структурной составляющей. Это обусловливает особый характер микрорельефа поверхности трения.

На рис. 2 представлен микрорельеф поверхности трения стали 30Г после 36 часов испытаний.

Совсем иной микрорельеф стали 25ХГСР (рис. 3), где видны отдельные «следы» микрорезания абразивными частицами.

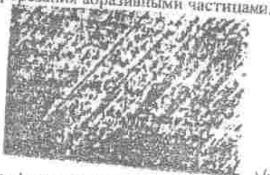

Рис. 2 - Микрорельеф поверхности трения стали 30Г после 36 ч испытаний ×600

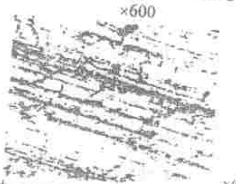

Рис. 3 - Микрорельеф поверхности трения стали 25ХГСР после 36 ч испытания ×600

Для объяснения различия в скорости коррозии исследуемых сталей сравнивались их твердость. На рис. 4 приведены гистограммы твердости исследуемых сталей, из которых следует что наименьшую твердость имеет сталь 30Г, наибольшую – 25ХГСР.

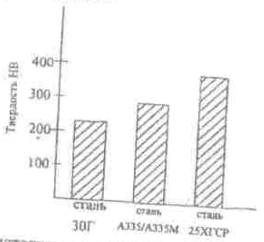

Рис. 4 - Гистограммы твердости исследуемых сталей

Выводы

1. Скорость коррозии стали 30Г в 5 раз больше, чем стали 25ХГСР.

2. Отмеченные различия объясняются структурным состоянием и значениями твердости сталей.

3. Сталь 30Г имеет неоднородную феррито-перлитную структуру и твердость 220...250 НВ, а сталь 25ХГСР – однородную троститную структуру и твердость 380...390 НВ.

4. После 36 часов испытаний в микрорельефе стали 30Г наблюдается много рисок и наплывов, а в стали 25ХГСР – видны отдельные следы микрорезания абразивными частицами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гребенюк С.С. К вопросу о механизме абразивного изнашивания / С.С. Гребенюк // Проблемы трения и изнашивания. – К., Техника, 1998. – №. С. 15–20.
2. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании / М.М. Тененбаум. – М.: Машиностроение, 1966. – 331 с.

УДК 517.972:514.18

Семків О.М., Попова А.М.

Національний університет цивільного захисту України, м. Харків

Шатохин В.М.

Харківський національний університет будівництва і архітектури

ПРО ОПТИМАЛЬНУ ФОРМУ ЛОПАТКИ РОТОРНОГО МЕТАЛЬНИКА ГРУНТУ

Запропоновано метод визначення оптимальної форми профілю лопатки роторного метальника ґрунту, який базується на розв'язанні задачі про брахістохрону для поля відцентрових сил інерції.

Ключові слова: метальник ґрунту, обертовий ротор, форма профілю лопатки, відцентрова сила інерції, брахістохрона, функціонал часу руху, рівняння Ейлера.

Предложенный метод определения оптимальной формы лопатки роторного грунтометателя базируется на решении задачи о брахистохроне для поля центробежных сил инерции. Построен функционал времени в полярной системе координат и записано соответствующее уравнение Эйлера, получен его первый интеграл, для которого найдено аналитическое решение. Представлены результаты применения теории для нахождения оптимальной формы лопатки грунтометателя.

Ключевые слова: метатель почвы, вращающийся ротор, форма профиля лопатки, центробежная сила инерции, брахистохроне, функционал времени движения, уравнения Эйлера

Method of determination of ground-thrower's blade optimum form based on solution of brachistochrone problem for the field of centrifugal inertial forces. Blade of optimal shape – brachistichrone in the centrifugal force field, which equation had been obtained in polar coordina te system, is considered. The results of kinematic behaviour researches of movingparticlearegiven.

УДК 69

Анотація

Вісник включає статті вчених України, в яких висвітлюються результати фундаментальних та прикладних досліджень з пріоритетних напрямків: охорона навколишнього середовища, ресурсозберігаючі технології в будівництві та будівельної індустрії, нові будівельні матеріали та конструкції, підвищення ефективності капітальних вкладень, підвищення рівня механізації та автоматизації виробничих процесів.

Для наукових працівників і спеціалістів у галузі будівництва.

Бажаючі будівельні фірми та підприємства можуть розмістити в ньому свою рекламу.

Аннотация

Вестник включает в себя статьи ученых Украины, в которых освещаются результаты фундаментальных и прикладных исследований по приоритетным направлениям: охрана окружающей среды, ресурсосберегающие технологии в строительстве и строительной индустрии, новые строительные материалы и конструкции, повышение эффективности капитальных вложений, повышение уровня автоматизации и механизации производственных процессов.

Для научных работников и специалистов в области строительства.

Желающие строительные фирмы и организации могут разместить в нем свою рекламу.

Редакційна колегія: д-р техн. наук Д.Ф.Гончаренко (головний редактор), д-р техн. наук О.Л.Шагін, д-р техн. наук В.В.Фурсов, д-р техн. наук В.С.Шмуклер, д-р техн. наук О.Ф.Редько, д-р техн. наук С.М.Галін, д-р техн. наук О.Г. Вайнберг, д-р арх-ри О.О. Фоменко, д-р арх-ри В.І.Кравець, д-р арх-ри В.П.Мироненко, канд. техн. наук Сопов В.П. (відповідальний редактор), Т.Г.Євзумова (відповідальний секретар)

Затверджено до друку згідно протоколу засідання Вченої ради ХНУБА №3 від 26.10.2012 р.

Адреса редакційної колегії: 61002, Харків-2, Сумська, 40, ХНУБА, [illegible] 2000-657

© Харківський національний університет будівництва та архітектури, 2012

© Харківське обласне територіальне відділення Академії будівництва України, 2012

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА УКРАЇНИ

НАУКОВИЙ ВІСНИК БУДІВНИЦТВА

Вип. 70

Зареєстровано 22.04.97 р. серія ХК № 457 Головним комітетом інформації Харківської обласної державної адміністрації, перереєстровано 23.11.2010 р. серія КВ № 7253-6023 ПР Міністерством юстиції України та Постановою Президіуму ВАК України №1-05/8 від 22.12.2010 р.

Харків
ХНУБА
ХОТВ АБУ
2012

Keywords: a soil, the ground-throw rotor, the shape of the blade profile, the centrifugal force of inertia, the brachistochrone, the functionality of the time of the movement, the Euler equation.

Постановка проблеми. При створенні технічних пристроїв певного класу виникає проблема вибору форми напрямних, у яких рухаються матеріальні частки (наприклад, ґрунту) під дією відцентрових сил. Зокрема, актуальною є проблема створення ґрунтометальних механізмів, використовуваних для гасіння лісових пожеж у місцевостях з дефіцитом джерел води [1-5]. На практиці застосовують роторні ґрунтометальники [2-5], які за допомогою прикріплених до обертового ротора лопаток викидають частки ґрунту до зони загоряння. Технологічні характеристики цих пристроїв істотно залежать від геометричної форми й розташування лопаток. Це вказує на актуальність дослідження форми профілю лопаток – включаючи пошук їхньої оптимальної форми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [2, 3, 5] проведені дослідження з вибору параметрів ґрунтометальника, профіль лопаток яких є прямолінійним. Перспективним буде використання лопаток з криволінійними профілями [4]. Методи вибору їхньої форми й аналізу руху часток ґрунту по них до цього часу не досить розроблені. Задача пошуку оптимальної форми лопатки може бути формалізована як визначення форми кривої у полі відцентрових сил інерції, яка забезпечує мінімальний час руху. Прототипом є задача про брахістохрону у полі відцентрових сил. Зазначимо, що класична задача про брахістохрону для однорідного поля сил ваги була відправною точкою при створенні варіаційного числення [6]. Відомі [7] спроби розв'язання аналогічних задач для випадку центральної сили тяжіння й сталої за величиною центральної сили відштовхування. У статті [8] викладено метод знаходження траєкторії точки за умови мінімізації часу руху при дії відцентрової сили інерції.

Постановка завдання та його вирішення. Розробити метод складання і розв'язання функціонала часу для задачі про брахістохрону у полі відцентрових сил інерції, та визначити оптимальні за геометричною формою профілі лопаток метальників ґрунту.

Розв'язання задачі про функціонал часу руху у полі відцентрових сил слід проводити в полярній системі координат.

Побудова функціонала часу. Нехай точки A і B розташовані в центральному полі сил відштовхування – відцентрових сил із центром у точці O (рис. 1). Проведемо через точки A, B і центр O площину й розглянемо криві, що з'єднують ці точки й розташовані на цій площині. Виберемо з цих кривих таку, щоб матеріальна точка, яка виходить із A зі швидкістю $v_0 = 0$ і рухається вниз під дією відцентрової сили, досягла точки B за мінімальний час.

Уведемо полярну систему координат ρ, φ із центром у заданій точці. Поточні координати точки M позначимо, як ρ і φ; координати точок A і B нехай будуть відповідно (ρ_0, φ_0) й (ρ_1, φ_1). Проекція відцентрової сили інерції матеріальної точки, пов'язаної з обертовим тілом, на напрямок радіуса ρ має вигляд

$$F_\rho = m a_\omega = m\omega^2\rho, \tag{1}$$

де m – маса точки; $a_\omega = \omega^2\rho$ – відцентрове (нормальне) прискорення; ω – кутова швидкість.

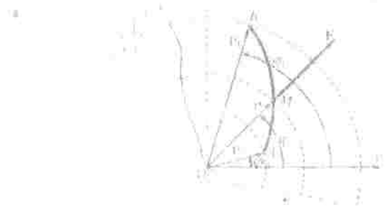

Рис. 1 – Схема для побудови брахістохрони у полі відцентрових сил

Тоді вираз для потенціальної енергії відцентрової сили інерції можна представити так [9]:

$$\Pi = -\int_0^\rho F_\rho d\rho = -m\omega^2\int_0^\rho \rho d\rho = -\frac{m\omega^2}{2}\rho^2. \tag{2}$$

При виводі формули (2) приймалося, що початковим положенням для визначення потенціальної енергії є відштовхувальний центр (точка O), де потенціальна енергія дорівнює нулю.

Якщо нехтувати силами тертя й опору, то має місце закон збереження енергії у відносному русі у рівномірно обертовій навколо нерухомої осі системі координат [9]:

$$T + \Pi = h = const, \tag{3}$$

де $T = \frac{1}{2}mv^2$ – кінетична енергія точки у відносному русі стосовно обертової системи координат, $h = -\frac{m\omega^2}{2}\rho_0^2$ – постійна енергії.

Надалі вважатимемо, що у формулі (3) враховується тільки потенціальна енергія відцентрової сили інерції. З погляду вираження це найбільш важливий випадок. У технологічних пристроях кутова швидкість така, що вплив сили ваги на рух точки є незначним. При аналізі руху в горизонтальній площині це застереження взагалі виявляється зайвим.

З урахуванням виразу (2) формула (3) набуває вигляду

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{m\omega^2}{2}\rho^2 = -\frac{m\omega^2}{2}\rho_0^2. \tag{4}$$

Звідки маємо формулу для обчислення швидкості точки

$$v=\omega\sqrt{\rho^2-\rho_0^2}\quad(\rho>\rho_0). \tag{5}$$

З визначення алгебраїчної величини швидкості (проекції швидкості на дотичну до траєкторії) $v=v_\tau=\frac{ds}{dt}$, виразу для квадрата диференціала дуги у полярних координатах $ds^2=d\rho^2+\rho^2d\varphi^2$ і формули (5) слідує, що

$$dt=\frac{ds}{v}=\frac{\sqrt{\rho'^2+\rho^2}}{\omega\sqrt{\rho^2-\rho_0^2}}d\varphi, \tag{6}$$

де $\rho'=\frac{d\rho}{d\varphi}$.

При відліку дуги у напрямку руху точки диференціал шляху збігається з диференціалом дугової координати ds, а модуль швидкості точки і її алгебраїчною величиною $v=v_\tau$.

Інтегруючи, одержимо функціонал

$$t[\rho(\varphi)]=\frac{1}{\omega}\int_{\varphi_0}^{\varphi_1}\frac{\sqrt{\rho'^2+\rho^2}}{\sqrt{\rho^2-\rho_0^2}}d\varphi. \tag{7}$$

Пошук екстремуму функціонала. Для підінтегральної функції інтеграла (7) введемо позначення

$$P=P(\rho,\rho')=\frac{\sqrt{\rho'^2+\rho^2}}{\sqrt{\rho^2-\rho_0^2}}. \tag{8}$$

На кривій, яка реалізує екстремум розглянутого функціонала (7), повинна виконуватися умова, яка випливає з необхідних умов екстремуму функціонала [6]:

$$P_\rho-\frac{d}{d\varphi}P_{\rho'}=0, \tag{9}$$

де P_ρ, $P_{\rho'}$ – похідні від P відповідно по ρ й ρ'.

Таким чином, шукана функція $\rho=\rho(\varphi)$ є розв'язанням диференціального рівняння другого порядку (9), або з використанням позначення $\rho''=\frac{d^2\rho}{d\varphi^2}$, в розгорнутому вигляді

$$P_\rho-P_{\rho'\varphi}-P_{\rho'\rho}\rho'-P_{\rho'\rho'}\rho''=0. \tag{10}$$

Рівняння (10) є рівнянням Ейлера. У розглянутому випадку P залежить лише від ρ і ρ', тому фактично воно є більш компактним

$$P_\rho-P_{\rho'\rho}\rho'-P_{\rho'\rho'}\rho''=0, \tag{11}$$

тому що $P_{\rho'\varphi}=0$.

Якщо помножити всі компоненти рівняння на ρ', то ліва частина перетворюється в повну похідну:

$$\frac{d}{d\varphi}\left(P-\rho' P_{\rho'}\right).$$

Отже, рівняння Ейлера має перший інтеграл

$$P-\rho' P_{\rho'}=\frac{1}{C}. \tag{12}$$

У розглянутому випадку

$$P_{\rho'}=\frac{\rho'}{\sqrt{\rho^2-\rho_0^2}\sqrt{\rho'^2+\rho^2}},$$

тому формула (12) набуває вигляду

$$\frac{\rho^2}{\sqrt{\rho^2-\rho_0^2}\sqrt{\rho'^2+\rho^2}}=\frac{1}{C}. \tag{13}$$

З виразу (13) після спрощення одержимо,

$$\frac{d\rho}{d\varphi}=\pm\rho\sqrt{\frac{C^2\rho^2}{\rho^2-\rho_0^2}-1}. \tag{14}$$

Диференціальне рівняння (14) допускає аналітичний [illegible] [illegible] формул [illegible]

$$\varphi=\begin{cases}\operatorname{arctg} z+C_1, & C^2=1\\ \operatorname{arctg} z-\frac{1}{\sqrt{1-C^2}}\operatorname{arctg}\frac{z}{\sqrt{1-C^2}}+C_1, & C^2<1\\ \operatorname{arctg} z-\frac{1}{2\sqrt{C^2-1}}\ln\left|\frac{z-\sqrt{C^2-1}}{z+\sqrt{C^2-1}}\right|+C_1, & C^2>1\end{cases} \tag{15}$$

де

$$z=\sqrt{\frac{C^2\rho^2}{\rho^2-\rho_0^2}-1}. \tag{16}$$

Для знаходження постійних C і C_1 з врахуванням (16) виконуються крайові умови:

$$\text{при } \varphi=\varphi_0 \quad \rho=\rho_0, \quad z=z(\rho_0)=z_0=\sqrt{\frac{C^2\rho_0^2}{\rho_0^2-\rho_0^2}-1}, \tag{17}$$

$$\text{при } \varphi=\varphi_1 \quad \rho=\rho_1, \quad z=z(\rho_1)=z_1=\sqrt{\frac{C^2\rho_1^2}{\rho_1^2-\rho_0^2}-1}. \tag{18}$$

На лівій границі співвідношення (15) набувають вигляду якому відповідає $C=\sqrt{x^*}=0{,}627$. У відповідності із другим виразом (20) або (22) і урахуванням (18) для C_1 маємо

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

$$+\frac{1}{\sqrt{1-C^2}}\operatorname{arctg}\frac{\sqrt{\frac{C^2\rho_1^2}{\rho_1^2-\rho_0^2}-1}}{\sqrt{1-C^2}}=0{,}445.$$

Знайдені значення постійних C і C_1 за допомогою формул (15) і (16) дозволяють записати вираз для шуканої функції:

$$\varphi(\rho)=\operatorname{arctg}\sqrt{\frac{C^2\rho^2}{\rho^2-\rho_0^2}-1}-\frac{1}{\sqrt{1-C^2}}\operatorname{arctg}\frac{\sqrt{\frac{C^2\rho^2}{\rho^2-\rho_0^2}-1}}{\sqrt{1-C^2}}+C_1 \qquad (24)$$

Графік цієї функції представлений на рис. 4, а; більше зручний для аналізу графік оберненої функції $\rho(\varphi)$ – на рис. 4, б [11].

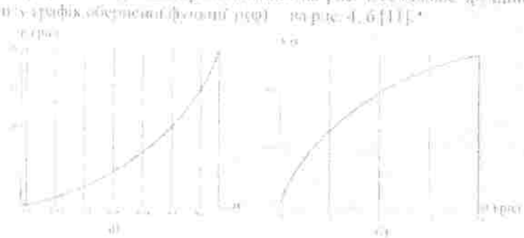

Рис. 4 - Графіки функцій: а) $\varphi(\rho)$; б) $\rho(\varphi)$.

На завершення наведемо графіки залежностей $\rho(\varphi)$ у полярній системі координат (рис. 5) для граничних значень ρ_0^*, які забезпечують можливість використання формули (24) ($C^2<1$) для побудови розв'язків. Значення $\rho_1=0{,}52$ м, а кут φ_1 приймався кратним 20°.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення аналітичної залежності властивостей оптимальних траєкторій від параметрів.

Висновки

1. Розроблено метод розв'язання задачі про брахістохрону для точки, яка рухається під дією відцентрової сили інерції.

2. Побудовано функціонал часу в полярній системі координат.

3. Отримано перший інтеграл рівняння Ейлера у формі диференціального рівняння першого порядку й знайдено його аналітичний розв'язок.

4. Наведено результати розрахунків траєкторій для вибору оптимальної форми лопатки метальника ґрунту.

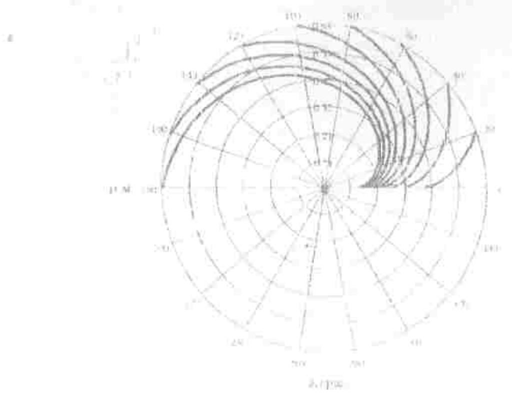

Рис. 5 - Графіки функцій $\rho(\varphi)$ для граничних значень ρ_0^* [illegible] при різних значеннях φ_1

ЛІТЕРАТУРА:

1. Семків О.М. Розрахунок робочого органу дисковою ґрунтометального механізму / Семків О.М., Шатохін В.М. // Міжвідомчий науково-технічний збірник "Прикладна геометрія та інженерна графіка". Випуск 87. – К.: КНУБА, 2011. – С. 303-312.
2. Семків О.М. Дослідження траєкторії руху частки ґрунту після її вильоту з робочої поверхні лопатки роторного ґрунтометальника / Семків О.М., Попова А.М. // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. Вип. 4. – Т. 54. – С. 126-134.
3. Попова А.М. Дослідження руху частки ґрунту по лопатці за допомогою комп'ютерних експериментів / Попова А.М., Шатохін В.М. // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. Вип. 4. – Т. 54. – С. 135-141.
4. Семкив О.М. Исследование движения частицы грунта по лопатке с профилем оптимальной формы в поле центробежных сил инерции / Семкив О.М., Шатохин В.М., Попова А.Н. // Міжвідомчий науково-технічний збірник "Технічна естетика і дизайн". – К.: КНУБА, 2012. – Вип. 11. – С. 165-174.
5. Шатохин В.М. Исследование движения частиц грунта со случайными параметрами, выбрасываемых ротором грунтометателем / Шатохин В.М., Шатохина Н.В., Попова А.Н. // Міжвідомчий науково-технічний збірник "Прикладна геометрія та інженерна графіка". – К.: КНУБА, 2012. – Вип. 90. – С. 383-390.
6. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление / Эль-