophv@ukr.net



ЗМІСТ

I. ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА*Анісімов В. Ф., Музичук В. І.*

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ АВТОТРАКТОРНИХ ДИЗЕЛІВ МАТЕМАТИЧНИМ МОДЕЛЬЮВАННЯМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ МАЛИХ ВІДХИЛЕНЬ.....	4
---	----------

Веселовська Н. Р., Ялина О. О., Янішевський В. Ю.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ДІАГНОСТУВАННЯ ДЕФЕКТІВ ЗУБОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У РЕДУКТОРАХ САМОХІДНИХ СІЛЬСЬКОРОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН.....	16
---	-----------

Ivan Sevostianov, Yaroslav Ivanchuk, Svetlana Kravets

ELABORATION AND RESEARCHES OF HIGHLY EFFECTIVE INSTALLATION FOR VIBRO-BLOWING DEHYDRATION OF DISPERSIVE WASTE OF FOOD PRODUCTIONS..	24
--	-----------

II. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА*Возняк О. М., Штуць А. А.*

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ.....	34
--	-----------

Купчук І. М., Яропуд В. М., Телекало Н. В., Граняк В. Ф.

ПЕРСПЕКТИВИ ТА ПЕРЕДУМОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АГРОПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	51
--	-----------

Пазюк В. М.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СУШКА НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР.....	64
--	-----------

Солоня О. В.

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ ТА РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ У АПК УКРАЇНИ.....	71
--	-----------

III. АГРОІНЖЕНЕРІЯ*Кондратюк Д. Г., Комаха В. П.*

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗАЛЬНОГО АПАРАТА РОТАЦІЙНОЇ КОСАРКИ.....	77
--	-----------

Курило В. Л., Пришляк В. М.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН ДЛЯ ДОГЛЯДУ ЗА ПОСІВАМИ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ.....	86
---	-----------

Пономаренко Н. О., Яропуд В. М., Лепеть Є. І.

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ РОЗКИДАННЯ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ.....	95
--	-----------

Севостьянов І. В., Токарчук О. А., Горбаченко А. А.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО БЕЗПЕРЕРВНОГО ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	103
---	------------

Середа Л. П., Швець Л. В., Швець О.

РОЗРОБКА КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБІТКУ ГРУНТУ.....	117
---	------------

Соломон А. М., Полевода Ю. А.

ОБГРУНТУВАННЯ СКЛАДУ ФЕРМЕНТОВАНИХ ПРОДУКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РОСЛИННИХ НАПОВНЮВАЧІВ.....	126
---	------------

Холодюк О. В., Кузьменко В. Ф.

МОМЕНТ ВІД ЗУСИЛЬ ТЕРТЯ ТРАВ'ЯНОЇ МАСИ НА ДИСКОВОМУ НОЖІ ПОДРІБНЮВАЛЬНОГО АПАРАТУ.....	135
---	------------

Шаргородський С. А., Янішевський В. Ю., Ялина О. О.

ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗАГОТІВЛІ СІНАЖУ.....	145
--	------------



УДК 631.31

DOI: 10.37128/2520-6168-2020-3-8

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗАЛЬНОГО АПАРАТА РОТАЦІЙНОЇ КОСАРКИ

Кондратюк Дмитро Гнатович, к.т.н., доцент
Комаха Віталій Петрович, к.т.н., старший викладач
Вінницький національний аграрний університет

Dmitry Kondratyuk, PhD, Associate Professor
Vitaliy Komaha, candidate of technical Sciences, Senior Lecturer
Vinnitsia National Agrarian University

Для скошування трав при заготівлі сіна або сінажу здебільшого використовують косарки безпідпільного зрізу з обертовим рухом ножів, продуктивність яких значно більша, ніж сегментно-пальцевих косарок. Різальні апарати безпідпільного різання з обертовим рухом ножів бувають з обертанням їх навколо вертикальної (ротаційні) і горизонтальної (роторні) осей. Косарки, які обладнані роторними різальними апаратами значно подрібнюють траву, а тому їх використовують в косарках-подрібнювачах та газонокосарках. Мета роботи - обґрунтувати методикою розрахунку конструкційних і кінематичних параметрів ротаційних різальних апаратів, які б відповідали умовам їх використання. Основними параметрами, які характеризують роботу ротаційних різальних апаратів є: площа, яку скошує ніж за один оборот диска; робоча довжина ножа; перекриття ножів сусідніх роторів; швидкість різання.

При визначенні основних параметрів ротаційного різального апарата косарки було зроблено наступні припущення. Вважали, що кутова швидкість ротора та поступальна швидкість косарки незмінні, а рух агрегату прямолінійний. Крім того, різальний апарат здійснює скошування в площині, паралельній поверхні ґрунту, тобто в площині, перпендикулярній більшості стебел рослин. Показано, що абсолютна швидкість будь якої точки ножа змінюється від максимального значення, яке дорівнює сумі колової швидкості цієї точки і швидкості агрегування косарки, до мінімального – різниці вищезазначених швидкостей. Встановлено, що робоча довжина різальної крайки ножа прямо пропорційна швидкості агрегування косарки і обернено пропорційна кутовій швидкості ротора та кількості ножів, встановлених на ньому. Перекриття траєкторії ножів суміжних роторів залежить від радіуса ротора; кількості ножів, встановлених на ньому та кінематичного режиму роботи різального апарата. Причому, збільшення радіуса ротора вимагає збільшення перекриття, а зростання показника кінематичного режиму та кількості ножів призводить до зменшення величини перекриття між траєкторіями ножів. Отримана залежність, яка дозволяє визначити площу, що скошує ніж за один оборот ротора.

Ключові слова: косарка ротаційна, ротор, ніж, площа, скошування, перекриття, швидкість різання.

Рис. 4. Ф. 23. Літ. 13.

1. Постановка проблеми

Невід'ємною операцією будь якої технології заготівлі сіна є скошування трав, яке повинно бути здійснено в оптимальні терміни з дотриманням агротехнічних вимог. Для виконання цієї операції здебільшого використовують косарки безпідпільного зрізу з обертовим рухом ножів, продуктивність яких значно більша, ніж сегментно-пальцевих косарок. Різальні апарати є однією із основних частин косарок. Їх розвиток відбувається за двома напрямками: перший - в напрямку поліпшення процесу різання на основі оптимізації параметрів апарата і пошуку нових способів різання та нових типів різальних апаратів; другий - в напрямку удосконалення приводу ножа.

Без підпільні різальні апарати з обертовим рухом ножів бувають з обертанням їх навколо вертикальної (ротаційні) і горизонтальної (роторні) осей [1]. Через те що роторні різальні апарати значно подрібнюють траву їх використовують в косарках-подрібнювачах та газонокосарках [2].

Конструктивні відмінності ротаційних косарок обумовлені в переважній більшості конструкцією різального апарата й типом його приводу. За розташуванням приводу робочих органів ротаційні косарки бувають з верхнім, нижнім і комбінованим приводом. Необхідно зазначити, що привод визначає



конструкцію ротора різального апарата. У косарок з нижнім приводом ротори різальних апаратів виконані у вигляді диска з шарнірно закріпленими ножами, різучі крайки яких розташовані в площині обертання. Такі апарати економічні, прості за конструкцією, легкі в обслуговуванні та надійні в роботі.

Диски являють собою штамповані конструкції, у формі круга або еліпса, які мають ребра жорсткості.

Ротори різальних апаратів косарок з верхнім приводом виконані у вигляді барабанів, на яких шарнірно встановлено ножі.

Основними параметрами, які характеризують роботу ротаційних різальних апаратів є: площа, яку скошує ніж за один оборот диска; робоча довжина ножа; перекриття ножів сусідніх роторів; швидкість різання. Обґрунтуванню вищезазначених параметрів присвячені дослідження [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Треба відзначити, що в цих дослідженнях недостатньо вивчена кінематика ротора, отримані залежності для розрахунку кінематичних і геометричних показників роботи різального апарата мають суперечливий характер.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Основним елементом різального апарата, який безпосередньо здійснює його головну функцію – скошування рослин, є ніж. Він наділений різальною крайкою, яка розташовується під деяким кутом ψ до радіального напрямку і має кут загострення β (рис. 2). Раціональні значення цих кутів наступні: $\psi = 0,44 \dots 0,53$ рад, $\beta = 0,35 \dots 0,70$ рад [3].

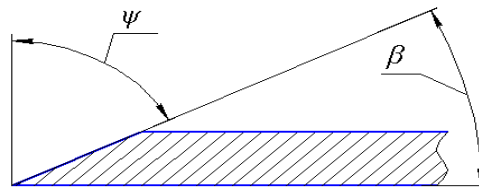


Рис. 1. Кути різучої крайки ножа

Одним із важливих параметрів ножа є гострота леза. Для якісного скошування трави при швидкості різання до 40 м/с гострота леза повинна становити 100...200 мкм [4]. Однак, при збільшенні швидкості різання до 80 м/с товщина леза ножа не впливає на якість роботи різального апарата [5, 6, 7].

Встановлено, що критична швидкість зрізу трави без підпору знаходиться в межах 20 м/с, а швидкість, при якій висота стерні практично рівна встановленій висоті скошування, знаходиться в діапазоні 45...60 м/с [7].

В роботі [8] зазначається, що для гострих ножів оптимальна швидкість різання становить 60, а для затуплених – 80 м/с.

Раціональна швидкість скошування трави залежить від подачі маси в різальний апарат, а відтак від швидкості агрегування косарки і урожайності трави. Із збільшенням подачі трави необхідно збільшувати швидкість різання. При подачі маси 4,2 кг/с – раціональна швидкість косіння складає 50...60 м/с [9].

Ротаційні різальні апарати мають ряд недоліків, одним із яких є подрібнення трави в процесі скошування, що призводить до збільшення втрат урожаю. Пояснюється це неузгодженістю коллової швидкості ножів і швидкості агрегування косарки. Крім того, зазначене явище буде спостерігатися і тоді коли кількість і довжина ножів буде більшою за оптимальне значення. При спробі змінити ці параметри в другу сторону можлива поява огрехів, тобто нескошених ділянок поля [10].

Таким чином, визначення відповідності конструкційних і кінематичних параметрів ротаційних різальних апаратів умовам використання є важливою задачею.

3. Мета дослідження

Обґрунтувати методику розрахунку конструкційних і кінематичних параметрів ротаційних різальних апаратів, які б відповідали умовам їх використання.

4. Результати дослідження

До основних показників роботи ротаційних косарок відноситься площа зрізу одним ножом за оберт ротора, довжина робочої частини ножа та швидкість безпідпінного різання. Ці показники визначають робоче навантаження на ніж від сил різання та потужність, яка витрачається на скошування трави.



Для визначення основних параметрів ротаційного різального апарату звернемо до рис. 2, на якому схематично зображений один із роторів косарки, що переміщується поступально з швидкістю V і обертається з кутовою швидкістю ω .

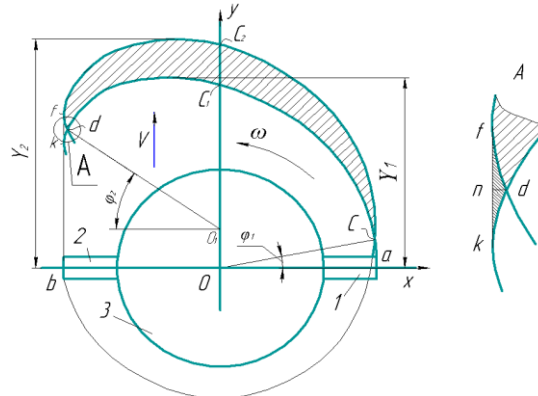


Рис. 2 Схема до визначення основних параметрів ротаційного різального апарата: 1 – ніж, 2 – ніж, 3 – диск

При визначенні основних параметрів ротаційного різального апарата косарки зробимо наступні припущення. Будемо вважати, що кутова швидкість ротора та поступальна швидкість косарки незмінні, а рух агрегату прямолінійний. Крім того, різальний апарат здійснює скошування в площині, паралельній поверхні ґрунту, тобто в площині, перпендикулярній більшості стебел рослин.

Помістимо початок координат так як показано на рисунку. Вісь Y направимо в напрямку поступального руху (агрегування) косарки.

Скошування рослин без підпору ротаційними апаратами здійснюється в результаті ударної взаємодії ножа з стеблами трави. Однією із основних характеристик такого способу скошування є швидкість зрізу. Для порівняння швидкості зрізу в різних апаратах зазвичай визначають для крайніх зовнішніх точок різучих крайок ножів.

Оскільки швидкість переміщення косарки V є значно меншою за колову швидкість ножів, то всі точки, які належать їм, в абсолютному русі описують циклоїдальні траєкторії. Рівняння траєкторії кінця ножа 1 (точка a) в параметричній формі має вигляд:

$$x_a = R \cos \omega t, \quad (1)$$

$$y_a = Vt + R \sin \omega t, \quad (2)$$

де x_a і y_a – проекції переміщення точки a на координатні вісі, м; R – радіус кола, яке описує точка a в обертовому русі, м; t – час, с.

Диференціюючи (1 і 2) за часом, будемо мати

$$\frac{dx_a}{dt} = -R\omega \sin \omega t, \quad (3)$$

$$\frac{dy_a}{dt} = V + \omega R \cos \omega t. \quad (4)$$

Абсолютна швидкість точки a в будь який момент часу

$$V_{a\bar{b}c} = \sqrt{\left(\frac{dx_a}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy_a}{dt}\right)^2}. \quad (5)$$

Підставивши в (5) значення проекцій швидкості із (3) і (4), будемо мати:

$$V_{a\bar{b}c} = \sqrt{R^2 \omega^2 + 2VR\omega \cos \omega t + V^2}. \quad (6)$$

Максимальне значення абсолютної швидкості буде при $\omega t = 2\pi k$, де $k = 0; 1; 2; \dots$, тобто $V_{a\bar{b}c} = R\omega + V$. Мінімальне значення $V_{a\bar{b}c}$ буде мати при $\omega t = \pi + 2\pi k$, тобто $V_{a\bar{b}c} = R\omega - V$.



Таким чином, абсолютна швидкість будь якої точки ножа змінюється від максимального значення, яке дорівнює сумі колової швидкості цієї точки і швидкості агрегування косарки, до мінімального – різниці вищезазначених швидкостей.

Рівняння траєкторії кінця ножа 2 (точка b) в параметричній формі має вигляд:

$$x_b = R \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{z}\right), \quad (7)$$

$$y_b = V + R \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{z}\right), \quad (8)$$

де y_b і x_b – проекції на вісі координат переміщення точки b ; z – кількість ножів, встановлених на роторі.

Одним із основних параметрів в роботі ротаційних косарок є площа скошування рослин ножем за один оборот диска або барабана. Як видно із рис. 2 площа, яку скошує ніж за один оборот ротора обмежується траєкторіями абсолютного руху (циклоїдами) точок a і b ножів 1 і 2, фігура cc_1dc_2c . Тобто лезо кожного ножа зрізує рослини з ділянки поля, обмеженої двома трохоїдами зміщеними у напрямку швидкості агрегування косарки.

Координати точок c і d (точки перетину циклоїд) визначаються кутами φ_1 і φ_2 . За даними [12]:

$$\varphi_{1,2} = \frac{\pi}{z(\lambda \pm 1)}, \quad (9)$$

де λ – кінематичний параметр, $\lambda = \omega R/V$.

Знак (+) в цій формулі відповідає точці c , а знак (-) точці d . Площу фігури cc_1dc_2c визначимо за відомою формулою Ньютона – Лейбніца [11]:

$$S_{cc_1dc_2c} = \int_{-R \cos \varphi_2}^{R \cos \varphi_1} [u(x) - f(x)] dx, \quad (10)$$

де $u(x)$ і $f(x)$ – функція, яка відповідно описує криву cc_2d і cc_1d .

Для визначення виду функції $u(x)$ і $f(x)$ виключимо параметр t із рівнянь (1) і (7) і підставимо отримані значення часу відповідно в (2) і (8). В результаті, будемо мати:

$$f(x) = \frac{V}{\omega} \arccos \frac{x}{R} + \sqrt{R^2 - x^2}, \quad (11)$$

$$u(x) = \frac{V}{\omega} \left(\frac{2\pi}{z} + \arccos \frac{x}{R} \right) + \sqrt{R^2 - x^2}. \quad (12)$$

Підставивши (11) і (12) в (10), одержимо

$$F_{cc_1dc_2c} = \int_{-R \cos \varphi_2}^{R \cos \varphi_1} \left[\frac{V}{\omega} \left(\frac{2\pi}{z} + \arccos \frac{x}{R} \right) + \sqrt{R^2 - x^2} - \frac{V}{\omega} \arccos \frac{x}{R} + \sqrt{R^2 - x^2} \right] dx = \frac{2\pi VR}{\omega z} (\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2).$$

Тоді з врахуванням (9) за один оборот ніж скошує траву на площі:

$$F_{cc_1dc_2c} = \frac{2\pi R^2}{\lambda z} \left(\cos \frac{\pi}{z(\lambda + 1)} + \cos \frac{\pi}{z(\lambda - 1)} \right). \quad (13)$$

Робоча довжина різальної крайки ножа повинна бути більшою або рівною різниці максимальних ординат абсолютного переміщення кінців суміжних ножів (рис. 2), тобто:

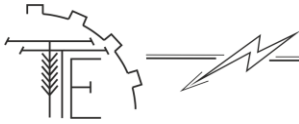
$$h_p \geq Y_2 - Y_1, \quad (14)$$

де h_p – робоча довжина різальної крайки ножа, м;

Y_1, Y_2 – максимальні ординати абсолютного переміщення кінців відповідно першого і другого ножів, м.

Диференціюючи (7) і (8) за часом, будемо мати

$$\frac{dx_b}{dt} = -R \omega \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{z}\right), \quad (15)$$



$$\frac{dy_b}{dt} = V + R\omega + \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{z}\right). \quad (16)$$

В точках траєкторії кінців ножів, які мають максимальні ординати, похідні $\frac{dy_a}{dx_a}$ і $\frac{dy_b}{dx_b}$ дорівнюють нулю, тобто:

$$\frac{V + R\omega \cos \omega t}{-R\omega \sin \omega t} = 0, \quad \frac{V + R\omega \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{z}\right)}{-R\omega \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{z}\right)} = 0.$$

Оскільки знаменники цих дробів не можуть дорівнювати нулю, то прирівнявши чисельники отриманих дробів до нуля і розв'язавши їх відносно часу, будемо мати:

$$t_a = \frac{1}{\omega} \left(\pi - \arccos \frac{V}{R\omega} \right), \quad (17)$$

$$t_b = \frac{1}{\omega} \left[\pi - \arccos \left(\frac{V}{R\omega} + \frac{2\pi}{z} \right) \right], \quad (18)$$

де t_a і t_b - час, необхідний для досягнення точками a і b максимальних ординат.

Підставивши в (2) і (8) значення часу t_a і t_b із (17) і (18), отримаємо:

$$Y_1 = \frac{V}{\omega} \left[\pi - \arccos \left(\frac{V}{\omega R} \right) \right] + R \sqrt{1 - \left(\frac{V}{\omega R} \right)^2}, \quad (19)$$

$$Y_2 = \frac{V}{\omega} \left[\pi - \arccos \left(\frac{V}{\omega R} + \frac{2\pi}{z} \right) \right] + R \sqrt{1 - \left(\frac{V}{\omega R} \right)^2}. \quad (20)$$

Підставивши (19) і (20) в (14) і перетворюючи, будемо мати

$$h_p \geq \frac{2\pi V}{\omega z}. \quad (21)$$

Отже, робоча довжина різальної крайки ножа прямо пропорційна швидкості агрегування косарки і обернено пропорційна кутовій швидкості ротора та кількості ножів, встановлених на ньому.

Якщо перейти від кутової швидкості ротора до частоти обертання, то, будемо мати:

$$h_p \geq \frac{60V}{nz}, \quad (22)$$

де n – частота обертання ротора різального апарата, об/хв.

Точки траєкторій суміжних ножів, які мають максимальні ординати повинні мати рівні абсциси. Перевіримо це. Підставимо знайдені значення часу із (17) і (18) відповідно в (1) і (7) та переконаємося, що абсциси обох точок рівні між собою

$$x_a = x_b = -V/\omega.$$

На рис. 3 представлені, побудовані згідно (22), графічні залежності зміни мінімальної робочої довжина різальної крайки ножа від зміни частоти обертання ротора косарки. Графіки побудовані при умові, що на роторі встановлено два ножі, тобто $z = 2$. Як видно з представлених даних із збільшенням частоти обертання ротора робоча довжина різальної крайки ножа зменшується.

При роботі ротаційної косарки необхідно, щоб траєкторії ножів суміжних роторів перекривали одна іншу на деяку величину Δ . В протилежному випадку на полі будуть залишатися огріхи, тобто нескошені ділянки. Як видно із рис. 2 після проходу косарки нескошеними ділянками поля будуть криволінійні трикутники kfd . Із цього ж рисунку випливає, що перекриття ножів Δ повинно бути більшим подвійній проекції відрізка nd на вісь абсцис [13]:

$$\Delta \geq 2|x_n - x_d|,$$

де $|x_n| = R$ – абсциса точки траєкторії, найбільш віддаленої від вісі ОУ;

$|x_d|$ – абсциса точки перетину траєкторій двох суміжних ножів.

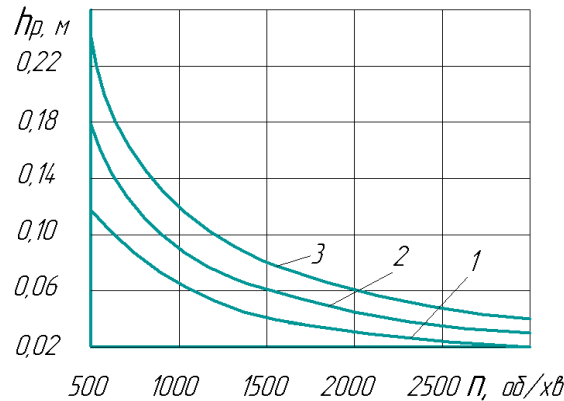


Із рис. 2, маємо

$$|x_d| = R \cos \varphi_2.$$

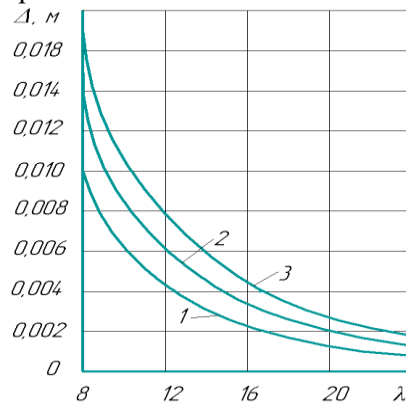
Тоді

$$\Delta \geq 2R \left(1 - \cos \frac{\pi}{z(\lambda - 1)} \right). \quad (23)$$



**Рис. 3. Графіки зміни мінімальної робочої довжини різальної крайки ножа
ротаційного різального апарата h_p від частоти обертання ротора n :**
1 – $V = 2$ м/с, 2 – $V = 3$ м/с, 3 – $V = 4$ м/с.

Із рівняння (23) випливає, що перекриття траєкторії ножів суміжних роторів залежить від радіуса ротора; кількості ножів, встановлених на ньому та кінематичного режиму роботи різального апарата. Причому, збільшення радіуса ротора вимагає збільшення перекриття, а зростання показника кінематичного режиму та кількості ножів призводить до зменшення величини перекриття між траєкторіями ножів. Графічно зазначене представлено на рис. 4.



**Рис. 4. Зміна перекриття траєкторій ножів суміжних роторів Δ
в залежності від кінематичного режиму λ і радіуса ротора R (при $z = 2$):**
1 – $R = 0,2$, 2 – $R = 0,3$, 3 – $R = 0,4$ м.

4. Висновки

1. Основними параметрами, які характеризують роботу ротаційних різальних апаратів є: площа, яку скошує ніж за один оборот диска; робоча довжина ножа; перекриття ножів сусідніх роторів; швидкість різання.

2. Швидкість різання будь якої точки ножа змінюється від максимального значення, яке дорівнює сумі колової швидкості цієї точки і швидкості агрегування косарки, до мінімального – різниці вищезазначених швидкостей.

3. Робоча довжина різальної крайки ножа прямо пропорційна швидкості агрегування косарки і обернено пропорційна кутовій швидкості ротора та кількості ножів, встановлених на ньому.

4. Перекриття траєкторії ножів суміжних роторів залежить від радіуса ротора; кількості ножів, встановлених на ньому та кінематичного режиму роботи різального апарата. Причому, збільшення радіуса



ротора вимагає збільшення перекриття, а зростання показника кінематичного режиму та кількості ножів призводить до зменшення величини перекриття між траєкторіями ножів.

5. Отримана залежність, яка дозволяє визначити площу, що скошує ніж за один оборот ротора.

Список використаних джерел

1. Морозов И. А., Корнилович Р. А. Классификация рабочих органов ротационных косилок. *Сборник научных трудов молодых ученых Рязанской ГСХА*. 2005. С. 173–174 с.
2. Рубцов Г. М. Исследование процесса резания стеблей измельчителем роторного типа. *Доклады МИИСП. Техническая механика*. Москва, 1965. С. 135–142.
3. Корнилович Р. А. Совершенствование режущего аппарата ротационной косилки : дис...канд-та техн. наук : 05.20.01 /Рязанская государственная сельскохозяйственная академия имени профессора П. А. Костычева. Рязань, 2007. 153 с.
4. Резник Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. Москва : Машиностроение, 1975. 311с.
5. Карпенко М. И. Обоснование оптимальных технологических параметров ротационного режущего аппарата косилок с пониженной скоростью ножей : автореф. дис. на соискание ученой степени канд-та. техн. наук : Глеваха, 1984. 17 с.
6. Mc Randal D. M., Mc Nalty P. B. Mechanical and physical properties of grasses. *Trans. Asae*. 1980. №4. p. 816.
7. Mc Randal D. M., Mc Nalty P. B. Elpact cutting behavior of forage crops. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1978. №3. p. 313–338.
8. O'Dogherty M. I. A review of research on forage chopping. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1982. №27. p. 268–289.
9. Каифаш Ференц. Обоснование динамических параметров и режима работы ротационного режущего аппарата : автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук : Москва, 1982. 16 с.
10. Овчинников Я. Л., Куянов И. А. К вопросу совершенствования работы ротационного режущего аппарата. *Ползуновский альманах*. 2009. №3. Том 2. С. 260–263.
11. Бронштейн И. К., Семедяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. Москва : Наука, 1981. 720 с.
12. Смирнов Г. А. Исследование циклоидных кривых при анализе работы ротационных рабочих органов. *Сборник научных трудов ВИМ*. 1989. Т. 119. С. 19–25.
13. Особов В. И., Васильев Г. К. Сеноуборочные машины и комплексы. Москва : Машиностроение, 1983. 304 с.

References

- [1] Morozov, I. A., Kornilovich, R. A. (2005). Klassifikatsiya rabochih organov rotatsionnyih kosilok. *Sbornik nauchnyih trudov molodyih uchenyih Ryazanskoj GSHA*, p. 173–174. [in Russian].
- [2] Rubtsov, G. M. (1965). Issledovanie protsessa rezaniya stebley izmelchitelem rotornogo tipa. *Doklady MIISP. Tehnicheskaya mehanika*. Moskva, p. 135–142. [in Russian].
- [3] Kornilovich, R. A. (2007). Sovershenstvovanie rezhushchego apparata rotatsionnoy kosilki [Improving the cutting apparatus of a rotary mower] (*Candidate's thesis*). Ryazanskaya gosudarstvennaya selskohozyaystvennaya akademiya imeni professora P. A. Kostyicheva. Ryazan. [in Russian].
- [4] Reznik, N. E. (1975). *Teoriya rezaniya lezviem i osnovyi rascheta rezhuschih apparatov*. Moskva : Mashinostroenie. [in Russian].
- [5] Karpenko, M. I. (1984). Obosnovanie optimalnyih tehnologicheskikh parametrov rotatsionnogo rezhushchego apparata kosilok s ponizhennoy skorostyu nozhey [Justification of the optimal technological parameters of the rotary cutting apparatus of mowers with reduced knife speed] (*Extended abstract of Candidate's thesis*). Glevaha. [in Russian].
- [6] Mc Randal, D. M., Mc Nalty, P. B. (1980). Mechanical and physical properties of grasses. *Trans.*



- Asae, 4, 816. [in English].
- [7] Mc Randal, D. M., Mc Nalty, P. B. (1978). Elpact cutting behavior of forage crops. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 3, 313–338. [in English].
- [8] O'Dogherty, M. I. (1982). A review of research on forage chopping. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 27, 268–289. [in English].
- [9] Kaifash Ferents (1982). Obosnovanie dinamicheskikh parametrov i rezhima raboty rotatsionnogo rezhushchego apparata [Justification of the dynamic parameters and operating mode of the rotary cutting apparatus] (*Extended abstract of Candidate's thesis*). Moskva. [in Russian].
- [10] Ovchinnikov, Ya. L., Kuyanov, I. A. (2009). K voprosu sovershenstvovaniya raboty rotatsionnogo rezhushchego aparata. *Polzunovskiy almanah*, 3(2), 260–263. [in Russian].
- [11] Bronshteyn, I. K., Semyaev, K. A. (1981). *Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchastihisya vuzov*. Moskva : Nauka. [in Russian].
- [12] Smirnov, G. A. (1989). Issledovanie tsikloidnykh krivyykh pri analize raboty rotatsionnykh rabochih organov. *Sbornik nauchnykh trudov VIM*, Vol. 119, 19–25. [in Russian].
- [13] Osobov, V. I., Vasilev, G. K. (1983). *Senouborochnyye mashiny i kompleksy*. Moskva: Mashinostroenie. [in Russian].

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО АППАРАТА РОТАЦИОННОЙ КОСИЛКИ

Для скашивания трав при заготовке сена или сенажа основным используют косилки безподпорного среза с вращательным движением ножей, производительность которых значительно больше, чем сегментно-пальцевых косилок. Режущие аппараты безподпорного реза с вращательным движением ножей бывают с вращением их вокруг вертикальной (ротационные) и горизонтальной (роторные) осей. Косилки, которые оборудованы роторными режущими аппаратами значительно измельчают траву, поэтому их используют в косилках-измельчителях и газонокосилках. Цель работы - обосновать методику расчета конструктивных и кинематических параметров ротационных режущих аппаратов, соответствующих условиям их использования. Основными параметрами, характеризующими работу ротационных режущих аппаратов, являются: площадь, косит чем за один оборот диска; рабочая длина ножа; перекрытия ножей соседних роторов; скорость реза.

При определении основных параметров ротационного режущего аппарата косилки были сделаны следующие предположения. Считали, что угловая скорость ротора и поступательная скорость косилки неизменны, а движение агрегата прямолинейно. Кроме того, режущий аппарат осуществляет скашивание в плоскости, параллельной поверхности почвы, то есть в плоскости, перпендикулярной большинства стеблей растений. Показано, что абсолютная скорость любой точки ножа меняется от максимального значения, равное сумме окружной скорости этой точки и скорости агрегатирования косилки, до минимального - разницы вышеупомянутых скоростей. Установлено, что рабочая длина режущей кромки ножа прямо пропорциональна скорости агрегатирования косилки и обратно пропорциональна угловой скорости ротора и количеству ножей, установленных на нем. Перекрытия траектории ножей смежных роторов, зависит от радиуса ротора; количества ножей, установленных на нем и кинематического режима работы режущего аппарата. Причем, увеличение радиуса ротора требует увеличения перекрытия, а рост показателя кинематического режима и количества ножей приводит к уменьшению величины перекрытия между траекториями ножей. Полученная зависимость, которая позволяет определить площадь, косит чем за один оборот ротора.

Ключевые слова: косилка ротационная, ротор, нож, площадь скашивания, перекрытия, скорость реза.

Рис. 4. Ф. 23. Лит. 13.

DETERMINATION OF THE MAIN PARAMETERS OF THE ROTARY MOWER CUTTING APPARATUS

For mowing grass during harvesting of hay or haylage, support-free mowers with rotary movement of knives are used mainly, the productivity of which is much greater than segment-finger mowers. Free-cutting cutting apparatuses with rotational movement of knives happen with their rotation around the vertical (rotary) and horizontal (rotary) axes. Mowers that are equipped with rotary cutting devices significantly grind grass, so they are used in mower-grinders and lawn mowers. The purpose of the work is to substantiate the methodology for



calculating the structural and kinematic parameters of rotary cutting devices, corresponding to the conditions of their use. The main parameters characterizing the operation of rotary cutting devices are: area, mows than in one revolution of the disk; knife working length; overlapping knives of adjacent rotors; cutting speed.

In determining the basic parameters of the rotary cutting apparatus of the mower, the following assumptions were made. It was believed that the angular speed of the rotor and the translational speed of the mower are unchanged, and the movement of the unit is straightforward. In addition, the cutting apparatus performs mowing in a plane parallel to the soil surface, that is, in a plane perpendicular to most plant stems. It is shown that the absolute speed of any point of the knife varies from the maximum value equal to the sum of the peripheral speed of this point and the aggregation speed of the mower, to the minimum - the difference of the above speeds. It was found that the working length of the cutting edge of the knife is directly proportional to the speed of aggregation of the mower and inversely proportional to the angular velocity of the rotor and the number of knives mounted on it. The overlap of the path of the knives of adjacent rotors depends on the radius of the rotor; the number of knives mounted on it and the kinematic mode of operation of the cutting apparatus. Moreover, an increase in the radius of the rotor requires an increase in overlap, and an increase in the kinematic mode and the number of knives leads to a decrease in the overlap between the paths of the knives. The resulting dependence, which allows you to determine the area, mows than in one revolution of the rotor.

Key words: rotary mower, rotor, knife, cutting area, overlapping, cutting speed.

Fig. 4. F. 23. Ref. 13.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Кондратюк Дмитро Гнатович – кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008).

Комаха Віталій Петрович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри агроінженерії та технічного сервісу Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: komacha@vsau.vin.ua).

Кондратюк Дмитрий Игнатьевич - кандидат технических наук, доцент кафедры Агроинженерии и технического сервиса Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г.. Винница, Украина, 21008).

Комаха Виталий Петрович - кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры Агроинженерия и технического сервиса Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г.. Винница, Украина, 21008, e-mail: komacha@vsau.vin.ua).

Dmitry Kondratyuk - PhD, Associate Professor of the Department of Agroengineering and Technical Services of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyshchaya St., Vinnitsa, Ukraine, 21008).

Vitaliy Komaha - Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Agroengineering and Technical Services of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyshchaya St., Vinnitsa, Ukraine, 21008, e-mail: komacha@vsau.vin.ua).