



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **85411** (13) **U**
(51) МПК (2013.01)
B65G 31/00
E02F 3/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2013 01226	(72) Винахідник(и): Семків Олег Михайлович (UA)
(22) Дата подання заявки: 01.02.2013	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.11.2013	(73) Власник(и): Семків Олег Михайлович, вул. Ювілейна, 2А, кв. 40, смт Мала Данилівка, Дергачівський р-н, Харківська обл., 62341 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.11.2013, Бюл.№ 22	

(54) РОТОРНИЙ КИДАЧ ҐРУНТУ

(57) Реферат:

Роторний кидач ґрунту містить радіально закріплені на ступиці лопатки. Лопатка виконана із профілем оптимальної форми - брахістохрони в полі відцентрових сил, яка описується рівнянням.

UA 85411 U

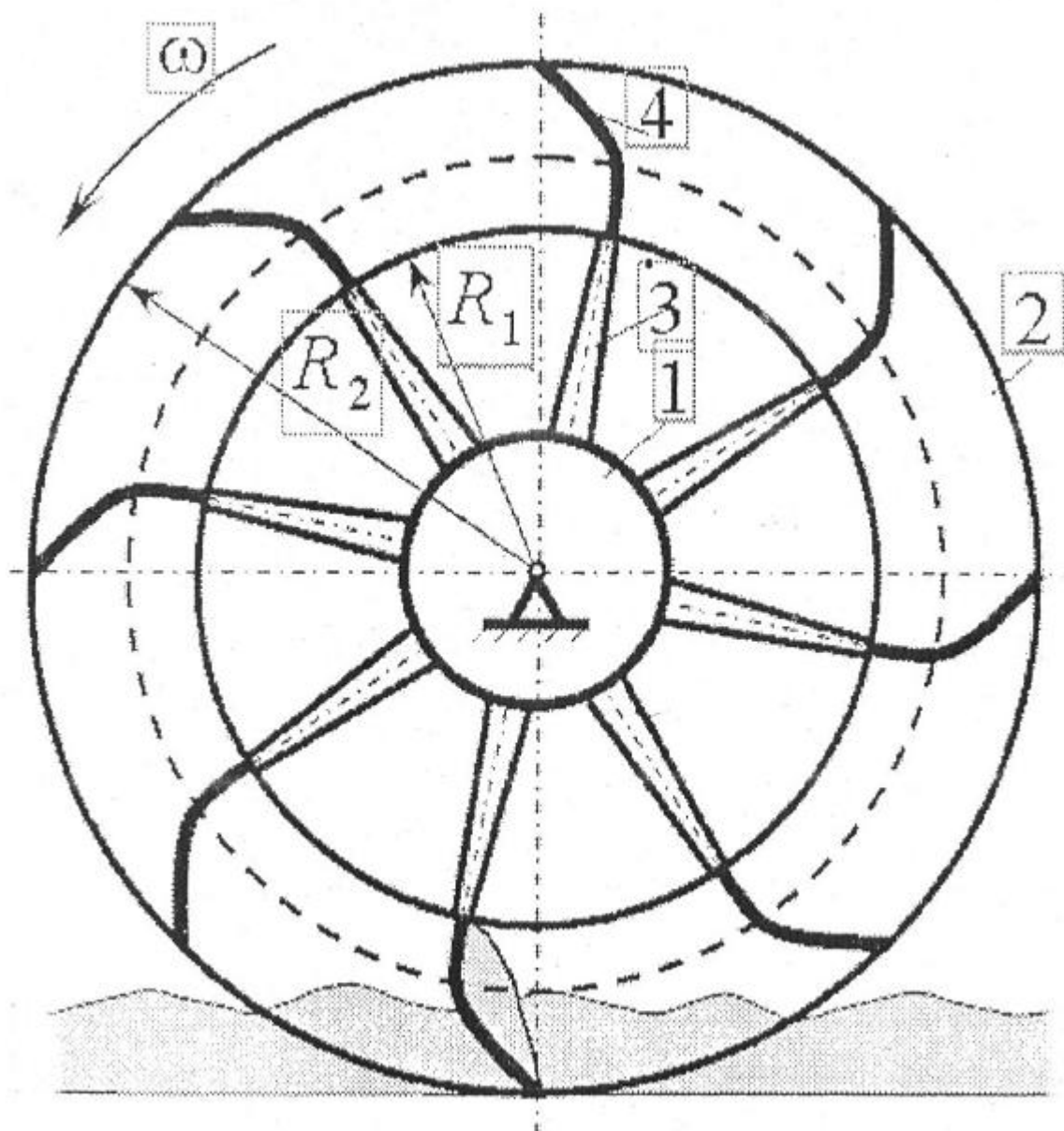


Fig. 1

Корисна модель належить до землерийних машин з роторними робочими органами, призначеними здебільшого для боротьби з низовими лісовими пожежами методом метання ґрунту і прокладання загороджувальних мінералізованих смуг.

Відомі землерийно-метальні машини з робочими органами у вигляді лопаток, радіально закріплених на привідному роторі [1, 2].

Недоліком таких машин є недостатня швидкість ґрунту в момент метання і відповідно невисока дальність кидання.

Найбільш близьким до пропонованого і вибраним за прототип є роторний метальник [3], що містить консольно розташований на підшипниковій опорі вертикальний диск з радіально закріпленими лопатками і ґрунтоутримуючими лопатками, причому диск по колу виконаний з нормально направленими до кінців лопатей Г-подібними вирізами, в яких розташовані ґрунтоутримуючі лопатки, з'єднані з диском за допомогою розміщених паралельно лопатям осей і пружин кручення, а підшипникова опора має упор, розташований з можливістю взаємодії з вертикальними роликками і зворотно-поступального повороту ґрунтоутримуючих лопаток.

Недолік цього метальника полягає в невеликій швидкості кидання ґрунту та відповідно недостатній дальності метання. Це пов'язано з тим, що форма лопаток не є оптимальною (не забезпечує мінімальну тривалість руху частинок ґрунту по лопатці). Окрім зазначеного недоліку, метальник має складну багатодетальну конструкцію.

В основу корисної моделі поставлено задачу створити роторний метальник ґрунту з лопатками оптимальної форми, що дозволяє отримати максимальну швидкість ґрунту в момент кидання.

Поставлена задача вирішується тим, що в роторному метальнику ґрунту, котрий містить радіально закріплені на ступиці лопатки, лопатка виконана із профілем оптимальної форми - брахістохрони в полі відцентрованих сил інерції, яка описується рівнянням

$$\varphi(\rho) = \arctg \sqrt{\frac{C^2 \rho^2}{\rho^2 - \rho_0^2} - 1} - \frac{1}{\sqrt{1 - C^2}} \arctg \sqrt{\frac{C^2 \rho^2}{\rho^2 - \rho_0^2} - 1} + C_1,$$

де φ , ρ - полярні координати кривої в системі координат, полюс якої співпадає з центром обертання ротора;

φ_0 , ρ_0 - початкові координати;

C , C_1 - константи, що визначаються умовою $\varphi = \varphi_0$ при $\rho = \rho_0$.

На фіг. 1 показана схема ґрунтокидача, де цифрами позначено: 1 - ступиця; 2 - кільце; 3 - спиця; 4 - криволінійна лопатка. Передбачається, що кидач обертається з кутовою швидкістю ω проти ходу годинникових стрілок. Радіуси R_1 і R_2 проходять через задню й передню крайки лопатки. Специфіка завдання полягає в тому, що рух необхідно вивчати в обертовій системі координат з використанням рівнянь динаміки відносного руху. Аналітичний опис оптимальної траєкторії одержано в полярній системі координат

$$\rho = \rho(\varphi), \quad (1)$$

де ρ - полярний радіус; φ - полярний кут.

На фіг. 2 частка ґрунту М зображена в поточному положенні з координатами (ρ, φ) на криволінійній лопатці АВ. Точки А і В мають відповідно координати (ρ_0, φ_0) і (ρ_1, φ_1) . У викладеній нижче теорії полярним радіусам ρ_0 і ρ_1 відповідають радіуси R_1 й R_2 . Для прийнятого напрямку обертання ротора ґрунтокидача вектор кутової швидкості ω буде перпендикулярний площини рисунка й спрямований на читача.

Використано наступні позначення: φ - дотична, спрямована убік зростання дугової координати s ; n - нормаль, спрямована убік увігнутості траєкторії; v_r - відносна швидкість; $a_k = 2\omega \times v_r$ - коріолісово прискорення.

Для сил прийняті такі позначення: C_e - переносна (відцентрова) сила інерції; C_k - коріолісова сила інерції; N - нормальна реакція лопатки; $F_{тр}$ - сила тертя ковзання (спрямована проти відносної швидкості).

Вирази для модуля сили C_e і її проекції на напрямок полярного радіуса збігаються

$$\Phi_e = \Phi_{ep} = m a_\omega = m \omega^2 \rho, \quad (2)$$

де m - маса частки ґрунту;

$a_\omega = \omega^2 \rho$ - осевідцентрове (нормальне) прискорення. Для коріолісової сили інерції має місце формула

$$C_k = -m a_k, \quad (3)$$

а для її модуля з урахуванням виразу для коріолісового прискорення

$$\Phi_k = 2m \omega v_r, \quad (4)$$

де $v_r = |v_{r\tau}|$ - модуль відносної швидкості;

$v_{r\tau} = \frac{ds}{dt}$ - проекція відносної швидкості на дотичну (алгебраїчна величина швидкості).

Модулі сили тертя й нормальної реакції зв'язані відомим співвідношенням

$$F_{\tau p} = Nf, (5).$$

5 де f - коефіцієнт тертя ковзання.

Для проекцій переносної (відцентрової) сили C_e на дотичну $\Phi_{e\tau}$ й нормаль Φ_{en} мають місце формули

$$\Phi_{e\tau} = \Phi_e \cos \alpha; (6) \quad \Phi_{en} = -\Phi_e \sin \alpha, (7)$$

де α - кут між вектором C_e і одиничним вектором дотичній ϕ .

10 Можна показати, що для $\cos \alpha$ й $\sin \alpha$ справедливі вирази

$$\cos \alpha = \frac{\rho'}{\sqrt{\rho^2 + \rho'^2}}; (8) \quad \sin \alpha = \frac{\rho}{\sqrt{\rho^2 + \rho'^2}}. (9)$$

Диференціальні рівняння відносного руху невільної матеріальної точки в природній формі при русі в площині будуть мати вигляд.

$$ma_{r\tau} = \Phi_{e\tau} - F_{\tau p}; \quad ma_{rn} = N - \Phi_{en} - \Phi_k, (10)$$

15 де $a_{r\tau}$, a_{rn} - проекції прискорення на дотичну й нормаль.

З урахуванням формул для дотичного й нормального прискорень

$$a_{r\tau} = \frac{dv_{r\tau}}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}, (11) \quad a_{rn} = \frac{v^2}{\rho_k} = \frac{v_{r\tau}^2}{\rho_k} = \frac{1}{\rho_k} \left(\frac{ds}{dt} \right)^2, (12)$$

рівняння можна записати інакше

$$m \frac{d^2s}{dt^2} = \Phi_{e\tau} - Nf; \quad \frac{m}{\rho_k} \left(\frac{ds}{dt} \right)^2 = N - \Phi_{en} - \Phi_k, (13)$$

20 де ρ_k - радіус кривизни траєкторії.

Перетворимо рівняння (13) до рівняння для знаходження закону руху частки з обліком того, що рівняння траєкторії виявилось доцільним визначати в полярній системі координат.

Довжина дуги й радіус кривизни кривої (1) визначаються відповідно по формулах:

$$s = s(\varphi) = \int_{\varphi_0}^{\varphi} ds = \int_{\varphi_0}^{\varphi} \sqrt{\rho^2 + \rho'^2} d\varphi; (14) \quad \rho_k(\varphi) = \frac{(\rho^2 + \rho'^2)^{3/2}}{\rho^2 + 2\rho'^2 - \rho'\rho''}, (15)$$

$$25 \quad \rho' = \frac{d\rho}{d\varphi}, \quad \rho'' = \frac{d^2\rho}{d\varphi^2}.$$

Вираз для алгебраїчної величини швидкості й дотичного прискорення представимо так:

$$v_{r\tau} = \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dt} = \frac{ds}{d\varphi} \dot{\varphi}; (16)$$

$$a_{r\tau} = \frac{dv_{r\tau}}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} = \frac{d^2s}{d\varphi^2} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + \frac{ds}{d\varphi} \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{d^2s}{d\varphi^2} \dot{\varphi}^2 + \frac{ds}{d\varphi} \ddot{\varphi}, (17)$$

де точкою позначена похідна за часом.

30 Із другого рівняння (13) для нормальної реакції з обліком (4), (7), (9), (12), (15), (16) і (17) маємо

$$N = m \left[\frac{\dot{\varphi}^2}{\rho_k} \left(\frac{ds}{d\varphi} \right)^2 - \frac{\omega^2 \rho^2}{\sqrt{\rho^2 + \rho'^2}} + 2\omega \dot{\varphi} \frac{ds}{d\varphi} \right], (18)$$

Перепишемо тепер перше рівняння (13) з урахуванням формул (2), (8), (17), (18)

$$m \left(\frac{d^2s}{d\varphi^2} \dot{\varphi}^2 + \frac{ds}{d\varphi} \ddot{\varphi} \right) = m \frac{\omega^2 \rho \rho'}{\sqrt{\rho^2 + \rho'^2}} - m \left[\frac{\dot{\varphi}^2}{\rho_k} \left(\frac{ds}{d\varphi} \right)^2 - \frac{\omega^2 \rho^2}{\sqrt{\rho^2 + \rho'^2}} + 2\omega \dot{\varphi} \frac{ds}{d\varphi} \right] f. (19)$$

35 Розділивши обидві частини виразу (19) на m , після нескладних перетворень, йому можна додати вид однорідного диференціального рівняння другого порядку зі змінними коефіцієнтами щодо полярного кута $\varphi(t)$

$$\ddot{\varphi} + \left(\frac{ds}{d\varphi} \right)^{-1} \left(\frac{d^2s}{d\varphi^2} + \left(\frac{ds}{d\varphi} \right)^2 \frac{\rho^2 + 2\rho'^2 - \rho'\rho''}{(\rho^2 + \rho'^2)^{\frac{3}{2}}} f \right) \dot{\varphi}^2 + 2\omega f \dot{\varphi} - \left(\frac{ds}{d\varphi} \right)^{-1} \frac{\omega^2 \rho(\rho' + \rho f)}{\sqrt{\rho^2 + \rho'^2}} = 0 \quad (20)$$

Рівняння (20) необхідно інтегрувати з початковими умовами: при $t = 0$ $\varphi = \varphi_0$, $\dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0$.

- Завдання вибору оптимальної форми лопатки може бути схематизоване, як завдання визначення форми кривої у полі відцентрових сил інерції, що забезпечує мінімальний час руху (завдання про брахістохрону в полі відцентрових сил). Відомо, що класичне завдання про брахістохрону для однорідного поля сил ваги була відправною точкою при створенні варіаційного числення.

Скористаємося одним з типів кривих, отриманих у результаті розв'язання такого завдання.

$$\varphi = \operatorname{arctg} z - \frac{1}{\sqrt{1-C^2}} \operatorname{arctg} - \frac{z}{\sqrt{1-C^2}} + C_1, \quad (21)$$

де

$$z = \sqrt{\frac{C^2 \rho^2}{\rho^2 - \rho_0^2} - 1}, \quad (22)$$

$C^2 < 1$ - константа.

Для знаходження постійних C і C_1 з врахуванням (22) випишемо крайові умови:

$$\text{при } \varphi = \varphi_0 \quad \rho = \rho_0, \quad z = z(\rho_0) = z_0 = \sqrt{\frac{C^2 \rho_0^2}{\rho_0^2 - \rho_0^2} - 1} = \infty; \quad (23)$$

$$\text{при } \varphi = \varphi_1 \quad \rho = \rho_1, \quad z = z(\rho_1) = z_1 = \sqrt{\frac{C^2 \rho_1^2}{\rho_1^2 - \rho_1^2} - 1} = \infty; \quad (24)$$

На лівій границі для (21) маємо

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{\sqrt{1-C^2}} \frac{\pi}{2} + C_1, \quad (25)$$

звідки

$$C_1 = \varphi_0 - \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1-C^2}} \right) \frac{\pi}{2}, \quad (26)$$

На правій границі співвідношення (21) дає

$$\varphi_1 = \operatorname{arctg} z_1 - \frac{1}{\sqrt{1-C^2}} \operatorname{arctg} - \frac{z_1}{\sqrt{1-C^2}} + C_1. \quad (27)$$

Із цього вираз аналогічно (25) для C_1 маємо

$$C_1 = \varphi_1 - \operatorname{arctg} z_1 - \frac{1}{\sqrt{1-C^2}} \operatorname{arctg} - \frac{z_1}{\sqrt{1-C^2}}, \quad (28)$$

- Для знаходження константи C скористаємося трансцендентним рівнянням, що впливає з порівняння правих частин виразень (26) і (28) при обліку крайової умови (24)

$$f(x) = \varphi_1 - \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x\rho_1^2}{\rho_1^2 - \rho_0^2} - 1} + \frac{1}{\sqrt{1-x}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x\rho_1^2}{\rho_1^2 - \rho_0^2} - 1} - \varphi_0 + \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1-x}} \right) \frac{\pi}{2} = 0, \quad (29)$$

де $x = C^2$.

- Прийняті наступні параметри: $\rho_0 = 0,496$ м, $\rho_1 = 0,632$ м, $\varphi_0 = 0$, $\varphi_1 = 20^\circ$. При наявності графіка корінь функції в середовищі MathCAD зручно знаходити з використанням убудованої функції $\operatorname{root}(f(x), x, a, b)$. Для кореня в розглянутому випадку отримане значення $x^* = 0,393 < 1$, якому відповідає $C = \sqrt{x^*} = 0,627$.

У відповідності із виразом (26) або (28) для C_1 маємо

$$C_1 = \varphi_0 - \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1-C^2}} \right) \frac{\pi}{2} = \varphi_1 - \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{C^2 \rho_1^2}{\rho_1^2 - \rho_0^2} - 1} + \frac{1}{\sqrt{1-C^2}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{C^2 \rho_1^2}{\rho_1^2 - \rho_0^2} - 1} = 0,445$$

Знайдені значення постійних C і C_1 за допомогою формул (21) і (22) дозволяють записати такий вираз для шуканої функції

$$\varphi(\rho) = \arctg \sqrt{\frac{C^2 \rho^2}{\rho^2 - \rho_0^2} - 1} - \frac{1}{\sqrt{1 - C^2}} \arctg \sqrt{\frac{C^2 \rho^2}{\rho^2 - \rho_0^2} - 1} + C_1, \quad (30)$$

Більш зручний для аналізу графік оберненої функції $\rho(\varphi)$ - на фіг. 3.

- 5 Побудова й інтегрування диференціального рівняння (20) при проведенні розрахунків має ряд особливостей, обумовлених тим, що аналітичне подання оптимальної траєкторії (30) записано в полярній системі координат, причому у оберненій формі. Аналітично розв'язати вираз (30) відносно ρ не вдається.

- 10 Однак сучасні математичні пакети, зокрема Math CAD, дозволяють досить просто обійти зазначені труднощі, використовуючи ідею інтерполяції таблично заданих функцій. Розрахунки виконувалися із застосуванням кубічної сплайн-інтерполяції.

На фіг. 3 наведені графіки функцій $\rho(\varphi)$ для граничних значень ρ_0 при $C^2 > 1$ та різних значеннях φ_1 .

- 15 Таким чином, форму профілю лопатки доцільно вибрати у вигляді брахістохрони для центральної сили - відцентрової сили інерції, записаної у полярній системі координат.

Порівняльні експериментальні дослідження роторних кидачів з прямими лопатками та з лопатками запропонованого профілю довели переваги останнього, зокрема (при інших рівних умовах) дальність кидання піщаного ґрунту виявилась більшою приблизно на 30 % і перевищувала 45 метрів.

- 20 Джерела інформації:

1. SU 1555236, кл. В 65 G 31/04, Е 02 F 3/24, 07.04.90.
2. SU 1659595, кд. Е 02 F 3/24, 30.06.91.
3. SU 1712273, кл. В 65 G 31/04, Е 02 F 3/24, 15.02.92 - Прототип.

25 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

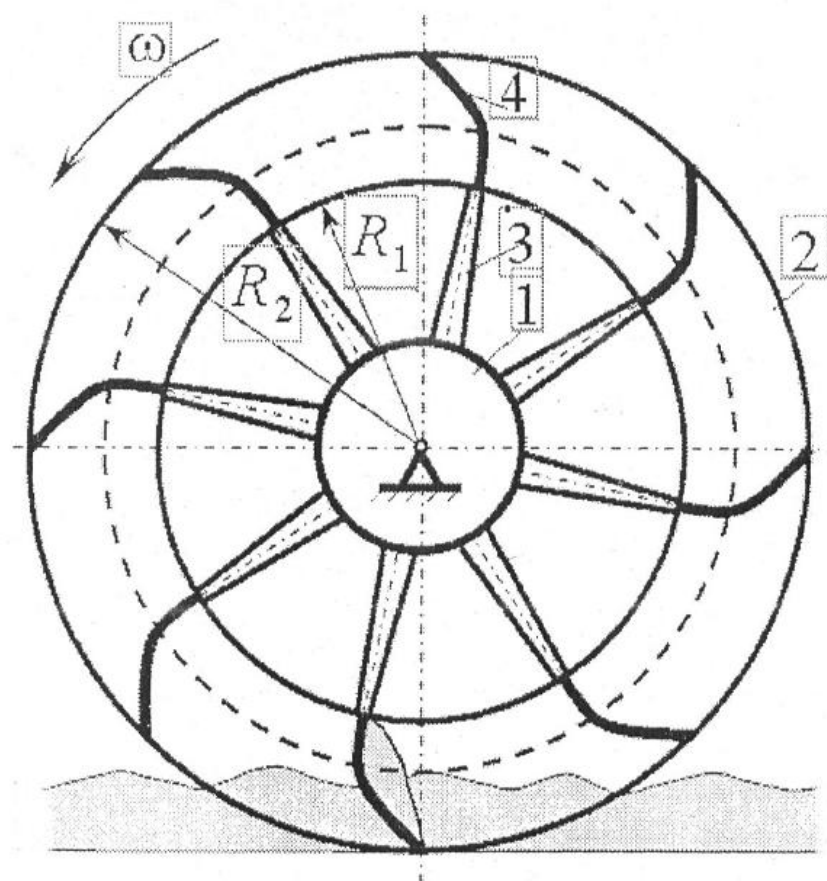
Роторний кидач ґрунту, що містить радіально закріплені на ступиці лопатки, який **відрізняється** тим, що лопатка виконана із профілем оптимальної форми - брахістохрони в полі відцентрових сил, яка описується рівнянням:

30
$$\varphi(\rho) = \arctg \sqrt{\frac{C^2 \rho^2}{\rho^2 - \rho_0^2} - 1} - \frac{1}{\sqrt{1 - C^2}} \arctg \sqrt{\frac{C^2 \rho^2}{\rho^2 - \rho_0^2} - 1} + C_1,$$

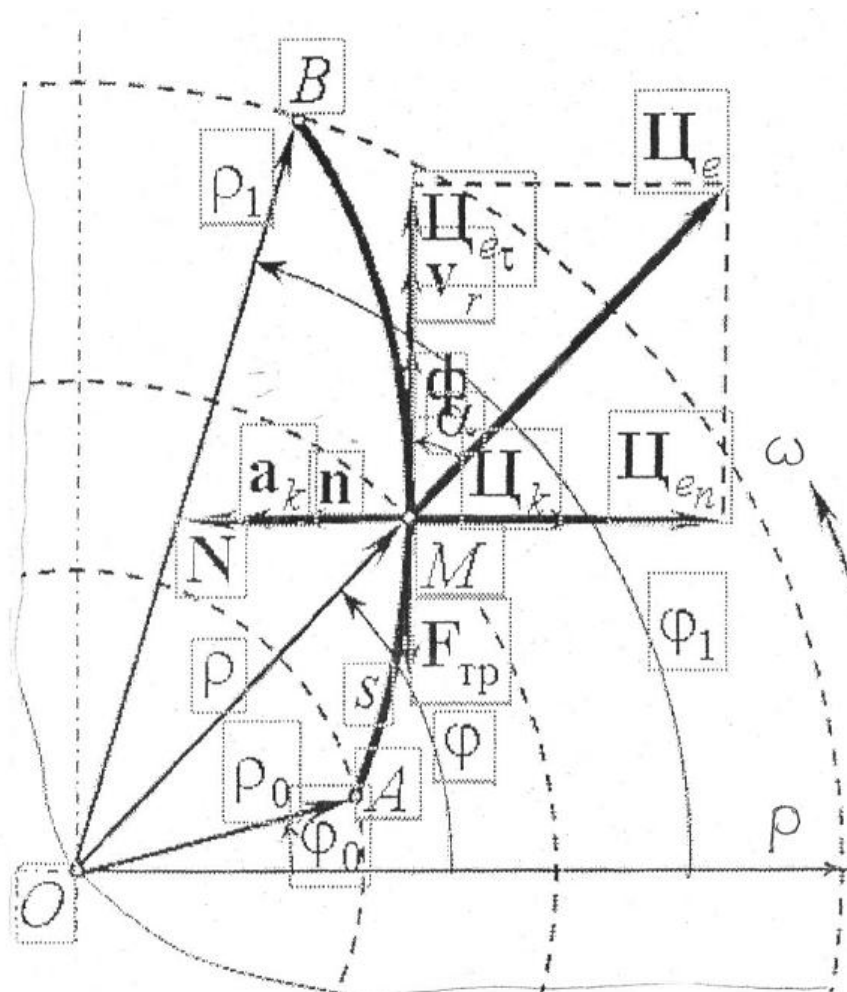
де φ , ρ - полярні координати кривої в системі координат, полюс якої співпадає з центром обертання ротора;

φ_0 , ρ_0 - початкові координати;

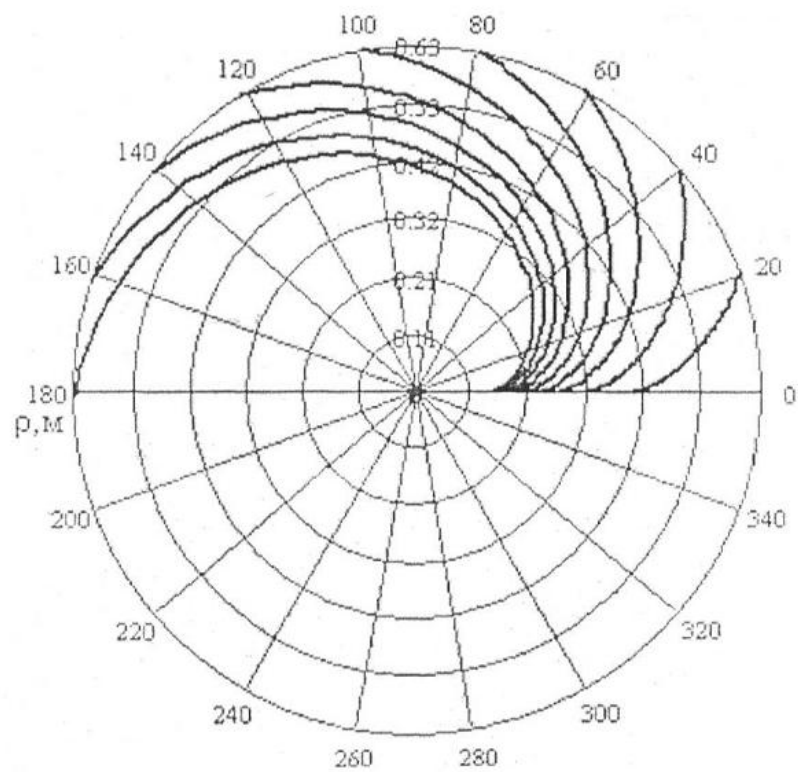
C , C_1 - константи, що визначаються умовою $\varphi = \varphi_0$ при $\rho = \rho_0$.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601