

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

УДК: 631.356.26

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ
ПРОДУКТИВНОСТІ ЗАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ТРАНСПОРТЕРА
ТРАНСПОРТНО-ОЧИСНОЇ СИСТЕМИ***Барановський Віктор Миколайович* д.т.н., професор*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**Потапенко Микола Валентинович* здобувач, ст. викладач*Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування
України «Бережанський агротехнічний університет»**Baranovsky V.**Ternopol Ivan Pul'uj National Technical University**Potapenko M.**Berezhany Agrotechnical Institute*

Анотація: ефективність збирання коренеплодів цикорію у значній мірі залежить від конструктивно-компонувальних особливостей та технологічної здатності процесу очищення вороху коренеплодів від домішок. Підвищення показників якості та продуктивності роботи транспортно-очисних систем коренезбиральних машин, є важливим науковим завданням подальшого розвитку агропромислового виробництва України. На основі аналітичного аналізу технологічного процесу роботи транспортно-очисної системи розроблено математичну модель, яка характеризує функціональну зміну продуктивності роботи завантажувального транспортера залежно від його конструктивно-кінематичних параметрів.

Ключові слова: ворох коренеплодів, завантажувальний транспортер, продуктивність, скребок, конструктивний геометричний коефіцієнт, кут нахилу, швидкість руху, коефіцієнт заповнення.

Постановка проблеми

Перспективний розвиток агропромислового виробництва повинен базуватися на принципово нових підходах до розробки та впровадження вискоелективних технологій збирання сільськогосподарських культур, що є передумовою подолання кризової ситуації аграрного сектору України.

У технологічному процесі виробництва коренеплодів цикорію кореневого, який є цінною сировинною культурою, однією з найбільш трудомістких операцій є механізоване збирання, на яке припадає близько 40 % усіх затрат праці [1]. Від показників якості виконання технологічного процесу збирання коренеплодів цикорію в значній мірі залежать техніко-експлуатаційні та економічні показники виробництва.

Існуючі коренезбиральні машини, незважаючи на те, що вони обладнані багато вузловими транспортно-технологічними системами робочих органів для очищення вороху коренеплодів від домішок не забезпечують необхідних техніко-експлуатаційних показників якості роботи, що знижує економічні показники виробництва продукції [2].

На основі ідентифікації технологічних процесів і робочих органів очисників нами запропоновано удосконалену конструктивно-компонувальну схему транспортно-очисної системи (ТОС) [3]. Даний напрямок, є актуальним у фундаментальному (розробка теоретичних основ оптимізації параметрів робочих органів) та практичному (впровадження в виробництво) аспектах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проведений аналіз вітчизняних і зарубіжних літературних джерел, присвячених дослідженню теоретичних аспектів функціонування ТОС [4-7] у цілому вказав на недостатність розроблених математичних моделей, які регламентують оптимізаційний аналіз і розрахунок технологічних процесів очищення вороху коренеплодів цикорію (ВКЦ) від домішок.

Вирішення важливої науково-технічної проблеми полягає у розробці аналітичних методів оптимізації технологічних, конструктивно-кінематичних параметрів і режимів роботи робочих органів ТОС з врахуванням реальних умов експлуатації, зокрема агрофізичних характеристик коренеплодів цикорію та ґрунтово-кліматичних умов збирання.



Мета роботи

Метою досліджень є підвищення технологічної ефективності роботи очисних систем шляхом обґрунтування параметрів і режимів роботи завантажувального транспортера ТОС. Дані дослідження є подальшим розвитком технологічних засад функціонування коренезбиральних машин.

Основні результати дослідження

Обґрунтування параметрів завантажувального транспортера проведено на основі забезпечення технологічності, або раціонального функціонування ТОС

$$Q_z k_z \geq Q_M k_c, \text{ або } Q_z \geq Q_M \frac{k_c}{k_z} \text{ за умови } k_z \geq k_c, \quad (1)$$

де Q_z , Q_M – продуктивність завантажувального транспортера та копача, кг/с; k_z – коефіцієнт сепарації вільних домішок завантажувального скребкового транспортера, кг/с; k_c – коефіцієнт сепарації домішок на шляху переміщення викопаного копачем ВКЦ до завантажувального транспортера.

Продуктивність завантажувального скребкового транспортера Q_z визначимо за відомою залежністю згідно з [8], яка характеризує продуктивність роботи машин безперервної дії

$$Q_z = F_v V_z \rho_v k_n \psi, \quad (2)$$

де F_v – площа поперечного перерізу вантажу, м²; V_z – швидкість руху вантажу, м/с; ρ_v – об’ємна маса вантажу, кг/м³; k_n – коефіцієнт нахилу транспортера до горизонту; ψ – коефіцієнт заповнення простору робочої гілки транспортера.

ВКЦ, який складається з ґрунтових і рослинних домішок та коренеплодів цикорію 1 (рис. 1) надходить до завантажувального транспортера 2, який встановлено під кутом ε до горизонту та переміщується прутками 3 і скребками 4 робочої гілки 5, яка рухається зі швидкістю $V_{z,m}$ до II-ї зони.

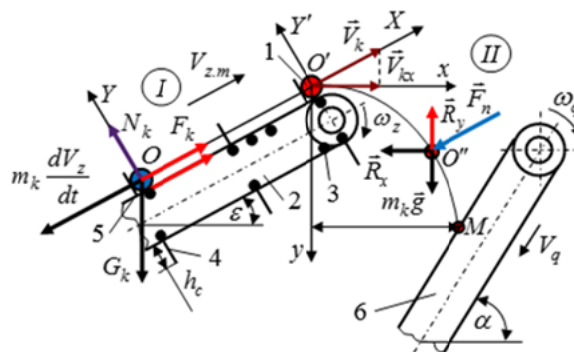


Рис. 1. Схема до розрахунку параметрів завантажувального транспортера: 1 – коренеплід; 2 – завантажувальний транспортер; 3 – пруток; 4 – скребок; 5 – робоча гілка; 6 – пальчикова гірка

Площа поперечного перерізу F_v ВКЦ, який розташовується на прутках транспортера в одиничному шарі залежить від ширини B_z робочої гілки транспортера та висоти h_k шару ВКЦ, а швидкість переміщення вантажу V_z , або ВКЦ – від теоретичної швидкості руху робочої гілки $V_{z,m}$ транспортера та коефіцієнта k_{V_z} [9], який враховує зниження швидкості V_z відносно $V_{z,m}$ за рахунок проковзування ВКЦ, запізнення руху матеріальних мас тощо

$$F_v = B_z h_v; \quad V_z = V_{z,m} k_{V_z} = 0,5 D_z k_{V_z} \frac{d\varphi_z}{dt}, \quad (3)$$

де B_z – ширина робочої гілки транспортера, м; h_v – висота шару ВКЦ, м; k_{V_z} – коефіцієнт, який враховує зниження V_z відносно $V_{z,m}$; D_z – діаметр приводного вала транспортера, м; φ_z – кут повороту приводного вала, град.



Коефіцієнт заповнення робочого об'ємного простору ψ робочої гілки транспортера було сформульовано, як добуток реального (дійсного) значення коефіцієнта заповнення ψ' робочого простору та відношення об'єму міжскребкового простору, що заповнений матеріалом до можливого загального об'єму простору робочої гілки, тобто

$$\psi = \psi' \frac{V_n}{V_{zn}} \leq 1; \quad V_{zn} = B_z L_z h_c; \quad V_n = V_{zn} - V_e; \quad V_e = \sum_{i=1}^n V_{ci} = b_c \delta_c h_c n = b_c \delta_c h_c \frac{L_z}{T_c}, \quad (4)$$

де ψ – дійсне значення коефіцієнта заповнення; V_n – заповнений об'єм міжскребкового простору, м³; V_{zn} – загальний об'єм простору робочої гілки, м³; V_e – сумарний об'єм, що займають робочі елементи, м³; V_{ci} – об'єм одного скребка, м³; b_c , h_c , δ_c – відповідно, довжина, висота та ширина скребка, м; $n = L_z / T_c$ – кількість скребків, які розташовуються по довжині робочої гілки L_z завантажувального транспортера, шт.; T_c – відстань між двома суміжними скребками, або крок скребків, м.

Таким чином підставивши значення V_n у перше рівняння (4) одержано залежність для визначення коефіцієнта заповнення ψ

$$\psi = \psi' \frac{V_{zn} - V_e}{V_{zn}} = \psi' \frac{V_{zn} - V_e}{\frac{V_{zn}}{\frac{V_{zn}}{V_{zn}}}} = \psi' \left(1 - \frac{V_e}{V_{zn}} \right). \quad (5)$$

Позначимо відношення $V_e / V_{zn} = \lambda_z$, де символ λ_z сформульовано як позначення конструктивного геометричного коефіцієнта завантажувального транспортера (в подальшому – конструктивний коефіцієнт λ_z), який є постійною величиною тільки під час одного налаштованого конструктивного циклу технологічного процесу роботи ТОС.

Тоді залежність (5) матиме вигляд

$$\psi = \psi' (1 - \lambda_z) \leq 1; \quad \lambda_z = \delta_c / T_c. \quad (6)$$

Абсолютне значення коефіцієнта заповнення ψ є непостійним і буде залежати від миттєвого технологічного параметра ψ' , який регламентує ступінь завантаження робочої гілки завантажувального транспортера, або технологічної подачі коренеплодів та конструктивного коефіцієнта λ_z , або конструктивного виконання скребкового транспортера, або його геометричних параметрів: ширини полотна робочої гілки B_z , довжини b_c , ширини δ_c та висоти h_c скребка, кроку скребків T_c тощо.

Максимально-допустима висота шару h_v ВКЦ на робочій гілці похилого транспортера визначається граничною висотою $h_{v.max}$ вантажу над нею

$$h_{v.max} = B_z \frac{k_h - tg \varepsilon}{\mu_z f_m}, \quad (7)$$

де ε – кут нахилу завантажувального транспортера (робочої гілки) до горизонту, град.; k_h – коефіцієнт зчеплення ВКЦ з прутками робочої гілки завантажувального транспортера, при цьому

$$k_h = \left(f_m + \frac{\tau_0}{h_c \rho_k g} \right) \theta, \quad (8)$$

де $\theta = 0,6 \dots 0,8$ – емпіричний коефіцієнт; f_m – коефіцієнт тертя коренеплодів по металевій поверхні; τ_0 – початковий опір зсуву, Н/м²; μ_z – коефіцієнт бокового тиску коренеплодів на стінки скребка, при цьому



$$\mu_z = \left(\frac{1,2 + V_z}{1 + 2f_m^2} \right) \theta = \left(\frac{1,2 + 0,5D_z k_{V_z} \frac{d\varphi_z}{dt}}{1 + 2f_m^2} \right) \theta = \left(\frac{2,4 + D_z k_{V_z} \frac{d\varphi_z}{dt}}{1 + 2f_m^2} \right) \frac{\theta}{2} \quad (9)$$

Тоді згідно з (7)-(9) максимально-допустиму висоту шару $h_{v,max}$ ВКЦ на робочій гілці похилого транспортера визначено за формулою

$$h_{v,max} = \frac{2B_z \left[\left(f_m + \frac{\tau_0}{h_c \rho_k g} \right) - tg\varepsilon \right] (1 + 2f_m^2)}{f_m^2 \left(2,4 + D_z k_{V_z} \frac{d\varphi_z}{dt} \right)} \quad (10)$$

Підставивши значення складових з рівнянь (3), (6), (10) у формулу (2) одержано залежність для визначення продуктивності роботи завантажувального транспортера ТОС

$$Q_z = \frac{B_z^2}{f_m^2} \rho_k \psi' \frac{\left[\left(f_m + \frac{\tau_0}{h_c \rho_k g} \right) - tg\varepsilon \right] (1 + 2f_m^2) \left(1 - \frac{\delta_c}{T_c} \right)}{\left(\frac{2,4}{D_z k_{V_z}} \left(\frac{d\varphi_z}{dt} \right)^{-1} + 1 \right)} \quad (11)$$

Враховуючи, що $d\varphi_z / dt = \omega_z = \pi n_z / 30$, де n_z – частота обертання приводного вала завантажувального транспортера (об/хв), формула (11) набуде кінцевого вигляду

$$Q_z = \frac{B_z^2}{f_m^2} \rho_k \psi' \frac{\left[\left(f_m + \frac{\tau_0}{h_c \rho_k g} \right) - tg\varepsilon \right] (1 + 2f_m^2) \left(1 - \frac{\delta_c}{T_c} \right)}{\left(\frac{72}{\pi D_z k_{V_z} n_z} + 1 \right)} \quad (12)$$

За початкових умов $B_z = 0,9$ м, $D_z = 0,18$ м, $\delta_c = 0,05$ м (стандартний ряд ширини пруткових транспортерів), $f_m = 0,5$, $\rho_k = 550$ кг/м³, $h_c = 0,2$ м, $\varepsilon = \pi / 6$, град., $k_{V_z} = 0,7$ побудовано залежність зміни продуктивності роботи Q_z завантажувального транспортера як функціонал: рис. 2а – $Q_z = f(n_z; \psi')$; рис. 2б – $Q_z = f(n_z; T_c)$.

Аналіз побудованих графічних відтворень показує, що теоретична розрахункова продуктивність роботи Q_z завантажувального скребкового транспортера ТОС знаходиться в межах 9...62 кг/с залежно від зміни його конструктивно-кінематичних і технологічних параметрів.

Функціональна залежність $Q_z = f(n_z; \psi')$, $Q_z = f(n_z; T_c)$ зміни продуктивності роботи Q_z має прямопропорційний характер – зі збільшенням, як частоти обертання приводного вала n_z , так і кроку скребків T_c , а також і коефіцієнта заповнення ψ' продуктивність Q_z зростає, рис. 2.

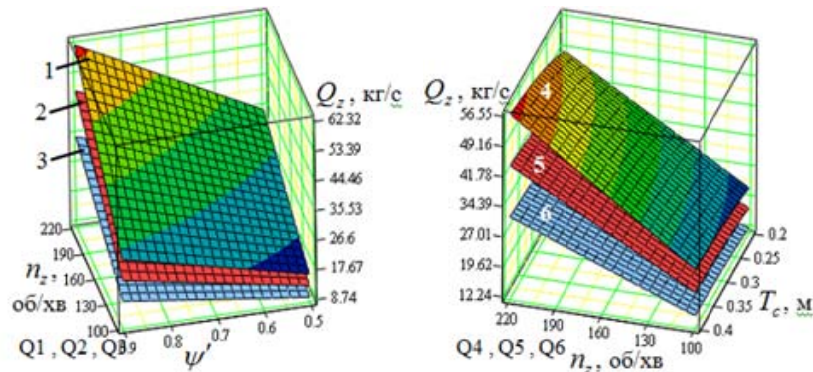


Рис. 2. Залежність зміни продуктивності роботи завантажувального транспортера як функціонал: а – $Q_z = f(n_z; \psi')$; б – $Q_z = f(n_z; T_c)$; 1, 2, 3 – $\varepsilon = 30, 45, 60$ град.; 4, 5, 6 – $\psi' = 0,5; 0,7; 0,9$



Домінуючим параметром, який характеризує зміну продуктивності роботи Q_z та має значний суттєвий вплив її збільшення, є частота обертання приводного вала n_z : у межах зміни частоти обертання n_z від 50 до 100 об/хв продуктивність роботи Q_z значно зростає – у середньому на 15...20 кг/с, що також характерно поведінці зміни функціонала $Q_z = f(n_z)$, залежність якого наведено на рис. 3.

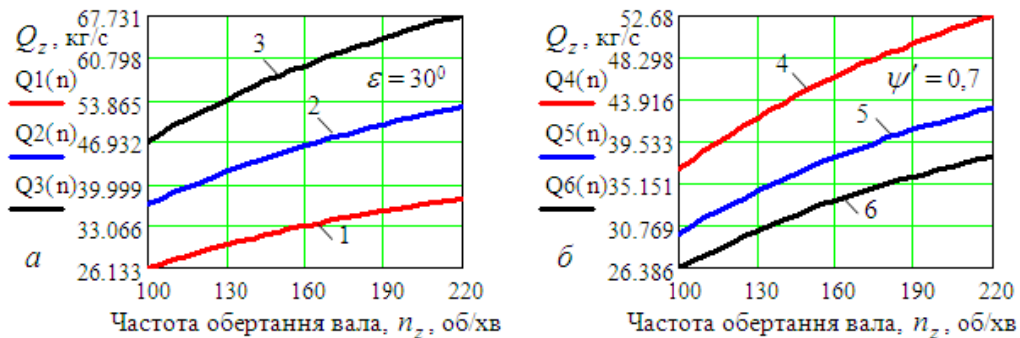


Рис. 3. Залежність зміни продуктивності завантажувального транспортера як функціонал: а, б – $Q_z = f(n_z)$; 1, 2, 3 – відповідно, $\psi' = 0,5; 0,7; 0,9$; 4, 5, 6 – відповідно, $\varepsilon = 30; 45; 60$ град

Збільшення кроку скребків T_c завантажувального транспортера ТОС призводить до незначного збільшення його продуктивності роботи: – у межах збільшення кроку T_c від 0,2 до 0,4 (м) продуктивність роботи Q_z зростає в середньому на 4...5 кг/с.

Висновки

Розроблена математична модель (11) характеризує функціональну зміну продуктивності роботи завантажувального транспортера ТОС залежно від його параметрів і бути використана для подальшої оптимізації конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи коренезбиральної машини загалом.

Список літератури

1. Стельмах В.М. Вивчення основних розмірних параметрів і фізико-механічних характеристик цикорію кореневого / В.М. Стельмах // Науково-технічний бюлетень Хмельницької держ. с.-г. дослідної станції. – К., 1996. – № 4. – С. 72 – 80.
2. Аналіз тенденцій розвитку робочих органів для сепарації вороху коренеплодів / В.Ю. Рами, В.М. Барановський, М.Р. Паньків [та ін.] // Наукові нотатки. – Луцьк : ЛНТУ, 2011. – Вип. 31. – С. 298–305.
3. Пат. № 108624 Україна. МПК А01D 33/08. Очисник вороху коренеплодів цикорію / Барановський В.М., Потапенко М.В. Паньків М.Р., Дубчак Н.А., Паньків В.Р.; заявник і власник Тернопільський націон. техніч. ун-т ім. І. Пулюя. – № u201600388; заявл. 18.01.2016; опубл. 11.07.2016. Бюл. № 13/2016.
4. Біліченко М.Я. Основи теорії та розрахунки транспортних засобів механізації переміщення вантажів / М.Я. Біліченко // Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: НГУ, 2002. – 102 с.
5. Гевко Р.Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів бурякозбиральних машин: дис... докт. техн. наук : 05.20.01 / Гевко Роман Богданович. – К., 2000. – 362 с.
6. Погорельий Л.В. Свеклоборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз / Л.В. Погорельий, М.В. Татьяна. – К. : Феникс, 2004. – 232 с.
7. Погорілий Л.В. Сучасні проблеми землеробської механіки і машинознавства при створенні сільськогосподарської техніки нового покоління / Л.В. Погорілий // Механізація сільськогосподарського виробництва // Х. : ХДТУСГ, 2003. – Вип. 20. – С. 10–28.
8. Корнев Г.В. Транспортёры и элеваторы сельскохозяйственного назначения / Г.В. Корнев. – М., 1961. – 176 с.
9. Вайсон А.А. Подъёмно-транспортные машины / А.А. Вайсон. – М.: Машиностроение, 1975. – 431 с.

References

1. Stelmakh V.M. Vyvchennia osnovnykh rozmirnykh parametrov i fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk tsykoriuu korenevoho / V.M. Stelmakh // Naukovo-tekhnichnyi biuleten Khmelnytskoi derzh. s.-h. doslidnoi stantsii. – К., 1996. – No 4. – S. 72 – 80.



2. Analiz tendentsii rozvytku robochykh orhaniv dlia separatsii vorokhu koreneplodiv / V.Yu. Ramsh, V.M. Baranovskiy, M.R. Pankiv [ta in.] // Naukovi notatky. – Luts'k : LNTU, 2011. – Vyp. 31. – S. 298–305.
3. Pat. No 108624 Ukraina. MPK A01D 33/08. Ochysnyk vorokhu koreneplodiv tsykoriuu / Baranovskiy V.M., Potapenko M.V. Pankiv M.R., Dubchak N.A., Pankiv V.R.; zaiavnyk i vlasnyk Ternopil'skyi natsion. tekhnich. un-t im. I. Puliiua. – No u201600388; zaiavyl. 18.01.2016; opubl. 11.07.2016. Biul. No 13/2016.
4. Bilichenko M.Ya. Osnovy teorii ta rozrakhunky transportnykh zasobiv mekhanizatsii peremishchennia vantazhiv / M.Ya. Bilichenko // Navchalnyi posibnyk. – Dnipropetrovsk: NHU, 2002. – 102 s.
5. Hevko R.B. Obgruntuvannia konstruktivno-tekhnolohichnykh parametriv robochykh orhaniv buriakozbyralnykh mashyn: dys... dokt. tekhn. nauk : 05.20.01 / Hevko Roman Bohdanovych. – K., 2000. – 362 s.
6. Pogorelyj L.V. Sveklouborochnye mashyny: y`story`ya, konstrukcy`ya, teory`ya, prognoz / L.V. Pogorelyj, M.V. Tat'yanko. – K. : Feny`ks, 2004. – 232 s.
7. Pohorilyi L.V. Suchasni problemy zemlerobskoi mekhaniky i mashyno-znavstva pry stvorenni silskohospodarskoi tekhniky novoho pokolinnia / L.V. Pohorilyi // Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva // Kh. : KhDTUSH, 2003. – Vyp. 20. – S. 10–28.
8. Kornev H.V. Transportery y elevatory sel'skokhoziaistvennoho naznachenyia / H.V. Kornev. – M., 1961. – 176 s.
9. Vaison A.A. Pod'emno-transportnye mashyny / A.A. Vaison. – M.: Mashynostroeniye, 1975. – 431 s.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗАГРУЗОЧНОГО ТРАНСПОРТЕРА ТРАНСПОРТНО-ОЧИСТИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация: эффективность уборки корнеплодов цикорию в значительной мере зависит от конструктивно-компоновочных особенностей и технологической способности процесса очистки вороха корнеплодов от примесей. Увеличение показателей качества и производительности работы транспортно-очистительных систем корнеуборочных машин, есть важной научной задачей дальнейшего развития агропромышленного производства Украины. На основании аналитического анализа технологического процесса работы транспортно-очистительной системы разработано математическую модель, которая характеризует функциональное изменение производительности работы загрузочного транспортера от его конструктивно-кинематических параметров.

Ключевые слова: ворох корнеплодов, загрузочный транспортер, производительность, скребок, конструктивный геометрический коэффициент, угол наклона, скорость движения, коэффициент заполнения.

A MATHEMATICAL MODEL OF THE PRODUCTIVITY OF LOADING CONVEYER OF THE TRANSPORT AND CLEANING SYSTEM

Summary: the efficiency of gathering roots of chicory in a large measure are dependent on the structural and compositional features and technological abilities of the cleaning process of heap roots from dashes. Increasing exponents of the quality and productivity of work of the transport and cleaning systems of roots gathering machines is an important scientific task of further development of agro-industrial production of Ukraine. On the base of the analytical analysis of the technological process of work of the transport and cleaning system is made a mathematical model that describes the functional change in the productivity of work of the loading conveyer in dependence on its constructive-kinematic parameters.

Keywords: a heap of roots, loading conveyer, productivity, scraper, constructive geometric factor, the angle of inclination, motion speed, the fill factor.