

УДК 631.362

## **МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС БЕЗВІДРИВНОГО РУХУ ІЗОЛЬОВАНОГО НАСІННЯ ПО ПОХИЛІЙ ВІБРУЮЧІЙ НЕПЕРФОРОВАНИЙ ПОВЕРХНІ**

Лук'яненко В.М., к.т.н.

*Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка*

Тел. (057) 732-54-33

**Анотація** – роботу присвячено математичному моделюванню руху ізольованого насіння у безвідривному режимі по похилим фрикційним неперфорованим пластинам вібраційних насіннеочисних машин.

**Ключові слова** – сепарація насіння, вібраційні машини, фрикційні неперфоровані пластини, математичне моделювання, безвідривний режим.

*Постановка проблеми.* Сепарація насінневих сумішей на фрикційних неперфорованих пластинах вібраційних насіннеочисних машин має велике народногосподарське значення при вирішенні проблеми підвищення врожайності багатьох сільськогосподарських культур. При проектуванні робочих органів таких машин і визначення їх раціональних параметрів визначальне значення має розробка точних математичних моделей їх технологічного процесу.

*Аналіз останніх досліджень.* Математичним моделюванням процесу переміщення насінневих сумішей по похилим неперфорованим поверхням, що здійснюють вібраційний направлений рух, займаюсь багато дослідників [1]. Незважаючи на значні досягнення при моделюванні цього процесу, багато факторів, що мають значний вплив на процес сепарації, внаслідок різних причин залишилися поза їх увагою.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Розробка математичної моделі руху ізольованого насіння у безвідривному режимі, як складової загальної теорії сепарації насінневих сумішей на вібраційних машинах з неперфорованими похилими пластинами, є метою даної статті.

*Основна частина.* В якості математичної моделі, що описує безвідривний рух ізольованого насіння по похилій вібруючій поверхні,

використовуємо кінематичну модель руху твердого тіла по шорсткій поверхні під дією сил гравітації і реакції опори [2]. Опора (робоча поверхня) здійснює періодичні коливання, надаючи насінню необхідну кількість руху.

Форму насіння розглядаємо у вигляді еліпсоїда з півосями  $a$ ,  $b$  і  $c$ . При цьому його поверхню розбиваємо на дискретні ділянки контакту. Кожну дискретну ділянку контакту на поверхні еліпсоїда приводимо до єдиної контактної точки.

Кожну встановлену контактну точку, що належить поверхні насіння, нумеруємо з допомогою індексів  $l$  і  $m$ , де індекс  $l$  визначає номер меридіана і значення кута довготи  $\xi$ , що дискретно змінюється, а індекс  $m$  - номер паралелі і значення кута широти  $\zeta$ . Між індексами  $l$ ,  $m$  і значеннями кутів  $\zeta$ ,  $\xi$  існують співвідношення:

$$l = 1 + \frac{\xi}{\Delta\xi}, \quad \xi \in [-90^\circ; 90^\circ], \quad (1)$$

$$m = 1 + \frac{\zeta}{\Delta\zeta}, \quad \zeta \in [0^\circ; 360^\circ], \quad (2)$$

де  $\Delta\xi$ ,  $\Delta\zeta$  - величини зміни кутів широти і довготи, відповідно.

Для обчислення кінематичних параметрів руху насіння розглядаємо три системи координат (рис. 1).

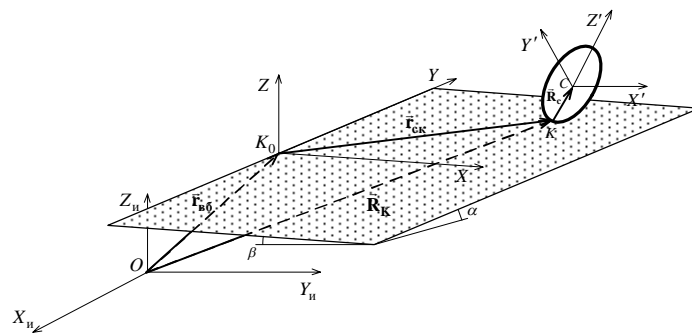


Рис. 1. Прийняті системи координат для розрахунку кінематичних параметрів руху ізольованого насіння

Кількість руху ізольованого насіння в інерціальній (нерухомій) системі координат обчислюємо за допомогою виразу

$$\vec{L}_и = m(\dot{\vec{r}}_{вб} + \dot{\vec{r}}_{ск} + \vec{\omega} \times \vec{R}_C), \quad (3)$$

де  $m$  - маса насіння.

Кінетичний момент насіння відносно інерціальної системи координат має вигляд

$$\vec{H}_и = (\vec{R}_K + \vec{R}_C) \times m(\dot{\vec{R}}_K + \vec{\omega} \times \vec{R}_C) + \vec{H}_C, \quad (4)$$

де  $\vec{H}_C$  - кінетичний момент насіння відносно його центра мас.

Кінематичні параметри руху насіння визначаються шляхом розв'язання системи рівнянь:

$$m \frac{d\omega_y}{dt} R_{Cz} - m \frac{d\omega_z}{dt} R_{Cy} + m(\vec{\omega} \cdot \vec{R}_C) \omega_x - m\omega^2 R_{Cx} + m\ddot{x}_{ck} +$$

$$+ m\ddot{r}_{\delta\delta,x} = G_x - N \cdot f \frac{\dot{x}_{ck}}{\sqrt{\dot{x}_{ck}^2 + \dot{y}_{ck}^2}}, \quad (5)$$

$$m \frac{d\omega_z}{dt} R_{Cx} - m \frac{d\omega_x}{dt} R_{Cz} + m(\vec{\omega} \cdot \vec{R}_C) \omega_y - m\omega^2 R_{Cy} +$$

$$+ m\ddot{y}_{ck} + m\ddot{r}_{\delta\delta,y} = G_y - N \cdot f \frac{\dot{y}_{ck}}{\sqrt{\dot{x}_{ck}^2 + \dot{y}_{ck}^2}}, \quad (6)$$

$$mR_C^2 \frac{d\omega_x}{dt} - mR_{Cx} \left( \vec{R}_C \cdot \frac{d\vec{\omega}}{dt} \right) + m(\vec{\omega} \cdot \vec{R}_C) (R_{Cy} \omega_z - R_{Cz} \omega_y) + H_x -$$

$$- mR_{Cz} \ddot{y}_{ck} + mR_{Cy} \ddot{r}_{\delta\delta,z} - mR_{Cz} \ddot{r}_{\delta\delta,y} = R_{Cy} G_z - R_{Cz} G_y + M_{кч,x} \quad (7)$$

$$mR_C^2 \frac{d\omega_y}{dt} - mR_{Cy} \left( \vec{R}_C \cdot \frac{d\vec{\omega}}{dt} \right) + m(\vec{\omega} \cdot \vec{R}_C) (R_{Cz} \omega_x - R_{Cx} \omega_z) + H_y +$$

$$+ mR_{Cz} \ddot{x}_{ck} + mR_{Cz} \ddot{r}_{\delta\delta,x} - mR_{Cx} \ddot{r}_{\delta\delta,z} = R_{Cz} G_x - R_{Cx} G_z + M_{кч,y} \quad (8)$$

$$mR_C^2 \frac{d\omega_z}{dt} - mR_{Cz} \left( \vec{R}_C \cdot \frac{d\vec{\omega}}{dt} \right) + m(\vec{\omega} \cdot \vec{R}_C) (R_{Cx} \omega_y - R_{Cy} \omega_x) + H_z +$$

$$+ mR_{Cx} \ddot{y}_{ck} - mR_{Cy} \ddot{x}_{ck} + mR_{Cx} \ddot{r}_{\delta\delta,y} - mR_{Cy} \ddot{r}_{\delta\delta,x} = R_{Cx} G_y - R_{Cy} G_x \quad (9)$$

$$N = m \frac{d\omega_x}{dt} R_{Cy} - m \frac{d\omega_y}{dt} R_{Cx} + m(\vec{\omega} \cdot \vec{R}_C) \omega_z - m\omega^2 R_{Cz} + m\ddot{r}_{\delta\delta,z} - G_z, \quad (10)$$

де  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  - проекції вектора кутової швидкості обертання тіла;

$R_{Cx}, R_{Cy}, R_{Cz}$  - проекції радіус-вектора  $\vec{R}_C$ ;

$\dot{x}_{ck}, \dot{y}_{ck}$  - проекції швидкості проковзування насіння;

$\ddot{x}_{ck}, \ddot{y}_{ck}$  - проекції прискорення проковзування насіння;

$\ddot{r}_{\delta\delta,x}, \ddot{r}_{\delta\delta,y}, \ddot{r}_{\delta\delta,z}$  - проекції прискорення робочої поверхні;

$G_x, G_y, G_z$  - проекції сили ваги, що діє на насіння;

$N$  - величина реакції опори, що діє на насіння;

$f$  - коефіцієнт тертя ковзання;

$M_{кч,x}, M_{кч,y}$  - проекції вектора моменту опору кочення;

$H_x, H_y, H_z$  - проекції кінематичного моменту насіння.

Величини проекцій вектора кутової швидкості розраховуємо за допомогою виразів:

$$\omega_x = \dot{\theta} \cos \psi + \dot{\phi} \sin \theta \sin \psi, \quad (11)$$

$$\omega_y = \dot{\theta} \sin \psi - \dot{\phi} \sin \theta \cos \psi, \quad (12)$$

$$\omega_z = \dot{\psi} + \dot{\phi} \cos \theta, \quad (13)$$

де  $\theta, \psi, \phi$  - кути повороту осей системи координат.

Скалярну величину вектора кутової швидкості розраховуємо як

$$\omega = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2}. \quad (14)$$

З урахуванням (11) – (13) проекції похідної вектора кутової швидкості за часом приймуть вигляд:

$$\frac{d\omega_x}{dt} = \ddot{\theta} \cos \psi - \dot{\theta} \dot{\psi} \sin \psi + \ddot{\phi} \sin \theta \sin \theta s + \dot{\phi} \dot{\theta} \cos \theta \cos \theta s + \dot{\phi} \dot{\psi} \sin \theta \sin \theta c, \quad (15)$$

$$\frac{d\omega_y}{dt} = \ddot{\theta} \sin \psi + \dot{\theta} \dot{\psi} \cos \psi - \ddot{\phi} \sin \theta \sin \theta c - \dot{\phi} \dot{\theta} \cos \theta \cos \theta c + \dot{\phi} \dot{\psi} \sin \theta \sin \theta s, \quad (16)$$

$$\frac{d\omega_z}{dt} = \ddot{\psi} + \ddot{\phi} \cos \theta - \dot{\phi} \dot{\theta} \sin \theta. \quad (17)$$

Скалярний добуток вектора кутової швидкості  $\vec{\omega}$  і радіус-вектора  $\vec{R}_C$  має вид

$$(\vec{\omega} \cdot \vec{R}_C) = \omega_x R_{Cx} + \omega_y R_{Cy} + \omega_z R_{Cz}. \quad (18)$$

Скалярний добуток радіус-вектора  $\vec{R}_C$  і вектора похідної кутової швидкості по часу  $\frac{d\vec{\omega}}{dt}$  має вид

$$\vec{R}_C \cdot \frac{d\vec{\omega}}{dt} = R_{Cx} \frac{d\omega_x}{dt} + R_{Cy} \frac{d\omega_y}{dt} + R_{Cz} \frac{d\omega_z}{dt}. \quad (19)$$

Проекції вектора сили ваги  $\vec{G}$  на осі системи координат, пов'язаної з робочою поверхнею, обчислюємо за допомогою виразів:

$$G_x = mg \cdot \sin \beta, \quad (20)$$

$$G_y = mg \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \beta \cdot \cos \delta, \quad (21)$$

$$G_z = -mg \cdot \cos \delta, \quad (22)$$

$$\cos \delta = \frac{\cos \alpha \cos \beta}{\sqrt{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha \cos^2 \beta}}, \quad (23)$$

де  $\delta$  - кут найбільшого нахилу робочої поверхні.

Величини проекцій кінетичного моменту насіння  $\vec{H}_C$  на осі системи координат робочої поверхні розраховуємо за виразами:

$$H_x = H'_x l_1 + H'_y l_2 + H'_z l_3, \quad (24)$$

$$H_y = H'_x m_1 + H'_y m_2 + H'_z m_3, \quad (25)$$

$$H_z = H'_x n_1 + H'_y n_2 + H'_z n_3, \quad (26)$$

$$H'_x = J'_x \cdot \frac{d\omega'_x}{dt} + (J'_z - J'_y) \omega'_y \cdot \omega'_z, \quad (27)$$

$$H'_y = J'_y \cdot \frac{d\omega'_y}{dt} + (J'_x - J'_z) \omega'_x \cdot \omega'_z, \quad (28)$$

$$H'_z = J'_z \cdot \frac{d\omega'_z}{dt} + (J'_y - J'_x) \omega'_x \omega'_y, \quad (29)$$

$$l_1 = \cos \psi \cos \varphi - \cos \theta \sin \psi \sin \varphi, \quad (30)$$

$$l_2 = -\cos \psi \sin \varphi - \cos \theta \sin \psi \cos \varphi, \quad (31)$$

$$l_3 = \sin \theta \sin \psi, \quad (32)$$

$$m_1 = \sin \psi \cos \varphi + \cos \theta \cos \psi \sin \varphi, \quad (33)$$

$$m_2 = \cos \theta \cos \psi \cos \varphi - \sin \psi \sin \varphi, \quad (34)$$

$$m_3 = -\sin \theta \cos \psi, \quad (35)$$

$$n_1 = \sin \theta \sin \varphi, \quad (36)$$

$$n_2 = \sin \theta \cos \varphi, \quad (37)$$

$$n_3 = \cos \theta, \quad (38)$$

$$\omega'_x = \dot{\psi} \sin \theta \sin \varphi + \dot{\theta} \cos \varphi, \quad (39)$$

$$\omega'_y = \dot{\psi} \sin \theta \cos \varphi - \dot{\theta} \sin \varphi, \quad (40)$$

$$\omega'_z = \dot{\varphi} + \dot{\psi} \cos \theta, \quad (41)$$

$$\frac{d\omega'_x}{dt} = \ddot{\psi} \sin \theta \sin \varphi + \dot{\psi} \dot{\theta} \cos \theta \sin \varphi + \dot{\psi} \dot{\varphi} \sin \theta \cos \varphi + \ddot{\theta} \cos \varphi - \dot{\theta} \dot{\varphi} \sin \varphi, \quad (42)$$

$$\frac{d\omega'_y}{dt} = \ddot{\psi} \sin \theta \cos \varphi + \dot{\psi} \dot{\theta} \cos \theta \cos \varphi - \dot{\psi} \dot{\varphi} \sin \theta \sin \varphi - \ddot{\theta} \sin \varphi - \dot{\theta} \dot{\varphi} \cos \varphi, \quad (43)$$

$$\frac{d\omega'_z}{dt} = \ddot{\varphi} + \dot{\psi} \cos \theta - \dot{\psi} \dot{\theta} \sin \theta, \quad (44)$$

де  $H'_x, H'_y, H'_z$  - проекції кінетичного моменту насіння;

$J'_x, J'_y, J'_z$  - моменти інерції насіння щодо його головних осей;

$\omega'_x, \omega'_y, \omega'_z$  - проекції кутової швидкості обертання насіння;

$l_1, l_2, l_3$  - напрямні косинуси осі  $CX'$ ;

$m_1, m_2, m_3$  - напрямні косинуси осі  $CY'$ ;

$n_1, n_2, n_3$  - напрямні косинуси осі  $CZ'$ .

Проекції прискорення робочої поверхні при здійсненні гармонійних коливань обчислюємо за допомогою виразів:

$$\ddot{r}_{\text{об},x} = r_0 \Omega^2 \sin(\Omega t) \cdot \sin \beta \cdot \sin(\varepsilon - \alpha), \quad (45)$$

$$\ddot{r}_{\text{об},y} = r_0 \Omega^2 \sin(\Omega t) \cdot \left[ \operatorname{tg} \alpha \cos \beta \cos \delta \sin(\varepsilon - \alpha) - \frac{\cos \delta}{\cos \beta} \cos(\varepsilon - \alpha) \right], \quad (46)$$

$$\ddot{r}_{\text{об},z} = -r_0 \Omega^2 \sin(\Omega t) \cdot \cos \delta \cdot \frac{\sin \varepsilon}{\cos \alpha}, \quad (47)$$

де  $r_0$  - амплітуда коливань;

$\Omega$  - кутова швидкість обертання валу вібробудувача;

$\varepsilon$  - кут між напрямком вібрації і робочою поверхнею.

Вид співвідношень, за допомогою яких розраховуємо величину моменту опору коченню, залежить від прийнятої моделі взаємодії насіння з поверхнею. Якщо у якості моделі взаємодії приймаємо модель вдавлювання твердого тіла в м'яку поверхню, то вирази, за допомогою яких розраховуємо проекції моменту опору, мають вигляд:

$$M_{Kx} = -f_K N \cos \mu_{\omega_K}, \quad (48)$$

$$M_{Ky} = -f_K N \sin \mu_{\omega_K}, \quad (49)$$

$$\mu_{\omega_K} = \operatorname{arctg} \left( \frac{\omega_y}{\omega_x} \right), \quad (49a)$$

де  $f_K$  - відстань від границі заглиблення насіння до його миттєвого центру обертання (точки контакту  $K$ ) (рис. 2);

$\mu_{\omega_K}$  - кут між напрямком перекочування насіння і віссю  $K_0X$ ;

$N$  - реакція опори, що обчислюється з допомогою (10).

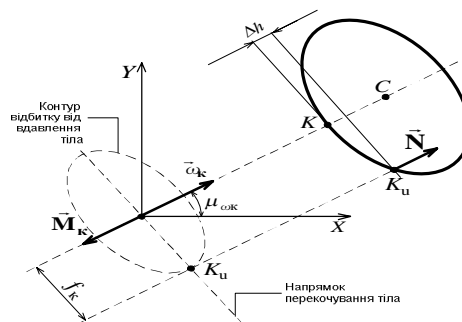


Рис. 2. Розрахункова схема для оцінки моменту опору кочення

Плече  $f_K$ , яке використовується у виразах (48), (49) при оцінці величини моменту опору коченню, обчислюємо на підставі тригонометричних співвідношень між характеристиками перерізу еліпсоїда насіння при його вдавлюванні в м'яку робочу поверхню і коченні (рис. 3).

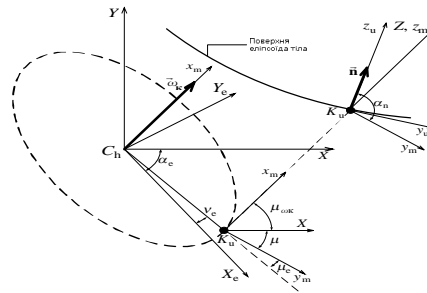


Рис. 3. Характеристики перерізу еліпсоїда насіння

При розгляді кочення і вдавлення насіння еліпсоїдної форми в робочу поверхню враховуємо наступні характеристики. Розглядаємо системи координат:  $XYZ$ , яка пов'язана з робочою поверхнею;  $X_e Y_e Z_e$ , яка пов'язана з еліпсом перерізу насіння і осі якої збігаються з півосями еліпса;  $x_m y_m z_m$ , вісь  $x_m$  якої паралельна вектору дотичній складової кутової швидкості  $\vec{\omega}_k$ , а вісь  $y_m$  задає напрямок тиску насіння на крайку сліду його вдавлення;  $x_u y_u z_u$ , вісь  $z_u$  якої збігається з нормаллю до поверхні еліпсоїда розглянутого насіння в т.  $K_u$ . Т.  $C_h$  є центром еліпса, який утворений шляхом перерізу еліпсоїда насіння площиною, паралельною площині робочої поверхні і проходить вище т.  $K$  на величину  $\Delta h$ . Система координат  $X_e Y_e Z_e$ , пов'язана з перетином насіння, повернена щодо системи координат робочої поверхні на кут  $\alpha_e$  шляхом її повороту навколо осі  $Z$ . Систему координат  $x_m y_m z_m$  отримуємо шляхом повороту системи координат робочої поверхні на кут  $\mu_{ож}$  відносно осі  $Z$ .

З урахуванням введених характеристик  $f_k$  розраховуємо як:

$$f_k = |C_h K_u| \cdot \cos(\mu_e - \nu_e), \quad (50)$$

$$|C_h K_u| = \sqrt{a_e^2 \cos^2 \nu_e + b_e^2 \sin^2 \nu_e}, \quad (51)$$

де  $|C_h K_u|$  - відстань між центром насіння і точкою реакції опори;  
 $a_e, b_e$  - півосі еліпса перерізу насіння;  
 $\nu_e$  - кут між напрямком більшої півосі еліпса і відрізком  $|C_h K_u|$ ;  
 $\mu_e$  - кут між напрямком тиску насіння і відрізком  $|C_h K_u|$ . Напрямок тиску насіння на крайку його сліду визначаємо як перпендикуляр до дотичної складової вектора обертання  $\vec{\omega}_k$ .

Величини кутів  $\nu_e$  і  $\mu_e$  розраховуємо за допомогою виразів:

$$\mu_e = \mu - \alpha_e, \quad (52)$$

$$\mu = \frac{\pi}{2} - \mu_{\text{ок}}, \quad (53)$$

$$v_e = \arctg\left(\frac{b_e}{a_e} \operatorname{tg} \mu_e\right), \quad (54)$$

де  $\mu$  - кут між віссю  $y_m$  і віссю  $X$  системи координат поверхні;  
 $\alpha_e$  - кут повороту навколо осі  $Z$  осей системи координат робочої поверхні до їх суміщення з осями системи координат  $X_e Y_e Z_e$ .

Величини  $\alpha_e$ ,  $a_e$  і  $b_e$  розраховуємо за допомогою виразів:

$$\alpha_e = \arctg\left(\frac{c_{\text{кн}} - a_{\text{кн}} + \sqrt{(c_{\text{кн}} - a_{\text{кн}})^2 - 4b_{\text{кн}}^2}}{2b_{\text{кн}}}\right), \quad (55)$$

$$a_e = \sqrt{\frac{\Delta_{\text{кн}}}{a_1 \delta_{\text{кн}}}}, \quad (56)$$

$$b_e = \sqrt{\frac{\Delta_{\text{кн}}}{a_2 \delta_{\text{кн}}}}, \quad (57)$$

$$a_1 = \frac{a_{\text{кн}} + c_{\text{кн}} + \sqrt{(a_{\text{кн}} - c_{\text{кн}})^2 + 4b_{\text{кн}}^2}}{2}, \quad (58)$$

$$a_2 = \frac{a_{\text{кн}} + c_{\text{кн}} - \sqrt{(a_{\text{кн}} - c_{\text{кн}})^2 + 4b_{\text{кн}}^2}}{2}, \quad (59)$$

$$\Delta_{\text{кн}} = a_{\text{кн}} c_{\text{кн}} f_{\text{кн}} + b_{\text{кн}} e_{\text{кн}} d_{\text{кн}} + d_{\text{кн}} b_{\text{кн}} e_{\text{кн}} - d_{\text{кн}}^2 c_{\text{кн}} - e_{\text{кн}}^2 a_{\text{кн}} - b_{\text{кн}}^2 f_{\text{кн}}, \quad (60)$$

$$\delta_{\text{кн}} = a_{\text{кн}} c_{\text{кн}} - b_{\text{кн}}^2, \quad (61)$$

$$a_{\text{кн}} = \frac{l_1^2}{b^2} + \frac{l_2^2}{a^2} + \frac{l_3^2}{c^2}, \quad (62)$$

$$b_{\text{кн}} = \frac{l_1 m_1}{b^2} + \frac{l_2 m_2}{a^2} + \frac{l_3 m_3}{c^2}, \quad (63)$$

$$c_{\text{кн}} = \frac{m_1^2}{b^2} + \frac{m_2^2}{a^2} + \frac{m_3^2}{c^2}, \quad (64)$$

$$d_{\text{кн}} = (\Delta h - z_{\text{к}}) \cdot \left( \frac{l_1 n_1}{b^2} + \frac{l_2 n_2}{a^2} + \frac{l_3 n_3}{c^2} \right), \quad (65)$$

$$e_{\text{кн}} = (\Delta h - z_{\text{к}}) \cdot \left( \frac{m_1 n_1}{b^2} + \frac{m_2 n_2}{a^2} + \frac{m_3 n_3}{c^2} \right), \quad (66)$$



$$f_{kn} = (\Delta h - z_k) \cdot \left( \frac{n_1^2}{b^2} + \frac{n_2^2}{a^2} + \frac{n_3^2}{c^2} \right) - 1, \quad (67)$$

де  $l_1, l_2, \dots, n_3$  - напрямні косинуси осей власної системи координат насіння (еліпсоїда) щодо осей системи координат робочої поверхні;  
 $\Delta h$  - задана величина заглиблення насіння в робочу поверхню;  
 $z_k$  - апліката точки  $K$  – миттєвого центру обертання насіння в розглянутий момент часу  $t$  в системі координат робочої поверхні;  
 $a, b, c$  - півосі еліпсоїда, який є моделлю форми насіння. Півосі відкладаються уздовж головних осей інерції насіння.

Проекції радіус-вектора  $\vec{R}_C$  в системі координат робочої поверхні розраховуємо за допомогою наступних виразів:

$$R_{Cx} = -x'_K l_1 - y'_K l_2 - z'_K l_3, \quad (68)$$

$$R_{Cy} = -x'_K m_1 - y'_K m_2 - z'_K m_3, \quad (69)$$

$$R_{Cz} = -x'_K n_1 - y'_K n_2 - z'_K n_3, \quad (70)$$

де  $x'_K, y'_K, z'_K$  - координати точки контакту насіння з робочою поверхнею. Точка контакту  $K$  визначається як та дискретна точка тіла, при заданому кроці розбивки еліпсоїда на дискретні ділянки, яка на поточний момент часу  $t$  має найменше значення координати по осі  $Z$  у системі координат робочої поверхні. Перерахунок координат встановлених дискретних точок розбиття поверхні еліпсоїда з системи координат  $X'Y'Z'$  до системи координат робочої поверхні  $XYZ$  здійснюється аналогічно перерахунку координат радіус-вектора  $\vec{R}_C$ :

$$x_{lm} = x'_{lm} l_1 + y'_{lm} l_2 + z'_{lm} l_3, \quad (71)$$

$$y_{lm} = x'_{lm} m_1 + y'_{lm} m_2 + z'_{lm} m_3, \quad (72)$$

$$z_{lm} = x'_{lm} n_1 + y'_{lm} n_2 + z'_{lm} n_3, \quad (73)$$

де  $x_{lm}, y_{lm}, z_{lm}$  - координати точки поверхні насіння;

$x'_{lm}, y'_{lm}, z'_{lm}$  - координати відповідної точки поверхні насіння у його власній системі координат  $X'Y'Z'$ .

Значення координат точок розбиття поверхні насіння у його власній системі координат розраховуємо за наступними виразами:

$$x'_{lm} = l_{lm} \cdot a \cdot b \cdot c \cdot A_1, \quad (74)$$

$$y'_{lm} = m_{lm} \cdot a \cdot b \cdot c \cdot A_1, \quad (75)$$

$$z'_{lm} = n_{lm} \cdot a \cdot b \cdot c \cdot A_1, \quad (76)$$

$$A_1 = \sqrt{\frac{1}{a^2 c^2 l_{lm}^2 + b^2 c^2 m_{lm}^2 + a^2 b^2 n_{lm}^2}}, \quad (77)$$

$$l_{lm} = \cos[(l-1)\Delta\xi] \cdot \sin[(m-1)\Delta\zeta], \quad (78)$$

$$m_{lm} = \sin[(l-1)\Delta\xi] \cdot \sin[(m-1)\Delta\zeta], \quad (79)$$

$$n_{lm} = -\cos[(m-1)\Delta\zeta]. \quad (79)$$

*Висновки.* Вирази (5) – (79), наведені вище, є у своїй сукупності математичною моделлю безвідривного руху насіння по похилій віброуючій поверхні.

Література:

1. Лукьяненко В.М. Математическое моделирование вибросепарирования семенных смесей на неперфорированных поверхностях [Текст] / В.М. Лукьяненко // Вісник ХНТУСГ «Механізація сільськогосподарського виробництва». – Харків, 2014. – Вип. 148. – С. 342–349.

2. Манчинський Ю.О. Обґрунтування параметрів розділення насінневих сумішей на віброуючій поверхні : Автореф. дис... докт. техн. наук / Ю.О. Манчинський. – К., 2000. – 35 с.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ БЕЗОТРЫВНОГО ДВИЖЕНИЯ ИЗОЛИРОВАННОГО СЕМЕНИ ПО НАКЛОННОЙ ВИБРИРУЮЩЕЙ НЕПЕРФОРИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Лук'яненко В.М.

*Аннотация* – данная работа посвящена математическому моделированию движения изолированного семени в безотрывном режиме по наклонным фрикционным неперфорированным пластинам вибрационных сеяноочистительных машин.

## MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE CONTINUOUS MOVEMENT OF AN ISOLATED SEED ON THE INCLINED VIBRATING NON-PERFORATED SURFACE

V. Lukyanenko

### *Summary*

**This work is devoted to the mathematical modeling of the continuous motion of an isolated seed on inclined friction non-perforated plates of vibrating seed cleaning machines.**