

УДК 631.31.22

**С.М. Герук, доц., канд. техн. наук**

*ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААНУ*

## Механічна модель рихлення ґрунту

На основі загальної теорії гвинтових поверхонь отримані математичні залежності робочих поверхонь ножів, їх просторові силові та кінематичні параметри, формули для розрахунку швидкості та прискорення ґрунту, ніж, мінімальний обробіток, силовий аналіз, кінематичний аналіз, швидкість, прискорення.

**С.Н.Герук**

*ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААНУ*

**Механическая модель рыхления почвы**

На основе общей теории винтовых поверхностей получены математические зависимости рабочих поверхностей ножей, их пространственные силовые и кинематические параметры, формулы для расчета скорости и ускорения.

**почва, чем, минимальная обработка, силовой анализ, кинематический анализ, скорость, ускорение**

**Постановка проблеми.** Найважливішою умовою реалізації продовольчої програми є прискорення науково-технічного прогресу, що дозволяє підвищити врожайність сільськогосподарських культур. Одним з найважливіших умов її підвищення є обробіток ґрунту. За своїм впливом на врожайність, а також з енергетичних і трудовим затратам вона займає провідне місце в землеробстві. Від усього обсягу польових робіт з вирощування та збирання сільськогосподарських культур на обробіток ґрунту припадає 40 % енергетичних і 25% трудових затрат.

Разом з тим, зростання енергоозброєності сільського господарства зумовило можливість інтенсифікації обробітку ґрунту. У результаті збільшилася кількість проходів агрегатів по полю, що призвело до руйнування ґрунтової структури, зниження родючості ґрунту і зростанню енергозатрат.

В даний час здійснюється перехід на ресурсозберігаючі технології обробітку ґрунту. Агрономічна наука розробляє наукові основи ресурсозберігаючої технології, відомої під назвою « мінімальний обробіток ґрунту».

Такий обробіток виконується за допомогою комбінованих ґрунтообробних машин і агрегатів, які доцільно створювати їх таким чином, щоб окремі їх складові могли використовуватися самостійно, як одно операційні, в тому числі ротаційні з активним приводом робочих органів від гідросистеми відбору потужності трактора.

**Аналіз досліджень.** Великий внесок у розробку питань вдосконалення робочих органів, процесів активного обробітку ґрунту з використанням фрезерних машин їх взаємодії з ґрунтом, кінематики руху та визначення енергетичних витрат внесли вчені В. П. Горячкін, В. А. Желіговський, П. М. Василенко, А. Д. Далін, А. І. Тимофеев, В. І. Медведєв, І. М. Панов, Н. Б. Бок, Ю. Ф. Новіков, А. Н. Гудков, В. В. Кацигін, Г. Н. Синьооков, В. І. Виноградов, А. С. Кушнарьов, П. В. Павлов, М. Д. Подскребко, Ф. М. Канарєв, Л. С. Зенін, О. С. Марченко, В. Зоні, Г. Бернацький, Є. П. Яцук, І. М. Гринчук, Ю. І. Матяшин, А. І. Лещанкін, А.В.Клочков, Ю.А.Кузнецов, Г.Ф.Попов, Я.С.Гуков, В.І.Ветохін, З.В.Ловкіс та ін.

Перевагою фрезерних машин і агрегатів є якісне розпушування ґрунту, повне знищення і заробка рослинних рештків, а також рівномірне перемішування з ґрунтом

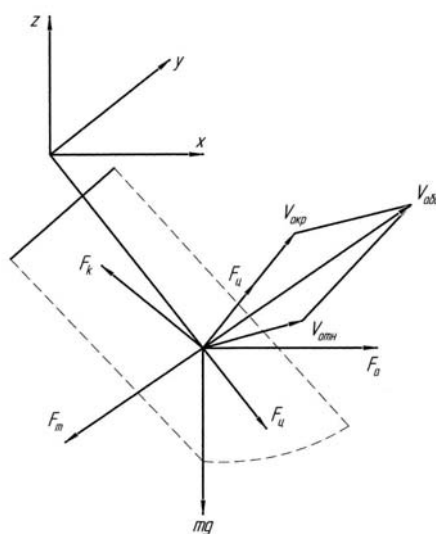
мінеральних і органічних добрив по всій глибині обробітку. У той же час вони відрізняються значною енерго- і металоємністю, застосовуваний на них механічний привід барабанів має складну конструкцію, що стримує створення широкозахватних агрегатів і обмежує діапазон регулювання частоти обертання барабанів, який значною мірою залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту (типу, вологості, твердості, задернінням і т.п.).

**Мета досліджень.** Отримання залежностей для виконання силового аналізу та побудови механіко-математичної моделі руху частинки ґрунту по ротаційній шорсткій площині, що обертається навколо горизонтальної осі і нахилена до неї під довільним кутом.

**Результати досліджень.** Процес утворення стружки, її обертання і укладання при роботі ножа, що встановлений в площині еліпса і обертається із заданою швидкістю вивчений недостатньо. При одночасному поступальному і обертальному русі ніж здійснює складний рух та вирізає стружку призматичної форми.

Стружка, після повного її підрізання, завдяки силам, що діють на неї, захоплюється поверхнею ножа і переміщується в напрямку його руху та одночасно зміщується в сторону. При подальшому обороті ножа відбувається зміщення центра ваги стружки і реакції зв'язку, тому вона ковзає відносно ребра, тобто спостерігається перекидання, укладання і одночасне кришіння.

Таким чином відбувається складне переміщення ґрунту в напрямку, що обмежений вектором швидкості в площині, перпендикулярній елементу рихлення. Це дозволяє покращити перемішування ґрунту з мінеральними та органічними добривами, торфом, вапном, а також кришіння та зароблення рослинних рештків.



$F_k$ - сила Кореоліса,  $F_u$ - відцентрова сила,  $F_m$ - сила тертя об площину ножа,  $F_a$ - аксіональна сила інерції,  $F_u$ - дотична сила інерції

Рисунок 1 – Схема сил, що діють на частинку ґрунту, що знаходяться на ножі

### 1 Силовий аналіз

В процесі переміщення стружки на неї діє рівнодіюча сила (рис.1):

$$\overline{R} = \overline{F}_k + \overline{F}_u + \overline{F}_m + \overline{F}_a + \overline{F}_u, \quad (1)$$

де  $F$  – сила Кореоліса:

$$\overline{F}_k = 2m_o\omega R_i \frac{d\varphi}{dt}, \quad (2)$$

де  $m_o$  – маса частинки ґрунту;

$F_u$  – відцентрова сила інерції:

$$\overline{F_u} = m_0 \omega^2 R_i, \quad (3)$$

$F_m$  – сила тертя об площину ножа:

$$\overline{F_m} = \overline{N} \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

де  $N$  – сила нормального тиску на площину ножа;

$F_a$  – аксіональна сила інерції:

$$\overline{F_a} = m_0 a \frac{d^2 \varphi}{dt^2}, \quad (5)$$

де  $a$  – переміщення ґрунту вздовж радіуса ножа;

$F_u$  – дотична сила інерції:

$$\overline{F_u} = m_0 R_i \frac{d^2 \varphi}{dt^2}. \quad (6)$$

Розв'язання рівняння (1) графоаналітичним способом дозволяє визначити модуль і напрямок сили  $R$ .

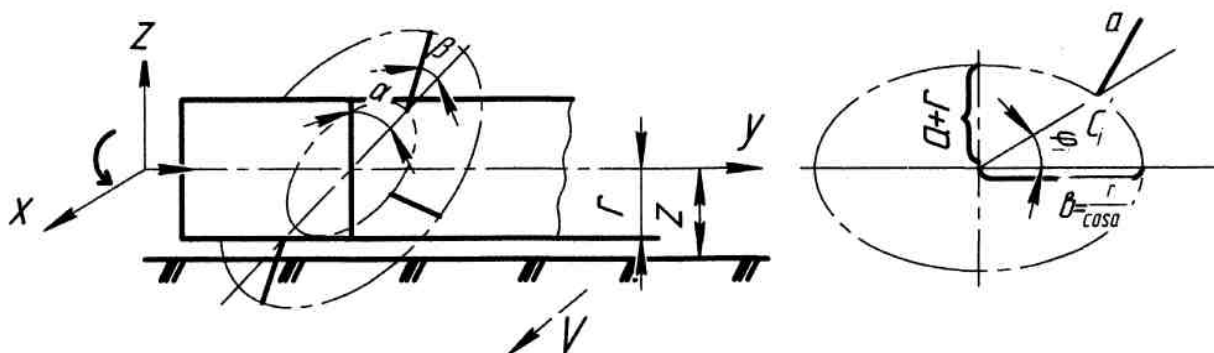


Рисунок 2 – Схема для визначення руху ножа ґрунтообробної машини

Розглядаючи одну секцію ножів (рис.2) можна визначити її ширину захвату:

$$b = 2R \operatorname{tg} \alpha. \quad (7)$$

Відстань між кінцями двох суміжних ножів:

$$b' = \frac{4R \operatorname{tg} \alpha}{z}, \quad (8)$$

де  $z$  - кількість ножів у еліпсному елементі:

Глибина обробітку:

$$h = R - z_0, \quad (9)$$

де  $z_0$  - відстань між віссю барабана і денною поверхнею ґрунту.

Розглядаючи процес різання ґрунту двома суміжними ножами, що обертаються в одній вертикальній площині, визначимо подачу на ніж:

$$S = \frac{2\pi v}{z\omega} = \frac{2\pi R}{\lambda z}. \quad (10)$$

## 2 Кінематичний аналіз

Робочі органи ротаційних машин здійснюють складний рух, що складається з відносного – обертального навколо вісі фрезерного барабана і переносного – поступального.

Різні співвідношення швидкостей відносного і переносного руху визначають траєкторію руху робочого органу.

Кінематика робочого органу, розміщеного на барабані в площині круга досить широко вивчена і висвітлена. Однак, таке розміщення робочих органів не завжди дозволяє одержати якісне виконання агротехнічних вимог при мінімальних затратах. Тому нами запропоновано розміщення робочих органів у площі еліпса, більша піввісь якого розміщена під кутом  $\alpha$  до напрямку руху, а робочі органи відхилені від радіуса фрезобарабана на кут  $\beta$ .

Барабан радіуса  $r$  обертається з кутовою швидкістю  $\omega$  і одночасно рухається з поступальною швидкістю  $V$ . На валу жорстко прикріплені ножі довжиною  $\ell_i$ , які кріпляться вздовж еліпса, який є результатом перетину циліндра вала площиною, що розміщена під кутом  $\alpha$  до вісі циліндра (рис.2). Позначимо пряму, що з'єднує вісь циліндра з точкою на еліпсі (в площині перерізу)  $\xi$ , ножі розміщені під кутом  $\beta$  до цієї прямої. В проекції на площину, що співпадає з напрямком руху, еліпс проектується в круг (чим досягається рівномірність глибини обробітку ґрунту  $h$ ) з радіусом:

$$r = a = b \cos \alpha. \quad (11)$$

Розглянемо випадок, коли кут  $\beta$  змінюється в межах  $(-\beta_0; \beta_0)$ . При  $\beta > 0$  ножі входять в ґрунт під гострим кутом (носком), при  $\beta < 0$  – під тупим (стілкою). Відстань від осі обертання барабана до ґрунту позначимо через  $z_0$ . Барабан, в залежності від функціонального призначення пристосування, може торкатися ґрунту ( $z_0 = r$ ), бути заглибленим ( $z_0 < r$ ), та знаходитися на певній відстані над ґрунтом ( $z_0 > r$ ).

При активному режимі роботи барабан повинен знаходитися на деякій відстані над ґрунтом ( $z_0 > r$ ). В цьому випадку не витрачається додаткова енергія на тертя барабана об ґрунт та його абразивне зношування. В площині кожного еліпса розміщено  $z$  ножів.

## 2 Кінематичний аналіз

Позначимо вершину ножа (рис.2) через  $C$ . Систему координат  $Oxyz$  пов'яжемо з рухомим барабаном так, щоб вісь  $x$  співпадала з напрямком руху агрегату,  $y$  – приходила вздовж вісі барабана, а вісь  $z$  – була направлена вертикально вгору. За початок координат приймемо точку  $O$  перетину еліпса та вісі  $y$ . Якщо нерухому систему координат позначити через  $O_0x_0y_0z_0$ , то перехід до рухомої системи координат  $Oxyz$  може можна здійснити за формулами:

$$\begin{cases} x_0 = x + vt; \\ y_0 = y; \\ z_0 = z. \end{cases} \quad (12)$$

На барабані розміщено декілька груп ножів (еліпси зміщені один відносно одного на кут  $\varphi$ ). Без втрати загальності можна розглядати одну групу ножів (один еліпс). Розглянемо ту групу, яка створює початок координат  $Oxyz$ . Кожен ніж цієї групи в будь-який момент часу лежить в площині утвореного еліпса. Кінематичні властивості цієї площини зручно вивчати з допомогою вектора нормалі до неї  $N$ . Приймемо за початок часу  $t_0$ , коли площина еліпса (і ножа, що лежить в ній) паралельна вісі  $x$  (тобто ніж відхилений на кут  $\beta$  від вертикалі). Запишемо рівняння цієї площини:

$$z = y \operatorname{ctg} \alpha. \quad (13)$$

Це положення зображено на рис. 2. Вектор нормалі  $N$ , обертаючись навколо осі  $y$ , утворює конус. Рівняння цього конуса в координатах  $Oxyz$  матиме вигляд:

$$-\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0, \quad (14)$$

де  $a$  і  $c$  - параметри еліпса конічного перетину;

$b$  – довільне число, яке визначається з умови нормування на довільну довжину  $|N|$  вектора  $N$ .

$$\text{Приймаючи до уваги що: } \frac{a}{b} = \frac{c}{b} = \operatorname{ctg} \alpha. \quad (15)$$

Одержимо рівняння конуса в наступному вигляді:

$$x^2 - y^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + z^2 = 0. \quad (16)$$

Умова (15) визначається тим, що конус є круговим.

Розглянемо рівняння поверхні в нерухомій системі координат  $O_0x_0y_0z_0$ . Для цього запишемо рівняння (16) в параметричній формі:

$$\begin{cases} x = u \cos v; \\ y = u \operatorname{ctg} \alpha; \\ z = u \sin v. \end{cases} \quad (17)$$

Тут під  $u$  приймаємо меншу піввісь еліпса перерізу циліндра барабана (наприклад піввісь  $a$  на рис.3) під  $v$ -залежну від часу лінійну величину:

$$v = \omega t. \quad (18)$$

Підставляючи рівняння (17) і (18) в рівняння (16) одержимо рівняння поверхні в нерухомій системі координат  $O_0x_0y_0z_0$ :

$$\begin{cases} x_0 = vt + u \cos \omega t; \\ y_0 = u \operatorname{ctg} \alpha; \\ z_0 = u \sin \omega t. \end{cases} \quad (19)$$

Тоді рівняння (16), з урахуванням (19) і приймаючи параметр рівним одиниці, запишемо в наступному вигляді:

$$(x_0 + vt)^2 - y_0^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + z_0^2 = 0. \quad (20)$$

З рівнянь (19) робимо висновок, що при виродженні еліпса в коло, тобто при перерізі перпендикулярному вісі циліндра барабана, конус вироджується у площину:

$$\begin{cases} x_0 = vt; \\ y_0 = c_0; \\ z_0 = 0. \end{cases} \quad (21)$$

де  $C_0$  – довільна константа, що визначається з умови:

$$C_0 = \lim_{\substack{x \rightarrow \infty \\ \alpha \rightarrow \pi/2}} (u \operatorname{ctg} \alpha). \quad (22)$$

З рівняння (19) легко визначити вид поверхні в нерухомій системі координат  $O_0x_0y_0z_0$ . Приймавши  $y_0 = b \operatorname{tg} \alpha$ , одержимо рівняння кривої в параметричній формі в площині паралельній площині  $Oxz$ :

$$\begin{cases} x_0 = vt + b \cos \omega t; \\ y_0 = b \sin \omega t. \end{cases} \quad (23)$$

Це рівняння циклоїди. Отже, поверхня обертання вектора нормалі  $N$  є циклоїдальною розверткою конуса (в змінюється від нуля до  $\infty$ ).

Запишемо рівняння поверхні обертання площини розрізу циліндра барабана, враховуючи, що їй належить початок координат, точка  $O$  системи  $Oxyz$ :

$$Ax + By + Cz = 0, \quad (24)$$

Де  $A, B$  і  $C$  – компоненти нормалі  $N$ . Приймаючи  $|N| = 1$ , одержимо:

$$\begin{cases} A = N_x = \sin \alpha \sin \omega t; \\ B = N_y = \cos \alpha; \\ C = N_z = -\sin \alpha \cos t. \end{cases} \quad (25)$$

Ці вирази можна одержати шляхом множення ортонормованих матриць повороту вектора  $N$  навколо вісі  $x$  на кут  $\alpha$  і на кут  $\beta$  навколо вісі  $y$ .

Підставляючи (25) і (24), одержимо:

$$x \sin \alpha \sin \omega t + y \cos \alpha - z \sin \alpha \cos \omega t = 0. \quad (26)$$

Пряма, яка є віссю ножа, лежить в площині, яка описується рівнянням (26), здійснює обертання разом з цією площиною і визначається двома точками – початком і кінцем ( точки  $C'_i$  та  $C_i$ ). Так, як нас цікавить траєкторія точки  $C_i$ , розглянемо рівняння (16) в нерухомій системі координат  $O_o x_o y_o z_o$ :

$$(x_0 + vt) \sin \alpha \sin \omega t + y_0 \cos \alpha - z_0 \sin \alpha \cos \omega t = 0. \quad (27)$$

Запишемо координати початку  $C'_i$  та кінця  $C_i$  ножа. Точка  $C_i$  лежить на еліпсі перетину і належить площині (17). Нехай на еліпсі кріпиться  $z$  ножів. Тоді, провівши підрахунок кута кріплення  $\varphi_i$  відносно великої піввісі, одержимо для  $i$ -го ножа:

$$\varphi_i = \frac{2\pi i}{z}. \quad (28)$$

В системі координат  $O\xi\eta\zeta$  координати точки  $C'_i$  запишуться:

$$\begin{cases} \xi'_i = r \sin \varphi_i; \\ \eta'_i = r \cos \alpha \cos \varphi_i; \\ \zeta'_i = 0. \end{cases} \quad (29)$$

Точка  $C_i$  описує еліпс ( “ексцентричний” меншому еліпсу). Менша піввісь:

$$a = r + l_i \cos \beta; \quad (30)$$

більша:

$$b = \frac{r}{\cos \alpha} + l_i \cos \beta \quad (31)$$

Тоді координати точки  $C_i$  в системі координат  $O\xi\eta\zeta$  запишуться:

$$\begin{cases} \xi_i = (r + l_i \cos \beta) \sin \varphi_i; \\ \eta_i = (r + l_i \cos \alpha \cos \beta) \cos \varphi_i; \\ \zeta'_i = 0. \end{cases} \quad (32)$$

Розглянемо поворот еліпса на кут  $\alpha$  навколо осі  $x$ .

Запишемо направляючі косинуси:

$$\begin{matrix} t_{11} = 0 & t_{21} = 0 & t_{31} = 0 \\ t_{12} = 0 & t_{22} = 0 & t_{32} = -\cos \alpha \\ t_{13} = 0 & t_{23} = 0 & t_{33} = \sin \alpha \end{matrix} \quad (33)$$

Легко перевірити умову ортогональності перетворення. Дійсно, матриця  $A_1$

$$A_1 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \alpha & -\cos \alpha \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \end{vmatrix} \quad (34)$$

унітарна,  $\det A_1 = 1$ .

Тоді в матричній формі для точки  $C_i$ :

$$\begin{vmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \alpha & -\cos \alpha \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \xi_i \\ \eta_i \\ \zeta_i \end{vmatrix}. \quad (35)$$

Аналогічно для точки  $C'_i$ :

$$\begin{pmatrix} \overline{x'_i} \\ \overline{y'_i} \\ \overline{z'_i} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \alpha & -\cos \alpha \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi'_i \\ \eta'_i \\ \zeta'_i \end{pmatrix}. \quad (36)$$

Наступний етап – обертання на кут  $\omega t$  навколо осі  $Oy$ . Направляючі косинуси запишуться:

$$\begin{aligned} t'_{11} &= \cos \omega t & t'_{21} &= 0 & t'_{31} &= \sin \omega t \\ t'_{12} &= 0 & t'_{22} &= 1 & t'_{32} &= 0 \\ t'_{13} &= -\sin \omega t & t'_{23} &= 0 & t'_{33} &= \cos \omega t \end{aligned} \quad (37)$$

Тоді координати точки запишуться:

$$\begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \\ z'_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \omega t & 0 & \sin \omega t \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \omega t & 0 & \cos \omega t \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \overline{x'_i} \\ \overline{y'_i} \\ \overline{z'_i} \end{pmatrix}. \quad (38)$$

Аналогічні вирази можна записати для точки  $C_i$ . Легко перевірити ортогональність матриці  $A_2$ . Дійсно,  $\det A_2 = 1$ . Поступальний рух вздовж осі зі швидкістю  $V$  дозволяє записати нове перетворення системи координат для точки  $C_i$ .

$$\begin{cases} x'_{0_i} = \overline{x'_i} \cos \omega t + \overline{z'_i} \sin \omega t + vt; \\ y'_{0_i} = \overline{y'_i}; \\ z'_{0_i} = -\overline{x'_i} \sin \omega t + \overline{z'_i} \cos \omega t. \end{cases} \quad (39)$$

Або:

$$\begin{cases} x'_{0_i} = \xi'_i \cos \omega t + (\eta'_i \cos \alpha + \zeta'_i \sin \alpha) \sin \omega t + vt; \\ y'_{0_i} = \eta'_i \sin \alpha - \zeta'_i \cos \alpha; \\ z'_{0_i} = -\xi'_i \sin \omega t + (\eta'_i \cos \alpha + \zeta'_i \sin \alpha) \cos \omega t. \end{cases} \quad (40)$$

Підставивши значення  $\xi'_i$ ;  $\eta'_i$  та  $\zeta'_i$  з рівняння (29), одержимо:

$$\begin{cases} x_{0_i} = r \sin \varphi_i \cos \omega t + r \cos^2 \alpha \cos \varphi_i \sin \omega t + vt; \\ y_{0_i} = r \cos \alpha \sin \alpha \cos \varphi_i; \\ z_{0_i} = -r \sin \varphi_i \sin \omega t + r \cos^2 \alpha \cos \varphi_i \cos \omega t. \end{cases} \quad (41)$$

Аналогічно для точки  $C_i$  підставляємо значення  $\xi_i$ ;  $\eta_i$  та  $\zeta_i$  замість  $\xi'_i$ ;  $\eta'_i$  та  $\zeta'_i$ :

$$\begin{cases} x_{0_i} = (r + l_i \cos \beta) \sin \varphi_i \cos \omega t + (r + l_i \cos \alpha \cos \beta) \cos \varphi_i \cos \alpha \cos \omega t + v; \\ y_{0_i} = (r + l_i \cos \alpha \cos \beta) \cos \varphi_i \sin \alpha; \\ z_{0_i} = -(r + l_i \cos \beta) \sin \varphi_i \sin \omega t + (r + l_i \cos \alpha \cos \beta) \cos \varphi_i \cos \alpha \cos \omega t. \end{cases} \quad (42)$$

Рівняння (41) та (42) будуть визначати абсолютну траєкторію руху робочих органів барабана ротаційної ґрунтообробної машини з горизонтальною віссю обертання в параметричній формі. Ця траєкторія геометрично описується циклоїдою.

Продиференціювавши рівняння (42) за часом, одержимо проекцію швидкості точки  $C_i$  ножа на координатні осі:

$$\begin{cases} V_x = -\omega [(r + l_i \cos \beta) \sin \varphi_i \cos \omega t + (r + l_i \cos \alpha \cos \beta) \cos \varphi_i \cos \alpha \cos \omega t] + v; \\ V_y = 0; \\ V_z = -\omega [(r + l_i \cos \beta) \sin \varphi_i \sin \omega t + (r + l_i \cos \alpha \cos \beta) \cos \varphi_i \cos \alpha \cos \omega t]. \end{cases} \quad (43)$$

Тоді модуль абсолютної швидкості точки  $C_i$ , тобто швидкість різання, опишеться рівнянням:

$$v_0 = \omega \sqrt{\left( (r + l_i \cos \beta)^2 + (r + l_i \cos \alpha \cos \beta)^2 \cos^2 \phi_i \cos^2 \alpha + \left( \frac{v}{\omega} \right)^2 - \frac{2v}{\omega} \times \right.} \quad (44)$$

$$\left. \times \left[ (r + l_i \cos \beta) \sin \phi_i \sin \omega t - (r + l_i \cos \alpha \cos \beta) \cos \phi_i \cos \alpha \cos \omega t \right] \right.}$$

Аналізуючи рівняння (44) можна зробити висновок, що швидкість різання є величиною перемінною і змінюється в залежності від кута повороту ножа у відносному русі та направлена по дотичній до абсолютної траєкторії руху ножа.

Прискорення точки  $C_i$  опишеться системою рівнянь:

$$\begin{cases} a_x = -\omega^2 \left[ (r + l_i \cos \beta) \sin \phi_i \cos \omega t + (r + l_i \cos \alpha \cos \beta) \cos \phi_i \cos \alpha \cos \omega t \right]; \\ a_y = 0; \\ a_z = -\omega^2 \left[ (r + l_i \cos \beta) \sin \phi_i \sin \omega t + (r + l_i \cos \alpha \cos \beta) \cos \phi_i \cos \alpha \cos \omega t \right]. \end{cases} \quad (45)$$

**Висновки:** Отримані залежності для виконання силового аналізу та побудови механіко-математичної моделі руху частинки ґрунту по ротатійній шорсткій площині, що обертається навколо горизонтальної осі і нахилена до неї під довільним кутом.

Визначення абсолютної швидкості дасть змогу обґрунтувати доцільність, параметри та режими роботи робочих органів роторних ґрунтообробних машин.

## Список літератури

1. А. с. СССР, МПК<sup>4</sup> А 01 В 33/02, Орудие для обработки почвы. / Ловкис З.В., Бендера И.Н., Жилко А.С., Чебан Н.И., Мигаль А.Н., Герук С.Н., Райтберг Л.И. (СССР)- №1424746; заявл. 22.05.1986; опубл.; 23.09.1988, Бюл. №35 - 2с: ил.
2. А. с. СССР, МКП<sup>4</sup> А 01 В 33/02, А 01 В 49/02, Ротационный рабочий орган почвообрабатывающего орудия./ Ловкис З.В., Бендера И.Н., Герук С.Н., Турецкий Р.Л., Мигаль А.Н., Ермаков Н.К., Табенский Д.В. (СССР)- №1463145; заявл. 17.03.1986; опубл. 07.03.1989, Бюл. №9 -2 с: ил.
3. Бондаренко А.А., Дубінін О.О., Переяславцев О.М. Теоретична механіка: Підручник у 2 ч.-Ч.1: Статика. Кінематика.- К.: Знання, 2004.- 599 с.
4. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин.-К.: Изд. УАСХН, 1060.- 283 с.
5. Павловський М.А. Теоретична механіка.- К.: Техніка, 2004.- 510 с.

**Stanislav Geruk**

*National Scientific Centre "Institute for Agricultural Engineering and Electrification"*

**Mechanical model of soil loosening**

**The purpose of research.** Getting dependencies for performing power analysis and construction of mechanical- mathematical model of soil particles by rotating rough plane rotates around a horizontal axis and is inclined to it at an arbitrary angle .

**Results.** The technological process of the formation of the chip, its rotation and styling when using a knife, which is mounted in the plane of the ellipse, which is inclined at an arbitrary angle to the horizontal axis and rotates at a preset speed around it. Designed force and kinematics. Based on the general theory of helical surfaces obtained mathematical work surfaces depending knives, their power and spatial kinematic parameters of the formula to calculate the speed and acceleration.

**Conclusions.** Determination of the absolute velocity will help to justify the feasibility of parameters and operating modes of the rotary tillage machines hosted on the proposed scheme.

**soil than minimum tillage, power analysis, kinematic analysis, velocity, acceleration**

Одержано 11.10.13