

DOI 10.26886/2414-634X.9(36)2019.3

UDC 631.361

**MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF INTERACTION OF
CLEANING ELEMENTS WITH THE BIGGEST SOIL ON ROOTS**

M. Pankiv, PhD of Technical Sciences

Ternopil Ivan Puluuj National Technical University, Ukraine, Ternopil

The development of improved working bodies of combined treatment systems of heap of root crops will significantly improve the quality of their harvesting. Therefore, improving the technological efficiency of root harvesting machines by developing and substantiating the technological processes of the combined treatment systems is an urgent problem. The purpose of the study is to expand the functional and technological capabilities and to improve the quality of operation of root harvesting machines by optimizing the parameters of the working bodies of combined treatment systems. The analysis of the process of interaction of the cleaning elements with the stuck soil on the root crops was carried out on the basis of the study of possible deformations of the cleaning elements.

Key words: combined cleaning system, auger system, cleaning shaft, elastic rod, deflection of the rod, displacement of the rad.

кандидат технічних наук, М. Паньків, Математична модель процесу взаємодії очисних елементів з налиплим ґрунтом на коренеплодах / Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна, Тернопіль

Розробка удосконалених робочих органів комбінованих очисних систем вороху коренеплодів дозволить значно підвищити показники якості їх збирання. Тому підвищення технологічної ефективності коренезбиральних машин шляхом розробки та обґрунтування технологічних процесів роботи комбінованих очисних систем є

актуальною проблемою. Метою дослідження є розширення функціонально-технологічних можливостей і підвищення показників якості роботи коренезбиральних машин шляхом оптимізації параметрів робочих органів комбінованих очисних систем. Аналіз процесу взаємодії очисних елементів з налиплим ґрунтом на коренеплодах проведено на основі дослідження можливих деформацій очисних елементів.

Ключові слова: комбінована очисна система, система шнеків, очисний вал, пружний стрижень, прогин стрижня, переміщення стрижня.

Постановка проблеми. Велика кількість створених конструкцій робочих органів, вузлів та компонувальних схем очисників вороху коренеплодів потребує диференційованого підходу при виборі, розрахунку, проектуванні, дослідженні та впровадженні нових розробок у виробництво. Тому класифікований підхід з урахуванням особливостей робочих органів, схем компонування і способів їх функціонування, забезпечить можливість проведення ідентифікації необхідної конструктивно-технологічної схеми комбінованої очисної системи для конкретних умов експлуатації [1, с. 71-72].

Різноманітність конструктивних схем очисних робочих органів коренезбиральних машин в прямій залежності пов'язана, як із технологічними процесами збирання, так і з конструктивно-технологічними вимогами до якості викопування та очищення коренеплодів [2, с. 77-78, 3, с. 117-119].

Особливе значення для удосконалення конструктивно-технологічних схем збиральних машин і окремих робочих органів необхідно надавати питанням загального інженерно-технічного рівня конструювання машин для збирання коренеплодів: удосконалення

конструктивно-компонувальних і конструктивно-технологічних схем, робочих органів і інших конструктивних елементів коренезбиральних машин на основі більш глибокого аналізу принципів врахування агрофізичних і фізико-механічних властивостей коренеплодів, механіко-технологічних принципів взаємодії технологічних систем “грунт-робочий орган-коренеплід”, які в значній мірі визначають

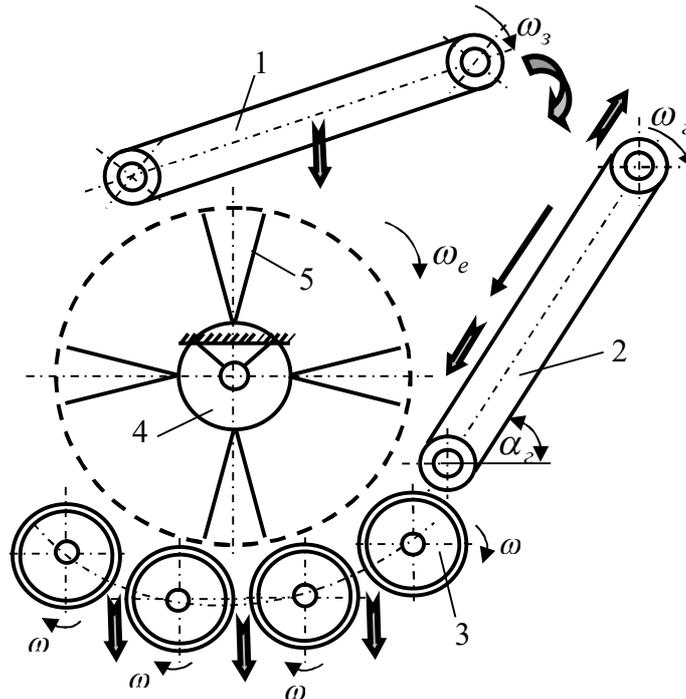


Рис. 1. Схема комбінованої очисної системи: 1 –

завантажувальний скребковий транспортер; 2 – пальчикова гірка;

3 – система шнеків; 4 – очисний вал; 5 – очисні пружні елементи

відповідність робочих органів до максимально-допустимих динамічних дій на об'єкт дослідження [4, с. 17-18, 23-26].

Для реалізації процесу інтенсивності відокремлення ґрунтових і рослинних домішок від коренеплодів було розроблено конструктивно-компонувальну схему комбінованої очисної системи, рис.1.

Ворох коренеплодів по завантажувальному транспортері 1 (рис. 1) надходить до очисної гірки 2, де частина вільних ґрунтових і рослинних домішок виноситься за межі очисної системи. Решта вороху коренеплодів, або невідокремлені домішки та коренеплоди з налиплим ґрунтом на поверхні тіла коренеплоду скочуються вниз по гірці до

системи шнеків 3, де вільні домішки просіюються через зазори між шнеками, а коренеплоди переміщуються витками шнека на подальші робочі органи коренезбиральної машини. При цьому відбувається взаємодія пружних очисних елементів 5 очисного вала 4 з налиплим ґрунтом на поверхні тіла коренеплоду. За рахунок обертання пружних елементів відбувається відокремлення налиплого ґрунту.

Формулювання мети статті та задач. Мета дослідження – розробка математичної моделі, яка функціонально описує процес взаємодії пружних очисних елементів з поверхнею тіла коренеплоду, або з налиплим ґрунтом.

Аналіз отриманої моделі дозволяє обґрунтовувати конструктивно-кінематичні параметр робочих органів комбінованого очисника на основі аналізу можливих деформацій очисних елементів або переміщення вільного кінця очисного елемента, яке виникає під час його взаємодії з налиплим ґрунтом.

Аналіз відомих досліджень, які наведено у працях [5, с. 211-213; 6, с. 34-35; 7, с. 20-22; 8, с. 21-24] показав, що в них розкрито основні загальні аспекти розробки та функціонування очисних систем вороху коренеплодів і основні принципи відокремлення домішок від коренеплодів. Теоретичні аспекти, які характеризують процес взаємодії очисних елементів з налиплим ґрунтом розкрито недостатньо.

Викладення основного матеріалу статті. Моделювання процесу взаємодії очисних елементів з налиплим ґрунтом проведено на основі дослідження можливих деформацій очисних елементів, які виникають у результаті дії на них сили тиску шарів коренеплодів з налиплим ґрунтом, які скочуються з робочої гілки очисної гірки.

Для аналізу процесу взаємодії пружних елементів з налиплим ґрунтом розглянемо схему рис. 2. Для цього кожний пружний очисний елемент 5 (рис. 1), який закріплено радіально на барабані приводного

вала 4 очисної системи розглянуто у вигляді одиничного тонкого пружного стрижня 3 (рис. 2), який знаходиться під дією сумарної сили $\sum P_k$, що виникає у результаті тиску коренеплодів 1, які скочуються з гірки шарами один за одним.

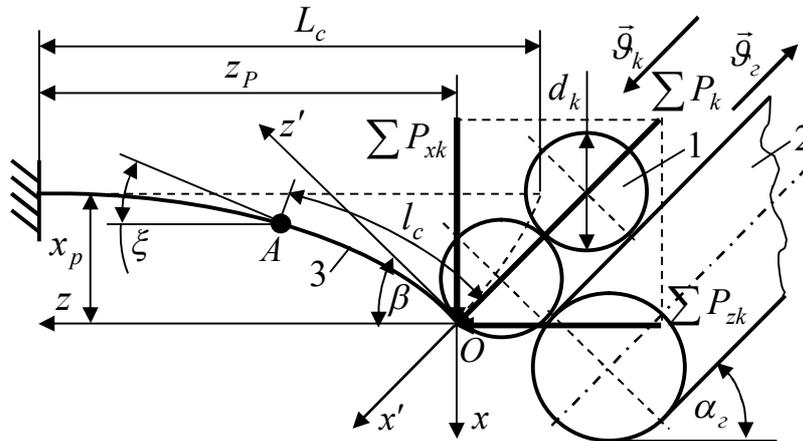


Рис. 2. Схема взаємодії пружного очисного елемента з налиплим ґрунтом на поверхні тіла коренеплоду: 1 – коренеплід з налиплим ґрунтом; 2 – очисна гірка; 3 – пружний очисний елемент

Розглянемо окремих стрижень, який жорстко закріплений одним кінцем на зовнішній поверхні барабана приводного вала, при цьому диференціальне рівняння пружної лінії стрижня записано у вигляді

$$-x \sum P_k = EJ \frac{d\xi}{dl}, \text{ або } x = -\frac{EJ}{\sum P_k} \frac{d\xi}{dl}, \quad (1)$$

де $\frac{d\xi}{dl}$ – миттєве значення кривини осьової лінії зігнутого стрижня у точці A, рад/м; ξ – кут між дотичною до пружної лінії стрижня і віссю Oz, рад; l_c – криволінійна абсциса миттєвої точки A, довжина якої рівна лінії від точки A до вільного кінця стрижня, м; при цьому $dx/dl_c = \sin \xi$.

Тоді маємо

$$-\sum P_k \sin \xi = \frac{EJ}{\sum P_k} \frac{d^2 \xi}{dl_c^2}. \quad (2)$$

Враховуючи, що на вільному кінці стрижня кут $\xi = \beta$, а також те, що кривина $d\xi/dl_c = 0$, помножимо праву та ліву частину (2) на $2d\xi/dl_c$. Після інтегрування отриманого виразу маємо

$$\sum P_k (\cos \xi - \cos \beta) = \frac{EJ}{\sum P_k} \left(\frac{d\xi}{dl_c} \right)^2. \quad (3)$$

Для визначення довжини дуги зігнутого пружного стрижня виконаємо інтегрування виразу (3) методом розділення перемінних, позначивши вираз $\sum P_k / EJ = \Theta$. Тоді отримаємо

$$l = \frac{1}{2\Theta} \int_0^\beta \frac{d\xi}{\sqrt{\sin^2(0,5\beta) - \sin^2(0,5\xi)}}. \quad (4)$$

Позначимо $\sin(0,5\beta) = q$ та введемо відносно кута ξ нову перемінну ψ , яка пов'язана з ξ рівнянням $\sin(0,5\xi) = q \sin \psi = \sin(0,5\beta) \sin \psi$, при цьому маємо

$$L_c = \frac{1}{\Theta} \int_0^{\pi/2} \frac{d\psi}{\sqrt{1 - q^2 \sin^2 \psi}} = \frac{1}{\Theta} \Phi(q^2), \quad (5)$$

де $\Phi(q^2)$ – повний еліптичний інтеграл Лежандра першого роду, записаний у нормальній формі.

Визначення переміщення вільного кінця та розрахунку прогину пружного стрижня, відповідно, у горизонтальному Ox та у вертикальному Oz напрямку проведемо таким чином:

- у першому випадку рішимо рівняння (4) відносно x_p , яке визначається відношенням $dx_p = \sin \xi dl_c$, при цьому $1/\Theta$ визначається з рівняння (5):

$$x_p = 2q/\Theta; \quad 1/\Theta = l/\Theta(q^2); \quad (6)$$

- у другому випадку $dz_p/dl_c = const$ та застосовуючи рівняння (2) виразимо dz_p через dl_c

$$dz_p = -\cos \xi dl_c = \sqrt{2} \cos \xi d(\xi/\Theta) \sqrt{\cos \xi - \cos \beta}. \quad (7)$$

Виконавши інтегрування (7), отримаємо

$$z_P = -L_c, \quad (8)$$

де $C = L_c$ – постійна інтегрування, при цьому C визначається із граничних умов на кінці пружного стрижня: $z_P|_{\beta=0} = C$.

Тоді вираз (8) набуде вигляду

$$z_P = L_c - \int_0^{\beta} \cos \xi dl_c = L_c - \frac{1}{\Theta} \int_0^{\beta} \frac{\cos \xi dl_c}{\sqrt{2} \sqrt{\cos \xi - \cos \beta}}. \quad (9)$$

Виразивши праву частину (9) через еліптичні інтеграли Лежандра у нормальній формі та враховуючи, що $\cos \beta = 1 - 2 \sin(0,5\beta)$ маємо

$$z_P = L_c - \frac{1}{\Theta} \int_0^{z_P} \frac{\cos \xi dl_c}{\sqrt{\sin^2(0,5\beta) - \sin^2(0,5\xi)}}. \quad (10)$$

Введемо нову перемінну інтегрування t_k , яка пов'язана з відповідною зміною кута ξ за прийнятих умов $\sin(0,5\beta) = q$ і $\sin(0,5\xi) = \sin(0,5\beta) \sin t_k$.

Тоді підінтегральний вираз (10) приймає вигляд

$$\left[(1 - 2q^2 \sin^2 \beta) / \sqrt{1 - 2q^2 \sin^2 t_k} \right] dt_k, \quad (11)$$

або після перетворення

$$\frac{\cos \xi \cdot d\xi}{\sqrt{\sin^2(0,5\beta) - \sin^2(0,5\xi)}} = 2 \left(2\sqrt{1 - q^2 \sin^2 t_k} - \frac{1}{\sqrt{1 - q^2 \sin^2 t_k}} \right) dt_k. \quad (12)$$

Тому

$$z_P = L_c - \frac{2}{\Theta} \int_{t_k(0)}^{t_k(\beta)} \sqrt{1 - q^2 \sin^2 t_k} dt_k + \int_{t_k(0)}^{t_k(\beta)} \frac{1}{\sqrt{1 - q^2 \sin^2 t_k}} dt_k. \quad (13)$$

Перший інтеграл (13) $\frac{2}{\Theta} \int_{t_k(0)}^{t_k(\beta)} \sqrt{1 - q^2 \sin^2 t_k} dt_k$ є неповним еліптичним інтегралом другого роду, який записано у нормальній формі Лежандра.

Другий інтеграл (13) $\int_{t_k(0)}^{t_k(\beta)} \frac{1}{\sqrt{1 - q^2 \sin^2 t_k}} dt_k$ є неповним еліптичним

інтегралом першого роду, який також записано у нормальній формі Лежандра.

Для подальшого рішення інтегрального виразу (13) визначимо межі інтегрування відносно t_k : із відношення $\sin t_k = \sin(0,5\xi)/\sin(0,5\beta)$ маємо, що за $\xi = 0$, $\sin t_k = 0$, або $t_k = 0$; за $\xi = \beta$, $\sin t_k = 1$.

Таким чином маємо, що $t_k = \arcsin[\sin(0,5\xi)/\sin(0,5\beta)] = \pi/2$.

Тоді вираз для визначення z_p буде

$$z_p = L_c - \frac{2}{\Theta} \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - q^2 \sin^2 t_k} dt_k + \int_0^{\pi/2} \frac{1}{\sqrt{1 - q^2 \sin^2 t_k}} dt_k. \quad (14)$$

Рішення інтегрального виразу (14) матиме вигляд

$$z_p = L_c - \frac{1}{\Theta} [2E(q^2) - \Phi(q^2)]. \quad (15)$$

Підставивши значення $1/\Theta$ із залежності (5) в залежність (14) визначимо переміщення вільного кінця пружного стрижня у вертикальному Oz напрямку

$$z_p = 2L_c \left[1 - \frac{E(q^2)}{\Phi(q^2)} \right]. \quad (16)$$

Висновки. Отримана аналітична залежність дозволяє розраховувати деформацію пружних очисних елементів залежно від сили тиску коренеплодів з налиплим ґрунтом, що є підґрунтям для подальшого обґрунтування розмірних конструктивних параметрів очисних елементів і кінематичних параметрів приводного вала комбінованої очисної системи вороху коренеплодів.

Література:

1. Барановський, В. М. (2006). *Основні етапи та загальні принципи сучасних тенденції розвитку коренезбиральних машин*. Вісник ТНТУ, 11 (2), 67-75.
2. Барановський, В. М., Дубчак, Н. А., Паньків, М. Р. (2007). *Аналіз*

процесу роботи доочисних пристроїв коренезбиральних машин. Вісник ТДТУ, 12 (1), 76-81.

3. Барановський, В. М. (2008). *Результати теоретично-експериментальних досліджень секундної подачі вороху коренеплодів. Механізація сільськогосподарського виробництва, 1, 111-120.*

4. Погорелый, Л. В., Татьяна, М. В. (2004). *Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз. К: Феникс, 232.*

5. Барановський, В. М., Соломка, В. О., Онищенко, В. Б. (2001). *Вибір параметрів при конструюванні гвинтового конвеєра. Вісник ХДТУСГ, 8 (2), 209-215.*

6. Барановський, В. М., Паньків, М. Р., Дубчак, Н. А. (2007). *Очисна система вороху коренеплодів. Механізація сільськогосподарського виробництва, 1, 59, 33–36.*

7. Барановський, В. М. (2005). *Конструктивно-технологічні принципи адаптизації транспортно-очисного комбінованого робочого органа коренезбиральних машин. Сільськогосподарські машини, 13, 18–24.*

8. Барановський, В. М. (2013). *Транспортно-технологічні системи очисних робочих органів адаптованої коренезбиральної машини. Сільськогосподарські машини, 24, 18–29.*

References:

1. Baranovsky, V. M. (2006). *Osnovni etapy ta zahalni pryntsyipy suchasnykh tendentsii rozvytku korenezbyralnykh mashyn [The basic stages and general principles of the current trend of development of root machines]. Visnyk TNTU [Bulletin of TNTU], 11 (2), 67-75.*

2. Baranovsky, V. M., Dubchak, N. A., Pankiv, M. R. (2007). *Analiz protsesu roboty doochysnykh prystroiv korenezbyralnykh mashyn [Analysis of the process of operation of the cleaning devices of root harvesting machines]. Visnyk TDTU [Bulletin of TNTU], 12 (1), 76-81. [in Ukrainian].*

3. Baranovsky, V. M. (2008). *Rezultaty teoretyno-eksperymentalnykh*

doslidzhen sekundnoi podachi vorokhu koreneplodiv [The results of theoretical and experimental studies of the second feeding of a heap of roots]. Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva [Mechanization of agricultural production], 1, 111-120. [in Ukrainian].

4. Pogorely, L.V., Tatyanko M.V. (2004). *Sveklouborochnye mashiny: istorija, konstrukcija, teorija, prognoz [Beet harvesting machines: history, design, theory, forecast].* K: Fenik [K: Phoenix], 232. [in Russian].

5. Baranovsky, V. M., Solomka, V. O., Onyshchenko, V. B. (2001). *Vybir parametriv pry konstruiuvanni hvyntovoho konveiera [Choice of parameters when designing a screw conveyor].* Visnyk KhDTUSH [CDTUSG Herald], 8 (2), 209-215. [in Ukrainian].

6. Baranovsky, V. M., Pankiv, M. R., Dubchak, N. A. (2007). *Ochysna systema vorokhu koreneplodiv [Purification system of heap of root crops].* Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva [Mechanization of agricultural production], 1, 59, 33–36. [in Ukrainian].

7. Baranovsky, V. M. (2005). *Konstruktyvno-tekhnolohichni pryntsypy adaptyzatsii transportno-ochysnoho kombinovanoho robochoho orhana korenezbyralnykh mashyn. Silskohospodarski mashyny [Structural and technological principles of adaptation of the transport-cleaning combined working body of the root machines].* Silskohospodarski mashyny [Agricultural machinery], 13, 18–24. [in Ukrainian].

8. Baranovsky, V. M. (2013). *Transportno-tekhnolohichni systemy ochysnykh robochykh orhaniv adaptovanoi korenezbyralnoi mashyny [Transport-technological systems of cleaning working bodies of the adapted root harvesting machine].* Silskohospodarski mashyny [Agricultural machinery], 24, 18–29. [in Ukrainian].

Copyright: M. Pankiv ©. 2019. This is an openaccess article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.