**ТРАНСПОРТНІ ТА ТРАНСПОРТНО - ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА
ОБЛАДНАННЯ**

УДК 631.362

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ
КОРЕНЕПЛОДІВ З ШНЕКОВОЮ ПОВЕРХНЕЮ***Труханська Олена Олександрівна, к.т.н., старший викладач**Швець Людмила Василівна, к.т.н., доц.**Вінницький національний аграрний університет**Truhanska O.**Shvec L.**Vinnitsia National Agrarian University*

Анотація: на основі аналізу руху кормових буряків робочими поверхнями подавального транспортера та встановленого над ним шнека наведено теоретичні дослідження технологічного процесу функціонування комбінованої очисної системи. Одержано аналітичні моделі процесу косоного співудару кормових буряків з витком шнека, які характеризують залежність зміни сумарної швидкості співудару, коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплодів і глибини пошкодження тіла коренеплоду від основних параметрів комбінованої очисної системи. Визначено раціональні межі основних конструктивно-кінематичних параметрів комбінованої очисної системи з умови забезпечення мінімізації пошкодження кормових буряків.

Ключові слова: комбінована очисна система, коренеплоди, подавальний транспортер, шнек, сумарна швидкість співудару, коефіцієнт технологічної взаємодії, частота обертання шнека, діаметр шнека, пошкодження кормових буряків.

Постановка проблеми

Необхідності удосконалення робочих органів і конструктивних елементів коренезбиральних машин на основі більш глибокого аналізу врахування фізико-механічних властивостей коренеплодів приділяється особлива увага серед ряду питань загальних інженерно-технічних проблем конструювання машин для підвищення конструктивного і технологічного рівня та окремих робочих органів коренезбиральних машин [1]. Характеристики кормових буряків, як елемента системи «машина-робочий орган-коренеплід», необхідно враховувати у вигляді сукупності різних механічних якостей і параметрів, які є визначальними при сумарних механічних діях на об'єкт обробки, їх допустимий рівень і діапазон конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів [2].

Під час оптимізації параметрів транспортно-технологічних систем коренезбиральних машин, які мають робочі органи гвинтових механізмів, на стадії їх проектування доцільно спочатку побудувати математичну модель технологічного процесу роботи комбінованої очисної системи з метою отримання закономірностей процесу її функціонування залежно від основних конструктивно-кінематичних параметрів [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

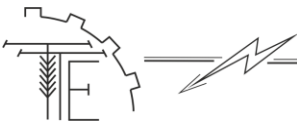
Для розробки технологічних процесів і окремих операцій, а також для визначення параметрів та режимів роботи сільськогосподарських машин використовують фізико-механічні властивості рослин. Виробниче застосування очисних робочих органів машин для збирання кормових буряків показало, що загальні пошкодження коренеплодів можуть становити до 40 % залежно від їх агробіологічних характеристик. Удосконалення робочих органів і інших конструктивних елементів коренезбиральних машин повинно базуватися на основі більш глибокого аналізу врахування фізико-механічних властивостей кормових буряків [4].

Мета дослідження

Подальший розвиток методології та методів оптимізації параметрів комбінованих очисників вороху коренеплодів коренезбиральних машин.

Результати дослідження

Головними критеріями, які характеризують технологічний процес сепарації викопаного вороху є ступінь відокремлення домішок від коренеплодів і показник ступеня пошкодження коренеплодів в процесі їх взаємодії з робочими поверхнями комбінованої очисної системи. Для



оцінки ступеня пошкодження коренеплодів, максимальні значення яких виникають у процесі їх взаємодії з витком шнека комбінованої очисної системи, введемо коефіцієнт технологічної взаємодії коренеплоду: $K_T = [V_{max}] / V_{ck} \geq 1$. Максимально допустима швидкість $[V_{max}]$ удару кормових буряків з робочими поверхнями обмежена допустимими значеннями, при перевищенні яких коренеплоди отримують пошкодження, що не перевищують межі слабо- та сильнопошкоджених коренеплодів згідно з агротехнічними вимогами [5]. Для визначення сумарної швидкості V_{ck} наведено розрахункову схему, (рис. 1,а).

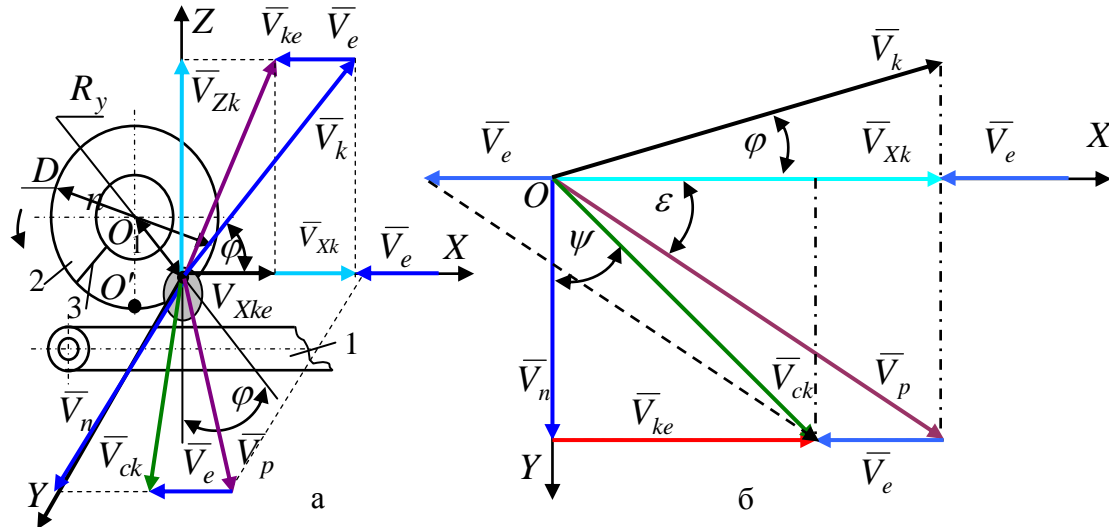


Рис. 1. Розрахункова схема (а) та план швидкостей (б) косої співудару коренеплоду з робочими поверхнями очисної системи: 1 – транспортер; 2 – шнек; 3 – виток шнека

Процес взаємодії коренеплоду з витком 3 шнека 2 розглянемо як дію ударної сили на матеріальне тіло, при цьому коренеплід взаємодіє з поверхнею витка шнека у точці О, який обертається з частотою n . Початкову швидкість удару коренеплоду позначимо через V_e , значення якої відповідає швидкості руху пруткового транспортера 1. Точка удару O знаходиться на відстані R_y від осі обертання шнека O_1 . Після удару коренеплід відбивається від поверхні витка шнека з кінцевою сумарною швидкістю V_{ck} та рухається в її напрямку під кутом ψ .

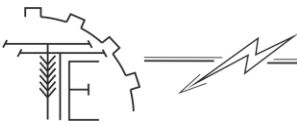
Загальний випадок ударної взаємодії двох тіл характеризується зміною кутових і поступальних швидкостей руху відносно координатних осей просторової системи $OXYZ$. При косому ударі виникають різні види фрикційної взаємодії та деформація стиснення тіла коренеплодів, відповідно, тангенціального та нормального ударного імпульсу, при цьому результатом деформації стиснення є поява тріщин в тілі коренеплоду або його розколювання. Зменшення нормального ударного імпульсу можливе за рахунок зменшення сумарної V_{ck} , реалізація якого досягається за рахунок зменшення нормальної складової V_{ck} , або як наслідок – за рахунок зменшення кута нахилу поверхні співудару β .

У зв'язку з цим розглянемо план швидкостей косої співудару коренеплоду та витка шнека в горизонтальній площині OXY (рис. 1, б), вважаючи при цьому, що швидкість руху до і після співудару змінюється тільки у коренеплоду.

Із аналізу схеми плану швидкостей маємо:

$$\left. \begin{aligned} \bar{V}_{ke} &= \sqrt{\bar{V}_k^2 - \bar{V}_e^2}; \\ \bar{V}_p &= \sqrt{\bar{V}_{Xk}^2 + \bar{V}_n^2} = \sqrt{\bar{V}_k^2 \cos^2 \phi + \bar{V}_n^2}; \\ \bar{V}_{ck} &= \sqrt{\bar{V}_{ke}^2 + \bar{V}_n^2} = \sqrt{(\bar{V}_k - \bar{V}_e)^2 + \bar{V}_n^2} \end{aligned} \right\}; \quad (1)$$

З (1) отримано рівняння скалярної сумарної швидкості V_{ck} (2).



$$V_{ck} = \frac{dl_k}{dt} = \sqrt{\left[\left(\frac{D \cos \varphi}{2} \frac{d\varphi}{dt} \right) - \left(\frac{D_e}{2} \frac{d\varphi_e}{dt} \right) \right]^2 + \left(\frac{DK_{vn} \operatorname{tg} \beta}{2} \frac{d\varphi}{dt} \right)^2}, \quad (2)$$

або після спрощення (2) та умови $K_T = [V_{\max}] / V_{ck} \geq 1$.

$$V_{ck} = \frac{1}{2} \sqrt{D^2 (\cos^2 \varphi + K_{vn}^2 \operatorname{tg}^2 \beta) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + D_e \frac{d\varphi_e}{dt} \left(D_e \frac{d\varphi_e}{dt} - 2D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} \right)}; \quad (3)$$

$$K_T = \frac{2[V_{\max}]}{\sqrt{D^2 (\cos^2 \varphi + K_{vn}^2 \operatorname{tg}^2 \beta) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + D_e \frac{d\varphi_e}{dt} \left(D_e \frac{d\varphi_e}{dt} - 2D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} \right)}} \geq 1. \quad (4)$$

Одержане диференціальне рівняння (4) характеризує технологічність роботи комбінованої очисної системи, або залежність зміни коефіцієнта технологічної взаємодії коренеплоду K_T з витком шнека від основних параметрів очисної системи.

Враховуючи (1), залежність (4) матиме вигляд:

$$K_T = \frac{[V_{\max}]}{\pi \sqrt{D^2 n^2 (\cos^2 \varphi + K_{vn}^2 \operatorname{tg}^2 \beta) + D_e n_e (D_e n_e - D n \cos \varphi)}} \geq 1. \quad (5)$$

Аналіз (рис. 1, а) показує, що після удару коренеплід відбивається від поверхні витка шнека з кінцевою сумарною швидкістю V_{ck} та рухається в напрямку її вектора \bar{V}_{ck} , проекція якої на горизонтальну площину OXY з вектором швидкості осьового переміщення витків шнека \bar{V}_n , утворює кут ψ . При досягненні швидкості $V_{ck} = dl_k / dt = 0$, коренеплід подавальним транспортером, знову рухається в напрямку шнека та знову зазнає ударної взаємодії з робочою поверхнею витка шнека.

У цьому випадку мінімальні пошкодження коренеплодів і максимальна технологічність роботи комбінованої очисної системи будуть також при умові, коли кут $\psi \leq 0$, або коли коренеплоди рухаються вздовж осі обертання шнека.

Згідно (рис. 1, а) маємо:

$$V_{ke}^2 = V_n^2 + V_{ck}^2 + 2V_n V_{ck} \cos \psi, \quad (6)$$

або

$$\left(\frac{dl_k}{dt} \right)^2 + 2 \left(\frac{DK_{vn} \operatorname{tg} \beta}{2} \frac{d\varphi}{dt} \right) \left(\frac{dl_k}{dt} \right) \cos \psi + \left(\frac{DK_{vn} \operatorname{tg} \beta}{2} \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - \left(\frac{D \cos \varphi}{2} \frac{d\varphi}{dt} - \frac{D_e}{2} \frac{d\varphi_e}{dt} \right)^2 = 0. \quad (7)$$

Позначивши в (7) відповідні складові через:

$$\begin{aligned} \frac{dl_k}{dt} &= x; \quad DK_{vn} \operatorname{tg} \beta \cos \psi \frac{d\varphi}{dt} = p; \\ \left(\frac{DK_{vn} \operatorname{tg} \beta}{2} \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - \left(\frac{D \cos \varphi}{2} \frac{d\varphi}{dt} - \frac{D_e}{2} \frac{d\varphi_e}{dt} \right)^2 &= q; \end{aligned}$$

одержимо приведенне квадратне рівняння, рішення якого відносно x має вигляд:

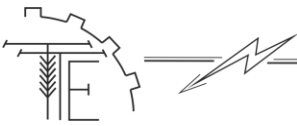
$$\frac{dl_k}{dt} = -\frac{DK_{vn} \operatorname{tg} \beta}{2} \frac{d\varphi}{dt} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left(DK_{vn} \operatorname{tg} \beta \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 (\cos^2 \psi - 1) - \left(D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} - D_e \frac{d\varphi_e}{dt} \right)^2}, \quad (8)$$

при цьому два дійсні значення dl_k / dt будуть за умови:

$$-\left(D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} - D_e \frac{d\varphi_e}{dt} \right)^2 \leq 0. \quad (9)$$

Таким чином, теоретична залежність, яка характеризує взаємозв'язок коефіцієнта K_T та основні параметри очисної системи, має вигляд:

$$K_T = \frac{2[V_{\max}]}{-DK_{vn} \operatorname{tg} \beta \frac{d\varphi}{dt} \pm \sqrt{\left(DK_{vn} \operatorname{tg} \beta \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 (\cos^2 \psi - 1) - \left(D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} - D_e \frac{d\varphi_e}{dt} \right)^2}} \geq 1. \quad (10)$$



Враховуючи (1), для практичного використання залежностей (7), (10) запишемо:

$$\left. \begin{aligned} V_{ck} &= -\pi DnK_{vn}tg\beta \pm \pi \sqrt{(DnK_{vn}tg\beta)^2 (\cos^2 \psi - 1) - (Dn \cos \varphi - D_e n_e)^2}; \\ K_T &= \frac{[V_{max}]}{-DnK_{vn}tg\beta \pm \pi \sqrt{(DnK_{vn}tg\beta)^2 (\cos^2 \psi - 1) - (Dn \cos \varphi - D_e n_e)^2}} \geq 1 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Залежність кута ψ між проекцією вектора \vec{V}_{ck} на горизонтальну площину OXY з вектором швидкості осьового переміщення витків шнека \vec{V}_n від основних параметрів комбінованої очисної системи може бути представлена [6]:

$$\psi = \arcsin \left(\sqrt{1 + \frac{D^2 tg^2 \beta \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2}{\pi \left(D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} - D_e \frac{d\varphi_e}{dt}\right)^2}} \right)^{-1} \quad (12)$$

Крок гвинтової лінії T і кут підймання гвинтової лінії β по зовнішньому діаметру в процесі проектування шнекових робочих органів вибирають з умови забезпечення вільного проходження кормових буряків і максимальної швидкості їх переміщення вздовж осьової лінії обертання шнека, при цьому $\beta = 45^\circ - 0,5\varphi_k$, де $\varphi_k = 35^\circ$ [7], тоді $\beta = 27,5$ град.

Підставивши (12) у (8) одержимо математичну модель, яка характеризує кінематичний процес технологічної взаємодії кормових буряків з витком шнека та функціонально пов'язує величину та напрямок сумарної швидкості співдудару коренеплоду V_{ck} з параметрами комбінованої очисної системи:

$$\begin{aligned} &2 \frac{dl_k}{dt} + DK_{vn}tg \left(45 - \frac{\varphi_k}{2}\right) \frac{d\varphi}{dt} = \\ &= \sqrt{\left(DK_{vn}tg \left(45 - \frac{\varphi_k}{2}\right) \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \left\{ \cos^2 \left[\arcsin \left(\frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{D^2 tg^2 \left(45 - \frac{\varphi_k}{2}\right) \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2}{\pi \left(D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} - D_e \frac{d\varphi_e}{dt}\right)^2}} \right) \right] - 1 \right\} - \left(D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} - D_e \frac{d\varphi_e}{dt} \right)^2} \end{aligned} \quad (13)$$

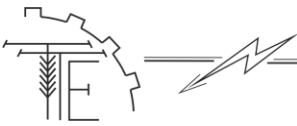
або коефіцієнта K_T :

$$\begin{aligned} K_T &= \frac{2[V_{max}]}{-DK_{vn}tg \left(45 - \frac{\varphi_k}{2}\right) \frac{d\varphi}{dt} \pm} \\ &\pm \sqrt{\left(DK_{vn}tg \left(45 - \frac{\varphi_k}{2}\right) \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \left\{ \cos^2 \left[\arcsin \left(\frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{D^2 tg^2 \left(45 - \frac{\varphi_k}{2}\right) \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2}{\pi \left(D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} - D_e \frac{d\varphi_e}{dt}\right)^2}} \right) \right] - 1 \right\} - \left(D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} - D_e \frac{d\varphi_e}{dt} \right)^2} \end{aligned} \quad (14)$$

Враховуючи (8), математичні моделі (13), (14) запишемо, як:

$$\left. \begin{aligned} 2 \frac{dl_k}{dt} + DK_{vn}tg \left(45 - \frac{\varphi_k}{2}\right) \frac{d\varphi}{dt} &= D_e \frac{d\varphi_e}{dt} - D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt}; \\ K_T &= \frac{2[V_{max}]}{-DK_{vn}tg \left(45 - \frac{\varphi_k}{2}\right) \frac{d\varphi}{dt} \pm D_e \frac{d\varphi_e}{dt} - D \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt}} \geq 1. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Одержані залежності (15) є математичними моделями, які функціонально регламентують кінематичний процес технологічної взаємодії кормових буряків з витком шнека з умови мінімізації їх пошкоджень.



Висновки

Побудовані теоретичні математичні моделі процесу взаємодії коренеплоду з витком шнека комбінованої очисної системи можуть бути використані для подальшого обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів транспортно-технологічної системи очисників вороху кормових буряків коренезбиральних машин.

Мінімальні пошкодження коренеплодів і максимальна технологічність роботи комбінованої очисної системи будуть при умові, коли кут $\psi \leq 0$.

Список літератури

1. Погорельий Л.В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз / Л.В. Погорельий, М.В. Татьяна – К. : Феникс, 2004. – 232 с.
2. Погорілий М.Л. Технологічні і технічні аспекти вдосконалення бурякозбиральної техніки / М.Л. Погорілий // Техніка АПК. – 2000. - № 1. – С. 14-18.
3. Пат. 28465 Україна, МКІ⁵ А 01 Д 33/08. Очисна система вороху коренеплодів / В.М. Барановський, М.Р. Паньків, Н.А. Дубчак, О.Ф. Олійник; заявник і власник Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. – № у 2007 08888; заявл. 01.12.2007; опубл. 10.12.2007, Бюл. № 20.
4. Барановський В.М. Очисна система вороху коренеплодів / В.М. Барановський, М.Р. Паньків, Н.А. Дубчак // Вісник ХНТУСГ “Механізація с.-г. виробництва”. – Т. 1. – Вип. 59. – Харків, 2007. – С. 33-36
5. ДСТУ 2258-93. Машины бурякозбиральні. – Київ.: Держстандарт України, 1993. – 18 с.
6. Барановський В.М. Основні етапи та сучасні тенденції розвитку коренезбиральних машин / В.М. Барановський // Вісник ТДТУ. – Т. 11. № 2. – 2006. – С. 67-75.

References

1. Pohorelyi L.V. Sveklouborochnye mashyny: ystoriya, konstruktsiya, teoriya, prohnnoz / L.V. Pohorelyi, M.V. Tatianko – K. : Fenyks, 2004. – 232 s.
2. Pohorilyi M.L. Tekhnolohichni i tekhnichni aspekty vdoskonalennia buriakozbyralnoi tekhniki / M.L. Pohorilyi // Tekhnika APK. – 2000. - № 1. – S. 14-18.
3. Pat. 28465 Ukraina, MKY5 A 01 D 33/08. Ochysna systema vorokhu koreneplodiv / V.M. Baranovskyi, M.R. Pankiv, N.A. Dubchak, O.F. Oliinyk; zaiavnyk i vlasnyk Ternopilskyi derzhavnyi tekhnichnyi universytet imeni Ivana Puliuiia. – № u 2007 08888; zaiavl. 01.12.2007; opubl. 10.12.2007, Biul. № 20.
4. Baranovskyi V.M. Ochysna systema vorokhu koreneplodiv / V.M. Baranovskyi, M.R. Pankiv, N.A. Dubchak // Visnyk KhNTUSH “Mekhanizatsiia s.-h. vyrobnytstva”. – T. 1. – Vyp. 59. – Kharkiv, 2007. – S. 33-36
5. DSTU 2258-93. Mashyny buriakozbyralni. – Kyiv.: Derzhstandart Ukrainy, 1993. – 18 s.
6. Baranovskyi V.M. Osnovni etapy ta suchasni tendentsii rozvytku korenezbyralnykh mashyn / V.M. Baranovskyi // Visnyk TDTU. – T. 11. № 2. – 2006. – S. 67-75.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОРНЕПЛОДЫ С ШНЕКОВЫХ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Анотація: на основі аналізу движіння кормової свеклы робочими поверхностями подаючого транспортера і встановленого над ним шнека приведені теоретичні дослідження технологічного процесу функціонування комбінованої очисної системи. Отримані аналітичні моделі процесу косої соударення кормової свеклы з витком шнека, характеризують залежність зміни суммарної швидкості соударення, коефіцієнта технологічного взаємодія коренеплоду і глибини пошкодження тіла коренеплоду від основних параметрів комбінованої очисної системи. Визначені раціональні межі основних конструктивно-кінематичних параметрів комбінованої очисної системи з умови забезпечення мінімізації пошкодження кормової свеклы.

Ключові слова: комбінована очисна система, коренеплоди, подаючий транспортер, шнек, суммарна швидкість соударення, коефіцієнт технологічного взаємодія, частота обертання шнека, діаметр шнека, пошкодження кормової свеклы.

MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS TECHNOLOGICAL INTERACTION OF KORNEPLODES WITH THE ANGLE SURFACE

Summary: we have conducted the theoretical and experimental studies of the combined cleaning system functioning process by analyzing the motion of fodder beet through the working surfaces of feeding conveyor and auger installed above it. We have got analytical process model of fodder beet oblique sub-hit on the auger turn that characterize the dependence of the total rate of sub-hit coefficient of technological interaction of roots and depth of root damage on the main parameters of the combined cleaning system. We found out the rational limits of basic structural and kinematic parameters of the combined cleaning system by provided minimum of fodder beet damage.

Keywords: combined cleaning system, root crops, feeding conveyor, auger, sub-hit total rate, the rate of technological interaction, speed of auger rotation, diameter of auger, damage of fodder beet.