

УДК 631.361

## ДОСЛІДЖЕННЯ КУТА ВІДБИВАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ ВІД ПОВЕРХНІ ВИТКА ШНЕКА

*Труханська О.О.*

*Кравченко І.Є.*

*Вінницький національний аграрний університет*

*Барановський В.М.*

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

*Викладено результати дослідження процесу взаємодії коренеплодів з робочою поверхнею витка шнека, який встановлено під кутом до напрямку руху вороху. Аналітично визначено результуючу швидкість співудару та кут відбивання коренеплодів від поверхні витка шнека.*

*The results of research of the interaction of roots with the working surface of the spiral screw, which is set at an angle to the direction the pile. Analytical determined the resulting speed and angle of reflection collisions roots from the surface coil screw.*

### **Постановка проблеми**

Для обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів і режимів роботи транспортно-очисних систем коренезбиральних машин (КМ) доцільно спочатку побудувати математичну модель технологічного процесу роботи очисника з метою отримання закономірностей процесу його функціонування.

Особливе значення для удосконалення конструктивно-технологічного рівня і окремих робочих органів КМ необхідно надавати питанням загальних інженерно-технічних проблем конструювання машин: удосконалення робочих органів і інших конструктивних елементів КМ на основі більш глибокого аналізу врахування специфічних характеристик технологічного процесу роботи очисників, фізико-механічних властивостей коренеплодів тощо.

Аналіз роботи шнекових очисних робочих органів показав, що в них не повністю розкриті переваги ефекту косої співудару коренеплодів з робочими поверхнями шнека, при якому забезпечується значне зниження сильно пошкоджених коренеплодів.

### **Аналіз останніх досліджень**

Опубліковані результати теоретичних досліджень гвинтових механізмів транспортних систем КМ, відносяться як правило до побудови математичних моделей процесу взаємодії коренеплодів з гвинтовим конвеєром, вісь обертання якого розташована поперек руху вороху [1, 2]. Запропонована конструкція комбінованої очисної системи (КОС), яка, окрім шнекового робочого органу, містить комбінацію інших конструктивних елементів [3, 4] і має власні специфічні властивості, що і зумовило проведення даних досліджень.

### **Мета дослідження**

Подальший розвиток методів і методики обґрунтування параметрів і режимів роботи комбінованих очисників вороху коренеплодів.

**Результати дослідження**

Зменшення пошкодження коренеплодів під час сепарації домішок у значній мірі залежить від режимів роботи очисника або встановлених значень основних конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів КОС.

Дослідження кута відбивання коренеплодів розглянемо в процесі подальшого їх переміщення по робочій гілці транспортера після контакту з витком шнека КОС. Для рішення задачі розглянемо складену розрахункову схему процесу взаємодії коренеплоду з витком шнека, яку наведено на рис. 1.

Коренеплід з швидкістю  $V_m$  руху транспортера 1 надходить до шнека 2, який обертається зустрічно напрямку руху коренеплоду з кутовою швидкістю  $\omega$ . Коренеплід після контакту з витком 4 шнека у точці  $O$ , відбивається від витка з результуючою швидкістю  $V_p$  та рухається у напрямку її вектора.

Для рішення контактної задачі вибираємо загальну просторову систему координат, при цьому осі  $Ox$  і  $Oy$  направимо відповідно паралельно та перпендикулярно напрямку вектора  $\vec{V}_m$  швидкості руху транспортера 1, а вісь  $Oz$  – паралельно вертикальній осі шнека (рис. 1).

Коренеплід після контакту з витком шнека у точці  $O$  відбивається від поверхні витка зі швидкістю  $V_p$  та рухається у напрямку її вектора під кутом відбивання  $\psi$ . Кут  $\psi$  визначається кутом, який утворений напрямками проекції  $\vec{V}_{p_{xy}}$  вектора  $\vec{V}_p$  на горизонтальну площину  $xOy$  та вектора швидкості переміщення коренеплоду  $\vec{V}_{oc}$  відносно поздовжньої осі  $O'O'$  обертання шнека.

Значення кута  $\psi$ , який визначає напрямок руху коренеплоду після його контакту з витком шнека визначається

$$\psi = 90^0 - (\alpha + \delta), \quad (1)$$

де  $\psi$  – кут відбивання коренеплодів, град.;  $\alpha$  – кут встановлення шнека відносно напрямку вектора  $\vec{V}_m$ , град.;  $\delta$  – кут між напрямками  $\vec{V}_{p_{xy}}$  вектора  $\vec{V}_p$  на горизонтальну площину  $xOy$  та осі  $Oy$ , град.

Після визначення кута  $\delta = \arccos(V_{c_y} / V_{p_{xy}})$  одержано

$$\psi = 90^0 - \alpha - \arccos \left( V_{c_{xy}} \cos \left( \alpha - \arcsin \frac{V_{k_{xy}}}{V_{c_{xy}}} \right) / V_{p_{xy}} \right), \quad (2)$$

де  $V_{c_{xy}}$  – проекція сумарної швидкості шнека  $V_c$  на площину  $xOy$ , м/с;  $V_{p_{xy}}$  – проекція результуючої швидкості  $V_p$  на площину  $xOy$ , м/с;  $V_{k_{xy}}$  – проекція колової швидкості шнека на площину  $xOy$ , м/с.

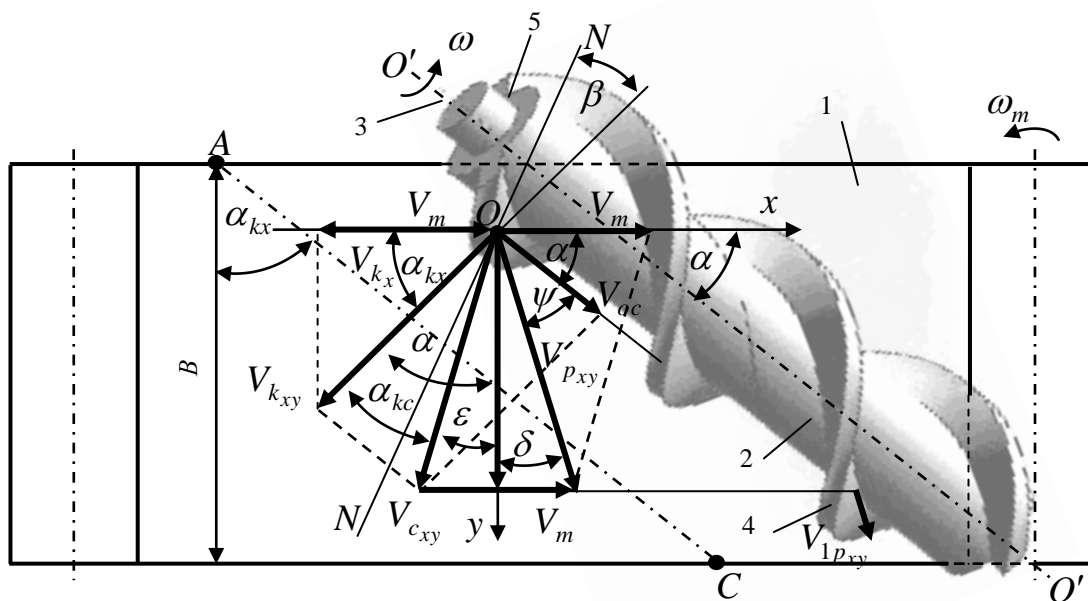


Рис. 1. Схема для розрахунку параметрів КОС, вигляд зверху

Для визначення скалярного значення проекції  $V_{p_{xy}}$  в площині  $xOy$  застосовуємо теорему косинусів [5], при цьому

$$V_{p_{xy}} = \sqrt{V_k^2 \cos^2 \varphi + V_{oc}^2 + V_m^2 - 2V_m \cos \gamma \sqrt{V_k^2 \cos^2 \varphi + V_{oc}^2}}, \quad (3)$$

де  $V_m$  – швидкість руху транспортера, м/с;  $\gamma$  – кут між напрямками проекції  $V_{c_{xy}}$  та  $V_m$ , град.;  $V_c$ ,  $V_k$  – сумарна та колова швидкість шнека, м/с;  $V_{oc}$  – швидкість переміщення коренеплоду відносно осі  $O'O'$  обертання шнека, м/с.

Складові залежності (3) визначаються

$$V_k = 0,5D \frac{d\varphi}{dt}; \quad V_m = 0,5D_m \frac{d\varphi_m}{dt}; \quad V_{oc} = 0,5Dk_v \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2}\right) \frac{d\varphi}{dt}, \quad (4)$$

де  $\omega$ ,  $\omega_m$  – кутова швидкість витка шнека та приводного вала транспортера, рад/с;  $D$ ,  $D_m$  – зовнішній діаметр шнека та діаметр барабана приводного вала транспортера, м;  $\varphi_m$  – кут повороту барабана приводного вала транспортера, рад.;  $k_v$  – коефіцієнт, який враховує зниження швидкості  $V_{oc}$  відносно теоретичної швидкості витків шнека;  $\varphi_k$  – коефіцієнт тертя коренеплоду з матеріалом поверхні витка.

Кут  $\gamma$  між напрямками проекції  $V_{c_{xy}}$  та  $V_m$  згідно з рис. 1 визначається

$$\gamma = 90^\circ - \alpha - \arcsin \frac{\cos \varphi}{2\sqrt{\theta}}, \quad (5)$$

$$\text{де } \theta = \cos^2 \varphi + k_v^2 \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi'}{4} - \frac{\varphi_k}{2} \right).$$

Підставивши значення складових (4), (5) у залежність (3) одержано залежність для визначення скалярного значення  $V_{p_{xy}}$  в площині  $xOy$

$$V_{p_{xy}} = 0,5 \sqrt{D^2 \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \theta + D_m \frac{d\varphi_m}{dt} \left( D_m \frac{d\varphi_m}{dt} - D \frac{d\varphi}{dt} \sqrt{\theta} \right) \times \sin \left( \alpha + \arcsin \frac{\cos \varphi}{2\sqrt{\theta}} \right)} \quad (6)$$

Таким чином кут відбивання коренеплодів  $\psi$  або напрямок їх руху після контакту з витком шнека з врахуванням залежностей (2), (3), (6) й того, що  $90 - \arccos x = \operatorname{arctg} \left( x / \sqrt{1-x^2} \right)$ ,  $\omega = \pi n / 30$ , де  $n$  – частота обертання шнека (об/хв) та після спрощення виразу, визначається за формулою:

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{D \frac{\pi n}{30} \operatorname{ctg} \left( \alpha - \arcsin \frac{\cos \varphi}{2\sqrt{\theta}} \right) \sqrt{\sin \left( \alpha + \arcsin \frac{\cos \varphi}{2\sqrt{\theta}} \right)}}{\sqrt{D^2 \frac{\pi^2 n^2}{900} + V_m \left( \frac{V_m}{\sqrt{\theta}_m} - D \frac{\pi n}{30} \right)}} - \alpha, \quad (7)$$

або

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{D \frac{\pi n}{30} \operatorname{ctg} \left( \alpha - \arcsin \frac{\cos \varphi}{2\sqrt{\cos^2 \varphi + k_v^2 \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi'}{4} - \frac{\varphi_k}{2} \right)}} \right) \times \sqrt{\sin \left( \alpha + \arcsin \frac{\cos \varphi}{2\sqrt{\cos^2 \varphi + k_v^2 \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi'}{4} - \frac{\varphi_k}{2} \right)}} \right)}}{\sqrt{D^2 \left( \frac{\pi n}{30} \right)^2 + V_m \left( \frac{V_m}{\sqrt{\cos^2 \varphi + k_v^2 \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi'}{4} - \frac{\varphi_k}{2} \right)}} - D \frac{\pi n}{30} \right)}} - \alpha. \quad (8)$$

Одержані залежності (7), (8) є математичними моделями, які характеризують залежність кута відбивання коренеплодів  $\psi$  або напрямок переміщення (руху) коренеплодів

після його контакту з витком шнека від зміни основних конструктивно-кінематичних параметрів КОС.

Характер зміни кута відбивання коренеплодів  $\psi$  регламентує ступінь пошкодження коренеплодів під час їх контакту з витком шнека.

Забезпечення мінімальних пошкоджень коренеплодів під час їх взаємодії з витком шнека досягається у випадку, коли після взаємодії з витком шнека коренеплоди не відбиваються від поверхні витка шнека з результуючою швидкістю  $V_{p_{xy}}$  та не повертаються знову до витка на повторну взаємодію з ним, відлітаючи знову від нього з повторною результуючою швидкістю  $V_{1p_{xy}}$  (рис. 2), а переміщуються витками шнека вздовж осі обертання  $O'O'$ , або в частковому випадку переміщуються вздовж напрямку осі  $Oy$ .

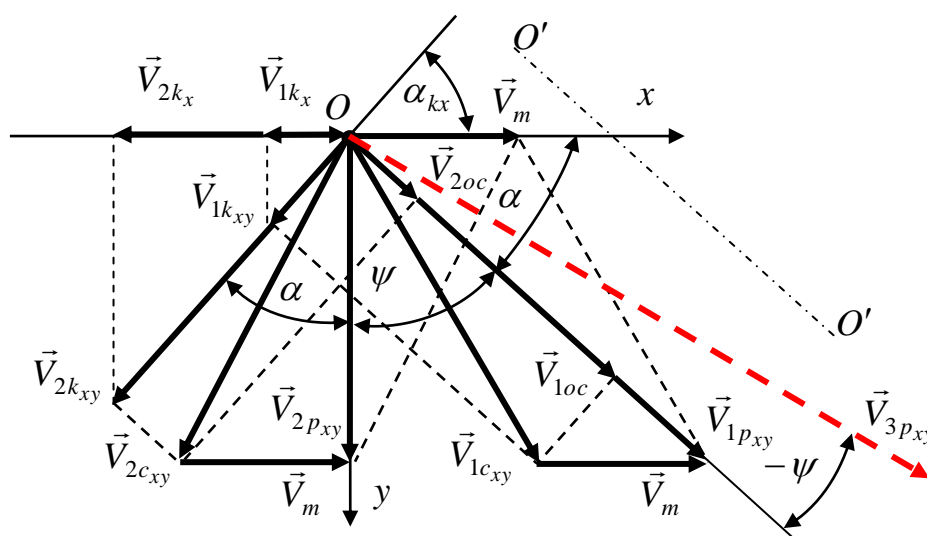


Рис. 2. Схема для розрахунку кута відбивання коренеплодів  $\psi$

Дана умова виконується у випадку, коли напрямок вектора результуючої швидкості  $\vec{V}_{1p_{xy}}$  (рис. 2) співпадає з напрямком вектора швидкості переміщення коренеплоду  $\vec{V}_{1oc}$  відносно поздовжньої осі  $O'O'$  обертання шнека або в частковому випадку  $\vec{V}_{2p_{xy}}$  співпадає з напрямком осі  $Oy$ , тобто  $0 \leq \psi \leq 90^\circ - \alpha$ .

Тоді рівняння (7) запишемо у вигляді

$$0 \leq \psi = \arctg \frac{D \frac{d\varphi}{dt} \operatorname{ctg} \left( \alpha - \arcsin \frac{\cos \varphi}{2\sqrt{\theta}} \right) \sqrt{\sin \left( \alpha + \arcsin \frac{\cos \varphi}{2\sqrt{\theta}} \right)}^0}{\sqrt{D^2 \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + V_m \left( \frac{V_m}{\sqrt{\theta}} - D \frac{d\varphi}{dt} \right)}} < 90^\circ \quad (9)$$

або

$$0 \leq \operatorname{tg} \psi = \frac{D \frac{d\varphi}{dt} \operatorname{ctg} \left( \alpha - \arcsin \frac{\cos \varphi}{2\sqrt{\theta}} \right) \sqrt{\sin \left( \alpha + \arcsin \frac{\cos \varphi}{2\sqrt{\theta}} \right)}}{\sqrt{D^2 \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + V_m \left( \frac{V_m}{\sqrt{\theta}} - D \frac{d\varphi}{dt} \right)}} < \frac{\pi}{2}. \quad (10)$$

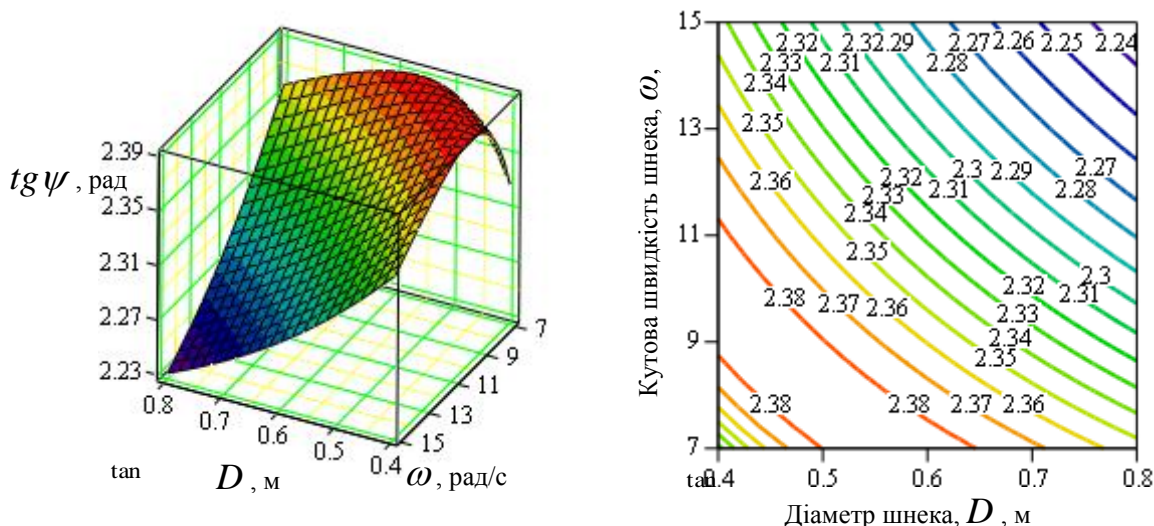


Рис. 3. Поверхня зміни кута відбивання коренеплодів  $\psi$

як функціонал  $\operatorname{tg} \psi = f(D, \omega)$

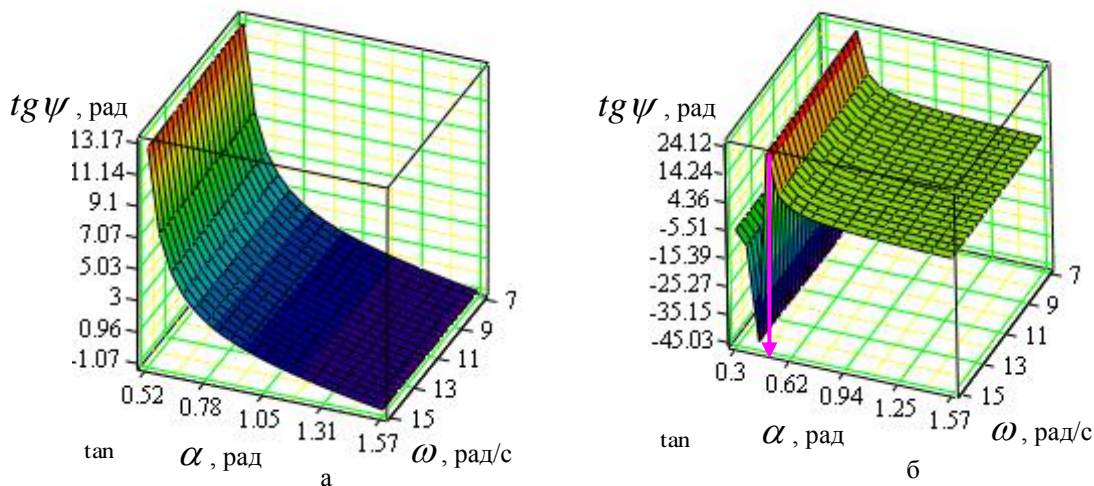


Рис. 4. – Поверхня зміни кута відбивання коренеплодів як функціонала

$\operatorname{tg} \psi = f(\omega, \alpha)$  для  $D = 0,5$  м: а – в межах зміни  $\pi/6 \leq \alpha \leq \pi/2$ ;

б – в межах зміни  $\pi/12 \leq \alpha \leq \pi/2$

Одержані залежності (9), (10) є диференціальним записом математичної моделі, яка характеризує залежність зміни кута відбивання коренеплодів  $\psi$  від конструктивно-кінематичних параметрів КОС або напрямку переміщення (руху) коренеплодів після контакту з витком шнека за умови забезпечення їх мінімальних пошкоджень.

Аналіз побудованих графічних залежностей показує, що кут відбивання коренеплодів  $\psi$ , у межах зміни конструктивно-кінематичних параметрів шнека  $0,4 \leq D \leq 0,8$  (м),  $7 \leq \omega \leq 15$  (рад/с) при значенні кута установки шнека відносно початкового напрямку руху коренеплодів  $\alpha = 30^0$ , змінюється в незначному діапазоні – приблизно від 65 до 67 град (рис. 3), тобто в даному випадку можна констатувати, що в загальному контексті вплив діаметра шнека  $D$  і кутової швидкості шнека  $\omega$  на зміну кута  $\psi$  доволі незначний. Даний висновок характерний також аналізу залежностей, які наведено на рис. 4.

Крім того, можна констатувати, що зміна кута  $\psi$  у значній мірі залежить від значенні кута установки шнека  $\alpha$  відносно початкового напрямку руху коренеплодів, при цьому в межах зміни  $\pi/6 \leq \alpha \leq \pi/2$  кут відбивання  $\psi$  знаходиться в діапазоні від «мінус» 47 до 85 град (рис. 3), а в межах зміни  $\pi/12 \leq \alpha \leq \pi/2$  – від «мінус» 88 до 87 град (рис. 4). Знак «мінус» у даному випадку показує, що вектор результуючої швидкості співудару  $\vec{V}_{3p_{xy}}$  (рис. 2) направлений в бік вектора осьового переміщення витків шнека  $\vec{V}_{oc}$ . У цьому випадку коренеплоди після контактної взаємодії з витком шнека КОС рухаються в бік барабана 5 (рис. 1) шнека 2, що є не раціональнішим випадком.

### Висновки

Побудовано математичну модель, яка характеризує зміну кута відбивання коренеплодів залежно від параметрів КОС та є передумовою для подальшого аналізу технологічного процесу роботи очисника.

### Література

1. Механізми з гвинтовими пристроями / Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко., Р.М. Рогатинський [та ін.]. – Львів: Світ, 1992. – 380 с.
2. Аналіз процесу взаємодії коренеплоду з витком шнека / Н.А. Дубчак, В.М. Барановський, В.Б. Онищенко [та ін.] // Вісник ТНТУ. – Тернопіль, 2011. – Т. 12, № 2. – С. 109–118.
3. Пат. № 65050 Україна. МПК А 01D 33/08. Очисна система вороху коренеплодів / Барановський В.М., Підгурський М.І., Труханська О.О., Паньків М.Р.; заявник і власник Тернопільський держав. техніч. університет ім. І. Пулюя. – № u201105238 ; заявл. 26.04.11 ; опубл. 25.11.11. Бюл. № 22.
4. Аналіз конструктивних особливостей комбінованих очисних систем вороху коренеплодів / Труханська О.О., Середа Л.П., Кравченко І.Є. [та ін.] // Зб. наук. праць. Серія: Технічні науки. – Вінниця : ВНАУ, 2011. – Вип. 9. – С. 38–49.
5. Бутенин Н.В. Курс теоретической механики : [учебник, том II. : Динамика, 3-е изд., исправл.] / Н.В. Бутенин, Я.Л. Луни, Д.Р. Меркин. – М. : Наука, 1985. – 496 с.