УНИВЕРСАЛЬНОЕ ДИСКОВОЕ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЕ ОРУДИЕ

Дисковое почвообрабатывающее орудие, которое по конструкционно-технологическим строением обеспечивает качественное выполнение обработки в зависимости от изменения физико-механических свойств. Обеспечивает быструю переналадку и необходимое регулирование углов атаки α и наклона рабочих органов β; удобное в эксплуатации.

Ключевые слова: *дисковая борона, дисковое орудие, почва, угол атаки, угол наклона.*

UNIVERSAL DISK TOOLS SOIL

Disk tillage tool, which for constructional and technological structure provides high-quality implementation of soil depending on changes in physical and mechanical properties. Provides quick changeovers and necessary adjustment of attack a and tilt working bodies, convenient in operation.

Key words: *disc harrows, disc tools, soil, angle of attack, angle of inclination.*

УДК 631.313

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНИХ СТІЙОК ДЛЯ СФЕРИЧНИХ ДИСКІВ

О.І. Гапоненко, аспірант
УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Виведено рівність, що описує закон руху системи «пружна стійка – сферичний диск» під час процесу обробітку ґрунту. Отримані залежності виражають період і амплітуду коливань системи через геометричні параметри.

Ключові слова: *пружна стійка, сферичний диск, коливання.*

Суть проблеми. Короткі дискові борони (дискатори) займають один з найбільших сегментів ринку ґрунтообробної техніки в Україні, їх широке застосування пов’язане з тенденцією використання нетоварної частини врожаю для удобрення ґрунту [1, 2].

Дискатори мають високу технологічну надійність за умови наявності на полі великої кількості рослинних решток, та разом з тим невикористаним резервом зниження тягового опору є застосування гнучкого еле-

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. 2013.

мента в кріпленні робочого органу. Відсутність теоретичного обґрунтування енергоефективних параметрів пружних стійок для сферичних дисків стримує впровадження конструкторських розробок сучасних пружних стійок у вітчизняному машинобудуванні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Широке коло як вітчизняних, так і закордонних дослідників приділяють увагу взаємодії сферичного диска з ґрунтом [3 - 5]. В роботах попередників обґрунтовано доцільність встановлення робочого органу на пружній стійці [6, 7]. Тому розвиток теоретичних міркувань про рух сферичного диска в ґрунтовому середовищі при його встановленні на гнучкому кріплення, є актуальним.

Постановка завдання. Описати закон руху системи «пружна стійка – сферичний диск» під час процесу обробітку ґрунту через геометричні параметри.

Викладення основного матеріалу. Для досягнення максимального ефекту від застосування пружних стійок необхідно встановити співвідношення між енергозатратами та стійкістю ходу робочих органів по глибині обробітку. Стійкість може бути досягнута за умови дотримання геометричних та динамічних параметрів, які дають можливість отримати оптимальні значення амплітуди коливань без порушення агротехнічних вимог.

З достатньою для практичних цілей точністю, рух сферичного диска на пружній стійці можна представити рухом з одним ступенем вільності, що виражається через узагальнену координату λ. За позитивний напрямок зміни параметра λ будемо вважати переміщення стійки у вертикальній поздовжній площині, яке відповідає руху стійки під дією сил ваги. Розрахункову схему для динамічної моделі наведено на рис. 1.

Виразимо основні діючі моменти аналітичними виразами. Момент відносно точки кріплення стійки до бруса рами під дією пружних сил буде мати вигляд:

$$c \cdot l^2 \cdot \sin\lambda \,, \tag{1}$$

де c – коефіцієнт жорсткості стійки; l – зведена довжина стійки.

Момент сил ваги відносно точки кріплення стійки до бруса рами дорівнюватиме:

$$l' \cdot m \cdot g \cdot \cos(\lambda_0 + \lambda) \,, \tag{2}$$

де l' – відстань, яка проведена по зведеній довжині стійки до центра ваги; $m \cdot \vec{g}$ – сила ваги системи «пружна стійка – диск».

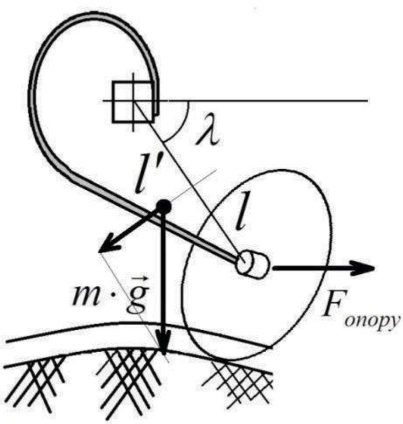

Рис. 1. Розрахункова схема динамічної моделі

Головний момент від реактивних сил опору переміщення диска в ґрунті:

$$-l \cdot F_{опору}\left(t,V\right)\cdot \sin\lambda\,, \tag{3}$$

де $F_{опору}\left(t,V\right)$ – реактивна сила опору ґрунту визначена для диска на жорсткому кріпленні.

Головний момент дисипативних сил відносно точки кріплення стійки до бруса рами приймемо за малу величину другого порядку. Ґрунтуючись на принципі Даламбера, маємо:

$$I\cdot\ddot{\lambda} = -c\cdot l^2\cdot\sin\lambda + l'\cdot m\cdot g\cdot\cos\left(\lambda_0+\lambda\right) - l\cdot F_{опору}\left(t,V\right)\cdot\sin\lambda\,, \tag{4}$$

де I – момент інерції системи відносно точки кріплення стійки до бруса рами.

Представимо рівняння (4) у вигляді:

$$I\cdot\ddot{\lambda} = l'\cdot m\cdot g\cdot\cos\lambda_0\cdot\cos\lambda - (c\cdot l^2 + l'\cdot m\cdot g\cdot\sin\lambda_0 + l\cdot F_{опору}(t,V))\cdot\sin\lambda\,. \tag{5}$$

Розділивши в (4) обидві частини рівності на I і позначивши коефіцієнти, що стоять в рівнянні при $\cos\lambda$ і $\sin\lambda$, через A і B, отримаємо рівність (4):

$$\ddot{\lambda} = A\cdot\cos\lambda - B\cdot\sin\lambda\,. \tag{6}$$

Для розв’язання нелінійного диференційного рівняння (6) скористаємося еліптичними функціями Якобі, що дозволяють виразити його рішення і отримати повне описання коливального процесу системи «пружна стійка – диск».

Введемо нову шукану функцію $\psi = \psi(t)$, приймаючи $\dot{\psi} = \ddot{\lambda}$. Тоді:

$$\ddot{\lambda} = \frac{d\psi}{dt} = \frac{d\psi}{d\lambda} \cdot \frac{d\lambda}{dt} = \psi \frac{d\psi}{d\lambda}. \tag{7}$$

З огляду на (6) і (7) функція $\psi = \psi(t)$ задовольняє рівність:

$$\psi \frac{d\psi}{d\lambda} = A \cdot \cos\lambda - B \cdot \sin\lambda. \tag{8}$$

Тим самим диференційне рівняння другого порядку (6) зведено до рівняння першого порядку (8), яке може бути повністю проінтегроване в елементарних функціях. Дійсно, в (8) змінні розділяються:

$$\psi d\psi = (A \cdot \cos\lambda - B \cdot \sin\lambda)d\lambda. \tag{9}$$

Проінтегрувавши рівняння, отримаємо:

$$0,5 \cdot \psi^2 = A \cdot \sin\lambda + B \cdot \cos\lambda + C, \tag{10}$$

де C – стала інтегрування.

Для з’ясування фізичного змісту рівняння (7) застосуємо функцію $U = U(\lambda)$, що визначається рівністю:

$$U = -\left(A\sin\lambda + B\cos\lambda\right). \tag{11}$$

Функція $U = U(\lambda)$ залежить лише від координати λ, визначається як $\frac{робота}{момент\_інерції}$ і являє собою потенціальну енергію системи. З (10) і (11) маємо:

$$0,5\psi^2 + U = const. \tag{12}$$

Рівність (12) показує, що сума потенційної і кінетичної енергії системи постійна і представляє собою перший інтеграл рівнянь руху системи. Тим самим підтверджується правильність вибраної динамічної моделі.

Введемо параметр μ_0 для встановлення початкової фази коливань, який визначається початковими умовами та виражається як:

$$\mu_0 = arctg\frac{A}{B},\ 0 \le \mu_0 < \frac{\pi}{2}. \tag{13}$$

З чого випливає:

$$\psi^2 = 2B \cdot \sec\mu_0 \left[\cos(\mu_0 - \lambda) - \cos\mu_0\right] = 4B \cdot \sec\mu_0 (\sin^2 \mu_0/2 - \sin^2 \frac{\mu_0 - \lambda}{2}). \quad (14)$$

Введемо нову функцію $\varepsilon = \varepsilon\left(t\right)$, яка визначається з рівності:

$$\varepsilon = \mu_0 - \lambda . \quad (15)$$

Диференціюючи обидві частини (15) по t, знаходимо на основі (4) $\dot{\varepsilon} = \dot{\lambda} = \psi$. Звідки:

$$-\mu_0 \le \varepsilon \le \mu_0 . \quad (16)$$

Отже, рух має коливальний характер, амплітуда коливань якого дорівнює $2\mu_0$.

З (14) і (16) випливає наступне:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \pm 2C_0 \sqrt{\sin^2 \mu_0/2 - \sin^2 \varepsilon/2} , \quad (17)$$

де C_0 – параметр $C_0 = \sqrt[4]{A^2 + B^2}$, знак «$\pm$» визначає зростання (спадання) функції ε.

Приймемо, що:

$$k = \sin \mu_0/2 \quad (18)$$

і введемо нову шукану функцію $\eta = \eta\left(t\right)$, пов'язану з $\varepsilon = \varepsilon\left(t\right)$ співвідношенням:

$$\sin \varepsilon/2 = k \cdot \sin\eta . \quad (19)$$

Аналізуючи вираз (19), можна зробити висновки: а) функція $\eta = \eta\left(\varepsilon\right)$ неперервна на відрізку $\left[-\mu_0; \mu\right]$; б) якщо $\varepsilon \to \mu_0 - O$, то $\eta' \to \infty$, і при цьому $\eta'\left(\varepsilon\right) = O(\frac{1}{\sqrt{\mu_0 - \varepsilon}})$ для $\varepsilon \to \mu_0 - O$, де O - символ Ландау; аналогічно якщо $\varepsilon \to -\mu + O$, то $\eta' \to \infty$ і при цьому $\eta'\left(\varepsilon\right) = O(\frac{1}{\sqrt{-\mu_0 + \varepsilon}})$.

Диференціюючи обидві частини рівності (19), отримаємо з (17) вираз:

$$\pm \frac{d\eta}{\cos \varepsilon/2} = C_0 dt . \quad (20)$$

Аналізуючи попередні залежності, зробимо висновок: при зростанні ε від $-\mu_0$ до μ_0 (відповідно при спаданні від μ_0 до $-\mu_0$) функція $\eta=\eta(\varepsilon)$ зростає (спадає) від $-\pi/2$ до $\pi/2$ (від $\pi/2$ до $-\pi/2$), а знак в лівій частині рівності (20) буде плюс (мінус).

Весь проміжок часу, за який проходить процес, можна розбити на суміжні інтервали $]t_{i-1};t_i[$, $i\in N$ під час кожного з них напрям руху пружної стійки не змінюється, тобто протягом кожного з цих інтервалів відбувається лише заглиблення чи виглиблення сферичного диска з ґрунту.

Для будь-якого $n\in N$ знак в лівій частині рівняння (20) буде «+» при $t_{2n-1}<t<t_{2n}$ і мінус при $t_{2n}<t<t_{2n+1}$. Знайдемо закон руху сферичного диска на пружній стійці під час робочого процесу. Для цього виберемо довільне t, що задовольняє умову (n -довільне):

$$t_{2n}<t<t_{2n+1}\,. \tag{21}$$

Проінтегруємо в (20) праву частину від t_{2n} до t, а ліву відповідно від $-\pi/2$ до $\eta=\eta(t)$.

Отримаємо:

$$\int_{-\pi/2}^{\eta}\frac{dx}{\Delta x}=C_0(t-t_{2n})\,. \tag{22}$$

В (22) змінна інтегрування позначена через x, тому що η – верхня межа інтегрування.

З теорії еліптичних функцій застосуємо еліптичний синус, що позначається через sn та визначається рівністю $snu=\sin(amu)$ [8]. Тоді:

$$\sin\eta=snC_0(t-t_0)\,, \tag{23}$$

а в силу (15) і (19)

$$\lambda=\mu_0+2\cdot\arcsin(k\cdot\sin\eta)\,. \tag{24}$$

З (23) та (24) випливає, що

$$\lambda=\mu_0+2\cdot\arcsin(k\cdot snC_0(t-t_0))\,. \tag{25}$$

Рівність (25) описує закон руху системи «пружна стійка – диск» під час процесу обробітку ґрунту і показує: коливання системи не є гармонічними; коливання стохастичні, їх період дорівнює $4/C_0 \, K(k)$; амплітуда коливань – μ_0.

Висновки. Коливання пружної стійки не є гармонічним, оскільки процес нелінійний (відкидається принцип суперпозицій) та стохастичний. Отримані залежності виражають період і амплітуду коливань системи через геометричні параметри, дозволяють розв'язувати зворотну задачу (тобто проблему стабілізації руху системи). Суть такої задачі полягає у виборі таких параметрів, за яких амплітуда мала, а період великий. Цього можна досягнути з використанням оптимального розподілу мас та вибору лінійних розмірів.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Ситник В.П., Адамчук В.В., Гуков Я.С., Грицишин М.І.* Основні напрями ефективного використання соломи та рослинних решток у сільському господарстві і задачі досліджень / В.П. Ситник, В.В. Адамчук, Я.С. Гуков, М.І. Грицишин // Механізація та електрифікація сільського господарства: Міжвідомчий тематичний науковий збірник / ННЦ «ІМЕСГ» – Глеваха, 2009 – Вип. 93. – С. 13 – 22.
2. *Лінник М.К., Лукаш М.І.* Технологічні та технічні аспекти використання соломи для удобрення ґрунту / М.К. Лінник, М.І. Лукаш // Механізація та електрифікація сільського господарства: Міжвідомчий тематичний науковий збірник / ННЦ «ІМЕСГ» – Глеваха, 2010 – Вип. 94. – С. 76 – 84.
3. *Жук А.Ф.* Обоснования параметров дисковых борон и агрегатов с двухдисковыми секциями / А.Ф. Жук [ГНУ ВИМ Россельхозакадемии] // Механізація та електрифікація сільського господарства : Міжвідомчий тематичний науковий збірник / ННЦ «ІМЕСГ» – Глеваха, 2012 – Вип. 96. – С. 75 – 85.
4. *Дудак С.М.* Залежність висоти гребеня дна борозни після обробітку грунту сферичними дисками від відстані між дисками батареї і кута їх атаки / С.М. Дудак // Механізація та електрифікація сільського господарства : Міжвідомчий тематичний науковий збірник / ННЦ «ІМЕСГ» – Глеваха, 2012. – Вип. 96. – С. 247 – 253.
5. *Дискатор* – новое почвообрабатывающее орудие, обеспечивающее переход от традиционной технологии производства сельскохозяйственной продукци к энергосберегающей технологии No-till: монография / [А.С. Кушнарев, Н.И. Есьман, В.И. Ницко, А.Д. Ткачук и др.] – Белая Церковь, 2010 – 72 с.

6. *Гриненко О., Маринін С.* Доцільність використання ґрунтообробних агрегатів з гнучким кріпленням робочих органів // Техніка і технології АПК, –2011. –№2(17), – С. 32 – 33.
7. *Гриненко О., Лебедєв С.* Дослідження коливань дискових ґрунтообробних знарядь // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Зб. наук. пр. / УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2011. – Вип. 15 (29). – С. 50 – 53.
8. *Сикорский Ю. С.* Элементы теории эллиптических функций с приложениями к механике. – М.-Л.: ОНТИ, 1936. –220с.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПРУГИХ СТОЕК ДЛЯ СФЕРИЧЕСКИХ ДИСКОВ

Получено уравнение, описывающее закон движения системы «упругая стойка – сферический диск» во время обработки почвы. Полученные зависимости выражают период и амплитуду колебаний системы через геометрические параметры.

Ключевые слова: *упругая стойка, сферический диск, колебания.*

THEORETICAL REASONED PARAMETERS ELASTIC BARS SPHERICAL DISCS

The equation describing the motion law of the system “elastic bar - a spherical disk” during cultivation. The resulting relationship is defined period and amplitude of oscillation of the system through geometric parameters.

Key words: *elastic bar; spherical disk; oscillation.*