



Механізація, електрифікація

УДК 631.356.4

© 2019

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОСІЮВАННЯ ҐРУНТУ КРІЗЬ ПОВЕРХНЮ ОЧИСНИКА КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ

В.М. Булгаков¹, І.В. Головач², З.В. Ружило³, О.М. Черниш⁴

¹доктор технічних наук, професор, академік НААН, ²доктор технічних наук, професор,
^{3,4}кандидати технічних наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²holovach.iv@gmail.com,

³ruzhylo@nubip.edu.ua, ⁴chernyshom@gmail.com

Надійшла 18.07.2019

Мета. Обґрунтування раціональних конструкційних і кінематичних параметрів спірального очисника нової конструкції, розробленого для підвищення якості очищення бульб картоплі. **Методи.** Використано методи теоретичної механіки, вищої математики і теорії сільськогосподарських машин. Проведено чисельні розрахунки за розробленою програмою у середовищі «Matlab». **Результати.** Очищення бульб картоплі від ґрунтових і рослинних домішок є актуальною проблемою у технологічному процесі виробництва картоплі. Нами розроблено новий спіральний очисник картопляного вороху, що має здатність активно самоочищуватися від налиплого ґрунту й ефективно захоплювати та видаляти грудки ґрунту різних розмірів і форм, а також рослинні домішки. Для обґрунтування раціональних конструкційних і кінематичних параметрів очисника проведено відповідні теоретичні дослідження. Отримано диференціальне рівняння зменшення маси грудки ґрунту в довільний момент часу з урахуванням конструкційних і кінематичних параметрів очисника. Розв'язування диференціального рівняння на ПК дало можливість визначити раціональні конструкційні та кінематичні параметри спірального очисника, що забезпечують підвищення якості очищення бульб. **Висновки.** Проведені на ПК розрахунки показали, що зі збільшенням кутової швидкості обертання спіралі зменшення маси грудки ґрунту зростає і при зміні кутової швидкості в діапазоні від 10 до 30 рад·с⁻¹ час просіювання скорочується від 0,07 с до 0,025 с, тобто втричі. Зміна амплітуди А осцилюючого руху кінця спіралі та кута γ підйому гвинтової лінії не призводить до істотного скорочення часу просіювання та істотно не впливає на остаточну масу грудки ґрунту на поверхні очисної спіралі.

Ключові слова: картопляний ворох, збирання, ґрунтові грудки, домішки, очисна спіраль, параметри, диференціальні рівняння, числові розрахунки.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk201908-08>

Важливою операцією у технологічному процесі збирання картоплі є очищення картопляного вороху від ґрунтових домішок і рослинних решток, а також очищення самих бульб від налиплого ґрунту. При цьому основні вимоги до виконання цих технологічних операцій — зменшення пошкодження бульб картоплі та їх втрат. Слід відзначити, що очищення бульб картоплі від ґрунтових домішок і рослинних решток до цього часу є складним технічним завданням.

Крім того, як свідчать численні дослідження, сучасні картоплезбиральні машини з різними за принципом дії очисними робочими органами (пруткові елеватори, коливальні грохоти, гірки, різні сепаратори барабанного і ротаційного типів) мають низку недоліків, пов'язаних із налипанням на очисні робочі органи ґрунту і рослинних решток, оскільки іноді на час збирання картоплі ґрунт має підвищену вологість і пластичність. Спостерігається також значне пошкодження бульб, а отже, збільшуються втрати урожаю.

Нами розроблено новий спіральний очисник картопляного вороху, що має здатність активно самоочищуватися від налиплого ґрунту, а також ефективно захоплювати та видаляти різних розмірів і форм грудки ґрунту і рослинні рештки. На цей очисник картопляного вороху було отримано патент України на винахід [1].

Мета досліджень — обґрунтування раціональних конструкційних і кінематичних параметрів спірального очисника нової конструкції, розробленого для підвищення якості очищення бульб картоплі.

Методи досліджень. Дослідження проведено з використанням методів теоретичної механіки, вищої математики та теорії сільськогосподарських машин. Проведено чисельні розрахунки за розробленою програмою у середовищі «Matlab».

Результати досліджень. Для проведення теоретичного дослідження руху і просіювання грудок ґрунту по робочій поверхні спірального очисника картопляного вороху, що утворена очисними спіралями, розроблено еквівалентну схему (рис. 1), на якій показано лише дві сусідні очисні спіралі (нам цього достатньо), хоча у запропонованій нами конструкції їх три (може бути і більше).

Показані (рис. 1) на еквівалентній схемі спіралі консольно встановлені своїми кінцями

в точках D і D_1 , осі яких є паралельними. Інші кінці розташовані вільно і можуть під час роботи сепаратора здійснювати коливальні рухи під дією змінного навантаження, що виникає у результаті поступання на ці спіралі картопляного вороху. При цьому спіралі обертаються навколо своїх осей із однаковими кутовими швидкостями ω в одному напрямку, який на схемі показано стрілками. Очисні спіралі виконані у вигляді циліндрів радіусом R , їх витки спрямовані в один бік (на схемі також показано стрілками) і мають крок гвинтової лінії S . Кут підйому гвинтової лінії дорівнює γ . Ці спіралі встановлено з деяким взаємним перекриттям.

Розглянемо найбільш імовірний випадок, коли грудка ґрунту (на схемі позначена через M) довільної форми потрапляє у западину між двома сусідніми витками спіралі та контактує з ними у точках K_1 і K_2 (рис. 1). При цьому грудку ґрунту вважатимемо тілом змінної маси і для опису її руху застосуємо положення динаміки руху тіла змінної маси [2–6]. Для складання диференціальних рівнянь руху грудки ґрунту як тіла змінної маси виберемо абсолютну просторову декартову систему координат $xOyz$, як показано на рис. 1. Крім координат x , y і z в абсолютній системі координат $xOyz$, що визначають положення грудки M на витках спіралі, введемо додаткові параметри, а саме, кути α_0 і α , які визначають положення тіла M в поперечному перерізі самої спіралі. При цьому α_0 — кут, який показує початкове положення точок K_1 і K_2 контакту грудки M із сусідніми витками спіралі. Слід додати, що точки K_1 і K_2 знаходяться

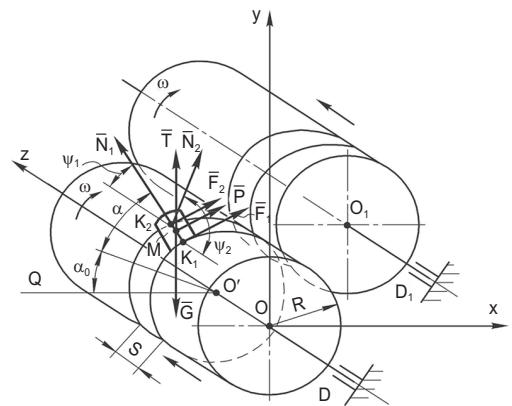


Рис. 1. Еквівалентна схема просіювання ґрунту, що знаходиться на поверхні очисника картопляного вороху

відповідно в поперечних перерізах спіралі, розташованих один від одного на відстані кроку S гвинтової лінії. Кут $\alpha_0 + \alpha$ показує положення точок контакту K_1 і K_2 у довільний момент часу t у цих поперечних перерізах відповідно. Відлік кутів α_0 і α здійснюємо у бік напрямку обертання спіралі (за напрямом руху годинникової стрілки). Очевидно, що при $t=0$, $\alpha=0$.

Приймаємо також, що поточна маса тіла M є функцією від часу t , тобто $m=m(t)$, а її початкове значення дорівнюватиме m_0 . На еквівалентній схемі (рис. 1) показано напрями і точки прикладання усіх сил, які діють на тіло M змінної маси при його русі по витках спіралі: \bar{G} — сила ваги тіла M змінної маси; \bar{N}_1 , \bar{N}_2 — нормальні реакції сусідніх витків спіралі в точках K_1 і K_2 відповідно; \bar{F}_1 , \bar{F}_2 — сили тертя у точках K_1 і K_2 ; \bar{T} — сила від прискорення осцилюючого руху спіралі, яка виникає за рахунок прогину поздовжньої осі спіралі, що утворюється під дією ваги картопляного вороху.

На підставі розглянутої схеми сил та застосування теореми про зміну кількості руху матеріальної точки в диференціальній формі отримана система диференціальних рівнянь руху тіла M змінної маси (грудки ґрунту) по робочій спіралі очисника картопляного вороху набуває такого вигляду:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= -N_1 \cdot \sin \psi_1 \cdot \cos(\alpha_0 + \omega t) - N_2 \cdot \sin \psi_2 \times \\ &\times \cos(\alpha_0 + \omega t) + fN_1 \cos \gamma \cdot \sin(\alpha_0 + \omega t) + \\ &+ fN_2 \cos \gamma \cdot \sin(\alpha_0 + \omega t) - m \cdot \omega^2 \cdot A \times \\ &\times \sin(\alpha_0 + \omega t) \cdot \cos(\alpha_0 + \omega t) - \dot{x} \frac{dm}{dt}, \\ m\ddot{y} &= N_1 \cdot \sin \psi_1 \cdot \sin(\alpha_0 + \omega t) + N_2 \cdot \sin \psi_2 \times \\ &\times \sin(\alpha_0 + \omega t) + fN_1 \cos \gamma \cdot \cos(\alpha_0 + \omega t) + \\ &+ fN_2 \cos \gamma \cdot \cos(\alpha_0 + \omega t) + \\ &+ m \cdot \omega^2 \cdot A \cdot \sin^2(\alpha_0 + \omega t) - \dot{y} \frac{dm}{dt} - mg, \\ m\ddot{z} &= N_1 \cos \psi_1 - N_2 \cos \psi_2 - \\ &- fN_1 \sin \gamma - fN_2 \sin \gamma - \dot{z} \frac{dm}{dt}. \end{aligned} \right\} (1)$$

У отриманій системі рівнянь:

$\omega t = \alpha$ — кут повороту спіралі в довільний момент часу t ; $\dot{x} \frac{dm}{dt}$, $\dot{y} \frac{dm}{dt}$, $\dot{z} \frac{dm}{dt}$ — проекції реактивної сили \bar{P} , яка виникає внаслідок зменшення маси тіла M на осі координат

Ox , Oy і Oz відповідно. Цю силу показано на еквівалентній схемі (рис. 1); A — амплітуда коливань прогнutoї осі спіралі; ψ_1 , ψ_2 — кути нахилу нормальних реакцій \bar{N}_1 і \bar{N}_2 до осі Oz відповідно; f — коефіцієнт тертя ковзання тіла M по поверхні спіралі.

Далі із системи рівнянь (1) визначаємо швидкість зменшення маси m грудки ґрунту M у поточний момент часу t , тобто величину $\frac{dm}{dt}$, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$.

Враховуючи те, що переміщення грудок ґрунту m здійснюється за допомогою витка спіралі, рівняння якої у параметричній формі має вигляд [7], а саме:

$$\left. \begin{aligned} x &= R \cdot \cos(\alpha_0 + \omega t), \\ y &= R \cdot \sin(\alpha_0 + \omega t), \\ z &= \frac{S}{2\pi} \cdot (\alpha_0 + \omega t), \end{aligned} \right\} (2)$$

остаточно диференціальне рівняння зміни маси з урахуванням зазначеного матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{dm}{dt} &= \frac{2\pi(N_1 \cos \psi_1 - N_2 \cos \psi_2)}{S\omega} + \frac{\pi R \tan \gamma}{S} \times \\ &\times \left\{ m\omega \left[\frac{1}{\tan(\alpha_0 + \omega t)} + \tan(\alpha_0 + \omega t) \right] + \right. \\ &+ \frac{m\omega A}{R} \left[\frac{\sin^2(\alpha_0 + \omega t)}{\cos(\alpha_0 + \omega t)} - \cos(\alpha_0 + \omega t) \right] - \\ &- \frac{mg}{\omega R \cos(\alpha_0 + \omega t)} + (N_1 \sin \psi_1 + N_2 \sin \psi_2) \times \\ &\times \left. \frac{1}{\omega R} \left[\tan(\alpha_0 + \omega t) - \frac{1}{\tan(\alpha_0 + \omega t)} \right] \right\}. \end{aligned} (3)$$

Отримане диференціальне рівняння (3) є рівнянням, що відображає зменшення маси грудки ґрунту M з плином часу t , яке відбувається під дією прикладених зовнішніх сил, показаних на еквівалентній схемі (рис. 1), з урахуванням конструктивних і кінематичних параметрів нового спірального очисника картопляного вороху.

Для виконання числового розрахунку на ПК отриманого диференціального рівняння (3) слід задати початкові умови: при $t=0$: $m=m_0$, $\alpha_0 = \frac{\pi}{4}$.

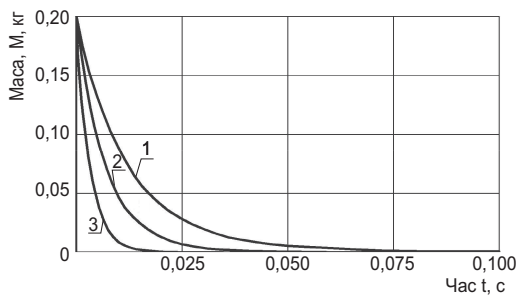


Рис. 2. Залежності просіяної маси грудок ґрунту як функція часу при: 1) $\omega = 10$ рад·с⁻¹; 2) $\omega = 20$ рад·с⁻¹; 3) $\omega = 30$ рад·с⁻¹

Основні параметри спірального очисника картопляного вороху для числового розрахунку будуть такими: $m_0 = 0,2$ кг; $R = 0,15$ м; $S = 0,035$ м; $\gamma = 20^\circ$; $\omega = 10, 20, 30$ рад·с⁻¹; $A = 0,005$ м [8–10].

За розробленою нами програмою в середовищі «Matlab» у результаті числового розв'язку диференціального рівняння (3) отримано графічні залежності (графіки функцій $m=m(t)$), представлені на рис. 2.

Висновки

Розроблено математичну модель процесу просіювання грудок ґрунту, що потрапляють на спіральний сепаратор разом із ворохом викопаних із ґрунту бульб картоплі, для випадку, коли грудка (частинка) ґрунту контактує з витками спіралі сепаратора в двох точках.

Отримано нове диференціальне рівняння, що дає можливість описувати процес зменшення маси грудок ґрунту, котрі поступають на спіральну поверхню сепаратора як функцію часу при їх переміщенні спіраллю.

Проведені на ПК чисельні розрахунки

Як видно з представлених графічних залежностей, збільшення кутової швидкості ω обертання очисних спіралей істотно впливає на втрату маси грудок ґрунту, що на них знаходяться. Так, збільшення кутової швидкості ω з 10 рад·с⁻¹ до 30 рад·с⁻¹ скорочує час t просіювання грудок ґрунту майже втричі. Але подальше збільшення цього кінематичного параметра обмежується, якщо бульби картоплі, які очищуються спіральним очисником, не пошкоджуються.

Нами також проведено числові розрахунки на ПК згідно з програмою вказаного диференціального рівняння (3) при зміні інших конструктивних параметрів очисника картопляного вороху розробленої конструкції. Але ці розрахунки показали, що при їх змінах, наприклад кута γ підйому гвинтової лінії спіралі, а також амплітуди A осцилюючого руху кінця спіралі не відбувається істотного скорочення часу t просіювання маси грудок ґрунту, які потрапляють на поверхню спірального очисника картопляного вороху.

з використанням програми «Matlab» показали, що зі збільшенням кутової швидкості обертання спіралі зменшення маси грудки ґрунту значно зростає і при зміні кутової швидкості в діапазоні від 10 до 30 рад·с⁻¹ час просіювання грудок ґрунту скорочується від 0,07 с до 0,025 с, тобто втричі.

Зміна амплітуди A осцилюючого руху кінця спіралі та кута γ підйому гвинтової лінії не призводить до істотного скорочення часу просіювання та суттєво не впливає на остаточну масу грудки ґрунту, що знаходиться на поверхні очисної спіралі.

Булгаков В.М.¹, Головач І.В.², Ружи́ло З.В.³, Черниш О.Н.⁴

Національний університет біоресурсів і природопольовання України, ул. Героїв Оборони, 15, г. Київ, 03041, Україна; e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²holovach.iv@gmail.com, ³ruzhylo@nubip.edu.ua, ⁴chernyshom@gmail.com

Аналитическое исследование процесса просеивания почвы сквозь поверхность очистителя картофельного вороха

Цель. Обоснование рациональных конструктивных и кинематических параметров спирального

очистителя новой конструкции, разработанного для повышения качества очистки клубней картофеля. **Методы.** Использованы методы теоретической механики, высшей математики и теории сельскохозяйственных машин. Проведены числовые расчеты по разработанной программе в системе «Matlab». **Результаты.** Очистка клубней картофеля от почвенных и растительных примесей является актуальной проблемой в технологическом процессе производства картофеля. Нами разработан новый спиральный очиститель картофельного вороха, способный активно самоочищаться от налипшей почвы

и эффективно захватывать и удалять комки почвы различных размеров и форм, а также растительные примеси. Для обоснования рациональных конструктивных и кинематических параметров очистителя проведены соответствующие теоретические исследования. Получено дифференциальное уравнение уменьшения массы комка почвы в произвольный момент времени с учетом конструктивных и кинематических параметров очистителя. Решение дифференциального уравнения на ПК дало возможность определить рациональные конструктивные и кинематические параметры спирального очистителя, обеспечивающие повышение качества очистки клубней. **Выводы.** Проведенные на ПК расчеты показали, что с увеличением угловой скорости вращения спирали уменьшение массы комка почвы возрастает и при изменении угловой скорости в диапазоне от 10 до 30 рад·с⁻¹ время просеивания сокращается от 0,07 с до 0,025 с, то есть в три раза. Изменение амплитуды A осциллирующего движения конца спирали и угла γ подъема винтовой линии не приводит к значительному сокращению времени просеивания и существенно не влияет на окончательную массу комка почвы на поверхности очистительной спирали.

Ключевые слова: картофельный ворох, уборка, очистительная спираль, примеси, комки почвы, параметры, дифференциальные уравнения, числовые расчеты.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201908-08>

Bulgakov V.¹, Golovach I.², Ruzhylo Z.³, Chernysh O.⁴

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Str., Heroiv Oborony, 15, Kyiv, 03041, Ukraine; e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²holovach.iv@gmail.com, ³ruzhylo@nubip.edu.ua, ⁴chernyshom@gmail.com

Analytical study of the soil sieving process

through the surface of the potato heap cleaner

The purpose. Justification of rational structural and kinematic parameters of the spiral cleaner of new construction, developed to improve the quality of potato tubers cleaning. **Methods.** Used methods of theoretical mechanics, higher mathematics and the theory of agricultural machinery. Conducted numerical calculations for the developed program in the system «Matlab». **Results.** Cleaning potato tubers from soil and plant impurities is an urgent problem in the technological process of potato production. We have developed a new spiral potato peeler, which is able to actively clean itself from sticky soil and effectively capture and remove lumps of soil of various sizes and shapes, as well as plant impurities. For substantiation of rational constructive and kinematic parameters of the cleaner the corresponding theoretical researches are carried out. The differential equation of reduction of soil lump mass at any moment of time taking into account structural and kinematic parameters of the cleaner is obtained. The solution of the differential equation on the PC has allowed to define the rational constructive and kinematic parameters of the spiral cleaner, providing improvement of quality of tuber cleaning. **Conclusions.** Calculations carried out on the PC showed that with the increase in the angular velocity of rotation of the spiral, the decrease of the soil lump mass increases also at the change of the angular velocity in the range from 10 to 30 rad·s⁻¹ the sieving time is shortened by 0.07 s to 0.025 s, which means in three times. Changing the amplitude A of the oscillating motion of the helix end and angle γ lifting of the screw line does not lead to a significant reduction in sieving time and does not significantly affect the final mass of the lump of soil on the surface of the cleaning spiral.

Key words: potato heap, harvesting, soil lumps, impurities, cleaning spiral, parameters, differential equations, numerical calculations.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201908-08>

Бібліографія

1. Булгаков В.М., Зиков П.Ю. та ін. Очистник вороху коренебурбоплодів від домішок: пат. України № 43907, А 01 D 33/08. Опубл. 15.01.2002 р. Бюл. № 1.

2. Bulgakov V., Pascuzzi S., Nikolaenko S., Santoro F., Sotirios Anifantis A., Olt J. Theoretical study on sieving of potato heap elements in spiral separator. *Agronomy Research*. 2019. V. 17, № 1. P. 33–48.

3. Bulgakov V., Smolinskiy S., Frančák J., Jech J. Optimalizovanie konstrukcie rozdrúzovaca zemiakov. GRONECH NITRA 2001. Pol'nohospodarska technika na začiatku 21 storočia: Zborník z medzinarodnej vedeckej konferencie. Slovenska pol'nohospodarska univerzita v Nitre. Nitra, Slovenska republika, 2001. P. 73–79. doi.org/10.15584/eti.2017.3.13

4. Adamchuk V., Bulgakov V., Nikolaenko S., Ruzhylo Z., Olt J. Theory of retaining potato bodies during operation of spiral separator. *Agronomy Research*. 2018. V. 16. № 1. P. 41–51.

5. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику. Киев: Сельхозобразование, 1996. 234 с.

6. Фаворин М.В. Моменты инерции тел: справочник. Москва: Машиностроение, 1997. 511 с.

7. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины. Москва: Машиностроение, 2004. 320 с.

8. Zaltzman A. & Schmilovitch Z. Evolution of the potato fluidized bed medium separator. Summer meeting American Society of Agricultural Engineers, Engineering the Future Harnessing Nature Through Technology. 1985. 27 p. doi.org/10.13031/2013.30338

9. Dreizler C.S. Theoretical Mechanics. Springer. 2010. 402 p.

10. Feller R., Margolin E., Hetzroni A. & Galili N. Impingement angle and product interference effects on clod separation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 1987. № 30 (2). 357–360. doi.org/10.13031/2013.31953