УДК 631.311 DOI: 10.31388/2078-0877-19-3-115-120

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ РУХУ ШАРУ ҐРУНТУ ПО КРИВОЛІНІЙНІЙ РОБОЧІЙ ПОВЕРХНІ РОЗПУШУВАЧА

Леженкін О. М., д. т. н.,
Сєрий І. О., інж.,
Коломієць С. М., к. т. н.,
Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Д. Моторного
Рубцов М. О., к. т. н.
Мелітопольський державний педагогічний університет ім. Б. Хмельницького
тел. (098) 89-00-313

***Анотація* – стаття присвячена теоретичним дослідженням додаткових елементів ґрунтообробного робочого органу, а саме аналізу руху шару ґрунту по робочій поверхні нерухомих розпушувачів.**

Розглянуто рух невільної матеріальної точці по криволінійній поверхні, визначені сила тертя та сила нормальної реакції. Складено розрахункову схему сил діючих на частку ґрунту при її русі по криволінійній робочій поверхні та за допомогою рівнянь Лагранжа для невільної матеріальної точки отримана система диференційних рівнянь. Розв'язання цієї системи дає можливість визначити тяговий опір.

***Ключові слова* – плоскоріз, розпушувач, рух ґрунту, диференційні рівняння, сили, рівняння зв'язку, невільний рух, тяговий опір.**

Постановка проблеми. Останнім часом в Україні при вирощуванні сільськогосподарських культур має місце тенденція до збільшення частки безполицевого обробітку ґрунту в порівнянні з оранкою. При цьому, одним із ефективних знарядь для обробітку ґрунту в умовах Півдня України виступає культиватор-плоскоріз. Але для забезпечення необхідної за агротехнічними вимогами якості кришення ґрунту останнім на всій глибині орного шару використовують додаткові робочі органи. Вони або суттєво ускладнюють конструкцію існуючих робочих органів, або підвищують питомі енерговитрати на подолання машинно-тракторними агрегатами (МТА) тягового опору зазначених знарядь до

© Леженкін О. М., Сєрий І. О., Коломієць С. М., Рубцов М. О.

рівня орних МТА. Тому існує народногосподарська проблема зниження питомих енерговитрат на подолання тягового опору ґрунтообробних МТА.

У зв'язку з вищевикладеним виникає задача розробки робочого органу з нерухомими додатковими елементами – розпушувачами.

Аналіз останніх досліджень. Нині можна з впевненістю констатувати факт існування великої кількості теоретичних досліджень плоскорізальних робочих органів, включаючи дослідницькі роботи, наукові публікації та дисертації, присвячені цій тематиці [1-13]. На підставі аналізу теоретичних досліджень визначені напрями, в яких йде вдосконалення плоскорізальних робочих органів (рис. 1).

Рис. 1. Напрями вдосконалення плоскорізів

Варто відзначити, що найбільший вплив на показники використання плоскорізальних робочих органів має саме форма та параметри поверхні лемеша, цей факт підтверджує й те, що більшість досліджень лежать саме в цій площині.

Але, якщо розглянути теоретичні дослідження, то рух шару ґрунту по криволінійній поверхні розпушувача розглянутий не в достатньому обсязі, а саме це питання є основним при обґрунтуванні параметрів розпушувачів.

Формулювання цілей статті. Побудувати математичну модель руху ґрунту по криволінійній поверхні розпушувача, розв'язок якої дає можливість теоретично визначити тяговий опір ґрунтообробного знаряддя.

Основна частина. Досліджуваний робочий орган з розпушувачами має криволінійну поверхню, тому для теоретичного аналізу використовуємо рівняння Лагранжа I роду для невільного руху матеріальної точки. У загальному вигляді воно має наступний математичний вираз [14]

$$\begin{cases} m\frac{d^2x}{dt^2} = \sum F_{kx} + N_x + F_x^{\text{тер}} \\ m\frac{d^2y}{dt^2} = \sum F_{ky} + N_y + F_y^{\text{тер}} \end{cases}; \quad (1)$$

де m – маса шару грунту, кг;

x,y – закон переміщення шару ґрунту вздовж рухомої системи координат XOY;

N_x, N_y – проекції нормальної реакції на осі X та Y, Н;

$F_x^{тер}$, $F_y^{тер}$ – проекції сили тертя на осі X та Y, Н.

Складемо розрахункову схему сил діючих на частку ґрунту при її русі по криволінійній робочій поверхні (рис. 2).

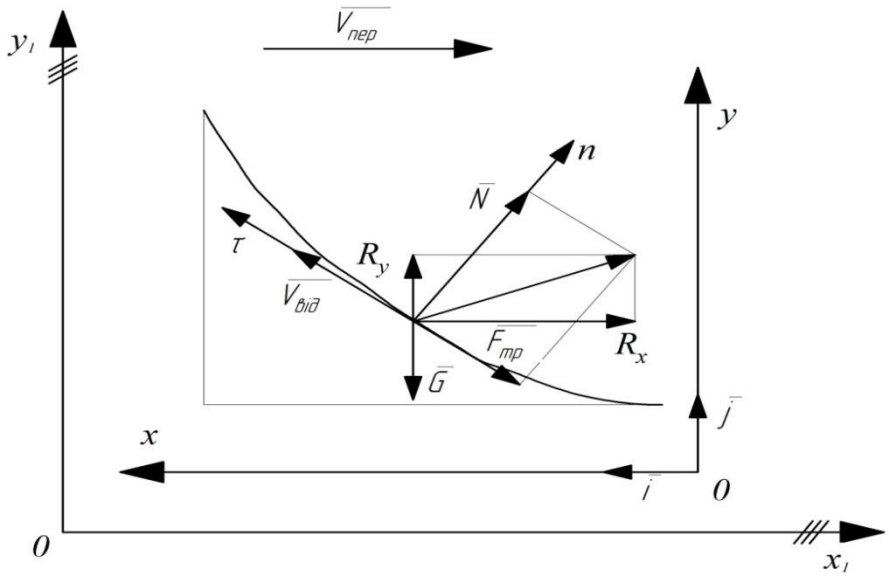

Рис. 2. Схема сил діючих на частку грунту при її русі по криволенійній робочій поверхні розпушувача

Визначимо проекції нормальної реакції та проекції сили тертя, підставивши їх у рівняння (1).

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{2N\cdot k_i x}{\sqrt{4k_i^2x^2+4V_{пер}^4}} - \frac{N\cdot ƒ}{\sqrt{(\frac{dx}{dt})^2+(\frac{dy}{dt})^2}}\cdot\frac{dx}{dt}; \qquad (2)$$

$$m\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{2N\cdot V_{пер}^2}{\sqrt{4k_i^2x^2+4V_{пер}^4}} - \frac{N\cdot ƒ}{\sqrt{(\frac{dx}{dt})^2+(\frac{dy}{dt})^2}}\cdot\frac{dy}{dt}.$$

де $V_{пер}$ – переносна швидкість, тобто швидкість руху агрегату, м/с;

ƒ – коефіцієнт тертя;

k_i – інтенсивність впливу, м/с^2.

Приєднавши до двох отриманих рівнянь зв'язку отримаємо систему з трьох рівнянь:

$$\begin{cases} m\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{2N\cdot k_i x}{\sqrt{4k_i^2x^2+4V_{пер}^4}} - \frac{N\cdot ƒ}{\sqrt{(\frac{dx}{dt})^2+(\frac{dy}{dt})^2}}\cdot\frac{dx}{dt} \\ m\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{2N\cdot V_{пер}^2}{\sqrt{4k_i^2x^2+4V_{пер}^4}} - \frac{N\cdot ƒ}{\sqrt{(\frac{dx}{dt})^2+(\frac{dy}{dt})^2}}\cdot\frac{dy}{dt} \\ 2V_{пер}^2y - k_i x^2 = 0 \end{cases}; \qquad (3)$$

З практичної точки зору основним параметром, який входить до цих рівнянь є нормальна реакція, яку можна визначити після

розв'язання рівнянь (3). В загальному вигляді її можна записати наступним чином:

$$N = \frac{-m}{\sqrt{x^2+a^2}} \cdot \left(C_1 \frac{e^{-f \cdot \mathrm{arctg}\frac{x}{a}}}{\sqrt{x^2+a^2}} \right)^2 \quad (4)$$

де a – умовне позначення, $a = \frac{V_{пер}^2}{k_i}$, м;

C_i – постійна інтегрування, м^2/с.

Після визначення постійної інтегрування рівняння (4) приймає вигляд:

$$N = \frac{-0{,}3}{\sqrt{x^2+a^2}} \cdot \left(0{,}002 \cdot \frac{e^{-0{,}3 \cdot \mathrm{arctg}\frac{x}{a}}}{\sqrt{x^2+a^2}} \right)^2 \quad (5)$$

Отримавши значення N маємо змогу розрахувати значення сили тертя $F_{тер}$, та тяговий опір P:

$$F_{тер} = f \cdot N, \quad (6)$$

$$\overline{P} = \overline{N} + \overline{F_{тер}}. \quad (7)$$

Висновки. Розроблена математична модель руху частки грунту по криволінійній поверхні розпушувача у вигляді системи диференційних рівнянь, розв'язання якої дає можливість визначити тяговий опір.

Література:

1. *Кушнарев А. С., Артёмов Н. П.* Биосферные основы повышения продуктивности земледелия // Інженерія природокористування. 2015. № 1 (3). С. 16-22.

2. *Панов И. М., Ветохин В. И.* Физические основы механики почв. Киев: Феникс, 2008. 266 с.

3. *Медведев В. В., Лактионова Т. Н.* Почвенно-технологическое районирование пахотных земель Украины. Харьков, 2007. 396 с.

4. *Корабельский В., Кравчук В., Павлоцкая В.* Техническое обоснование и использование в экологической почвообработке поверхностей знакопеременного воздействия // Техника АПК. 2001. № 7-8. С. 24-26.

5. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / за ред. В. І. Кравчука, М. І. Грицишина, С. М. Коваля. Київ: Аграрна наука, 2004. 396 с.

6. *Токушев Ж. Е.* Теория и расчет орудий для глубокого рыхления плотных почв. Москва: Инфра-М, 2003. 300 с.

7. *Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В.* Бионическое обоснование конструкции упругих рабочих органов культиватора-плоскореза //

Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. Симферополь, 2016. № 6 (169). С. 50-59.

8. *Попов И. В.* Разработка и обоснование параметров машины для плоскорезной обработки почвы с одновременным разуплотнением подпахотного слоя: автореф. дис... канд. техн. наук. Оренбург, 1996. 22 с.

9. *Путрин А. С.* Основы проектирования рабочих органов для рыхления почв, находящихся за пределами физически спелого состояния: дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01. Оренбург, 2003. 460 с.

10. *Хмура А. Н.* Совершенствование конструкции рабочего органа плоскореза-глубокорыхлителя: автореф. дисс. … канд. техн. наук: 05.20.01. Оренбург, 2012. 25 с.

11. *Токушев Ж. Е.* Теория и расчет орудий для глубокого рыхления плотных почв. Москва, 2003. 132 с.

12. *Зозуля В. В., Мартыненко А. В., Лукин А. Н.* Механика сплошной среды. Харьков, 2003. 600 с.

13. *Seryy I. O.* The background basic soil tillage by creating deformation stretching, bending and shear // Концептуальні шляхи розвитку науки: матеріали ІІ-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 14-15 квітня 2017). Київ, 2017. Ч. І. С. 75-76.

14. *Воронков И. М.* Курс теоретической механики. Москва: Наука, 1965. 596 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ СЛОЯ ПОЧВЫ ПО КРИВОЛИНЕЙНОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЫХЛИТЕЛЯ

А. Н. Леженкин, И. А. Серый, С. М. Коломиец, Н. А. Рубцов

***Аннотация* – одним из основных эффективных орудий для обработки почвы в условиях Украины – есть культиватор плоскорез. Для обеспечения необходимой по агротехническим требованиям качества крошения почвы предлагается устанавливать дополнительные элементы – разрыхлители. Однако в теоретическом плане эти элементы не изучены в полной мере. Поэтому данная статья посвящена теоретическим исследованиям дополнительных элементов почвообрабатывающего рабочего органа, а именно анализу движения слоя почвы по рабочей поверхности неподвижных разрыхлителей.**

Для теоретического анализа рассмотрено движение несвободной материальной точки по криволенейной рабочей поверхности рыхлителя.

THEORETICAL ANALYSIS OF MOVEMENT OF THE SOIL LAYER ON THE CURVED WORKING SURFACE OF THE CREATOR

O. Lezhenkin, I. Seryy, S. Kolomiyets, M. Rubtsov

Summary

Additional working bodies are used by the latter throughout the depth of the arable layer to ensure the quality of soil cover required by the agrotechnical requirements.

One of the main effective tools for tillage in Ukraine is a flat-cutter cultivator. In order to ensure the quality of crumbling of the soil required by the agrotechnical requirements, it is proposed to install additional elements – baking powder.

The purpose of the following studies is to construct a mathematical model of the motion of a soil particle along a curved surface of a baking powder, the solution of which allows to theoretically determine the traction resistance of a tillage tool.

However, in theoretical terms, these elements are not fully understood. Therefore, this article is devoted to theoretical studies of additional elements of the soil cultivating working body, namely the analysis of the movement of the soil layer on the working surface of stationary baking powder.

For theoretical analysis, the motion of a non-free material point along the curved working surface of the cultivator is considered. At the first stage of research, the forces acting on the soil layer taken as a material point were identified, on the basis of which a calculation scheme was compiled.

Then, using the Lagrange equations for a non-free material point, a system of differential equations is obtained. The solution of this system makes it possible to determine the normal reaction, which allows you to calculate traction resistance.

The researches made it possible to draw the following conclusions: a mathematical model of the motion of a particle of the soil along the curved surface of the baking powder was developed in the form of a system of differential equations, the solution of which makes it possible to determine the traction resistance.