

Ю. Гладь¹, канд. техн. наук; В. Солтисюк²

¹Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

²Бережанський агротехнічний інститут Національного аграрного університету

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ КОРЕНЕПЛОДІВ РОТОРНИМИ ОЧИСНИКАМИ

Розроблена математична модель процесу збирання і очищення коренеплодів цукрових буряків роторними очисниками. Наведено результати теоретичних досліджень сепарації коренеплодів роторним очисником. Виведені аналітичні залежності для визначення кінематичних і конструктивних параметрів роторних очисників коренезбиральних машин і дані практичні рекомендації щодо їх проектування.

Y. Gladyo, V. Soltusyuk

THEORETICAL GROUND OF PROCESS SEPARATION OF ROOTS BY ROTOR CLEANERS

The mathematical model of process of collection and cleaning of root crops of sugar beets is developed by the purifiers of rotors. The results of theoretical researches of separation of root crops are resulted rotor cleaner. Analytical dependences are shown out for determination of kinematics and structural parameters of purifiers of rotors of root harvester machines and practical recommendations are given in relation to their planning.

Умовні позначення

ω – кутова швидкість ротора 1/с;

R_d – радіус ротора, мм.;

V_u, V_d, V_a – відповідно швидкість руху агрегату та швидкість обертання диска;

ψ – кут між векторами V_d і V_u , град;

φ – кут відхилення польоту коренеплоду від площини обертання ротора, град;

α, β, γ – відповідно кут встановлення привідного вала.

Збирання коренеплодів цукрових буряків є однією з найбільш трудо- та енергомістких операцій у сільськогосподарському виробництві. Враховуючи те, що Україна належить до найбільш бурякосіючих країн Європи і цукор є одним з її стратегічних продуктів, а також у зв'язку з переходом до різних форм власності, вітчизняній промисловості необхідно в стислі терміни налагодити випуск поряд з шестирядними комплексами серійний випуск простих за конструкцією і надійних в експлуатації, недорогих навісних, причіпних малорядних бурякозбиральних машин для орендних і фермерських господарств, функціональні і експлуатаційні показники яких відповідали б світовим стандартам.

Робота виконана згідно з постановою Кабінету Міністрів України «Про розвиток сільськогосподарського машинобудування та забезпечення агропромислового комплексу конкурентоздатною технікою» на 2003-2007 роки.

Питанням розробки сепаруючих систем коренезбиральних машин присвячено ряд робіт [1,2,3], однак цілий ряд питань залишилися невирішеними.

Тому метою роботи є теоретичне обґрунтування кінематичних і конструктивних параметрів очисної роторної системи навісної 3-х рядної коренезбиральної машини.

При роботі запропонованої коренезбиральної машини [4] (рис. 1) відбувається ударна взаємодія пальця обертового роторного очисника із коренеплодом, внаслідок чого буряк відкидається вбік. У процесі удару можливе пошкодження коренеплоду та невідповідна відстань викидання. Для дослідження процесу сепарації коренеплоду розглянемо кінематичну модель та оцінімо кінематичні параметри з метою виявлення

раціональних технологічних і кінематичних параметрів - швидкості обертання та кута установки обертового диска.

Вважатимемо, що у математичній моделі опису процесу збирання коренеплідів можна зробити такі припущення:

- агрегат рухається прямолінійно з постійною швидкістю v_a , ротори з пальцями установлені жорстко із заданими кутами нахилу α і β та обертаються зі сталою кутовою швидкістю ω ;
- коренеплоди під час копання незначно відхиляються від лінії напрямку руху коренезбиральної машини, тобто проекція центру мас коренеплоду лежить біля прямої, яку окреслює проекція на горизонтальну площину найнижчої точки обертового диска з пальцями;
- пальці роторного диска є жорсткими (для підвищення жорсткості запропоновано спеціальні бандажі);
- удар коренеплода з пальцем ротора є непружним, тобто швидкість вильоту коренеплоду рівна швидкості удару по ньому пальцем диска.

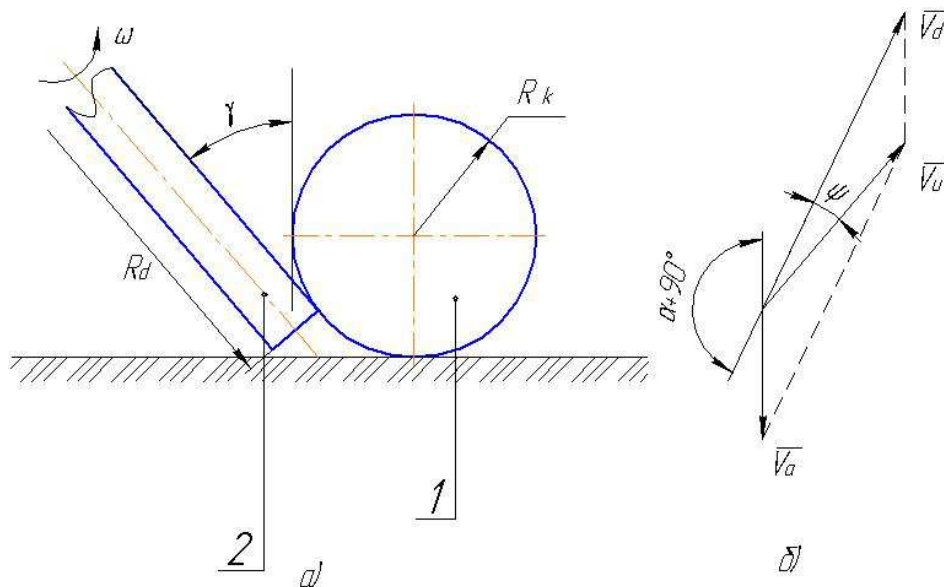


Рисунок 1 – Розрахункова схема взаємодії спиці роторного очисника з коренеплодом:
а) 1 – коренеплід; 2 – спиця роторного очисника; б) план швидкостей коренеплода

На рис. 1 представлена розрахункова схема взаємодії спиці ротора очисника з коренеплодом і план його швидкостей.

Швидкість руху пальця залежить від швидкості обертання ротора та його радіуса R_d

$$v_d = \omega R_d, \quad (1)$$

де ω - кутова швидкість ротора 1/с;

R_d - радіус ротора, мм.

Напрямок удару \vec{v}_u лежить у напрямку вектора швидкості удару, яка складається із векторної суми переносної швидкості руху агрегату \vec{v}_a та відносної швидкості обертання диска \vec{v}_d .

$$\vec{v}_u = \vec{v}_a + \vec{v}_d, \quad (2)$$

де \vec{v}_a, \vec{v}_d - відповідно швидкість руху агрегату та швидкість обертання диска.

Для визначення величини та напрямку швидкості удару застосуємо теорему косинусів, звідки визначимо

$$v_u = \sqrt{v_a^2 + v_d^2 - 2v_a v_d \cos(\vec{v}_a, \vec{v}_d)}. \quad (3)$$

Напрямок результуючої швидкості (кут ψ до напрямку руху агрегату) буде дорівнювати

$$\cos \psi = \frac{v_a^2 + v_u^2 - v_d^2}{2v_a v_u}. \quad (4)$$

Внаслідок швидкого обертання роторного диска у момент удару центр мас буряка, як правило, не знаходиться у площині обертання диска, а буде перед нею. Тому удар буде дещо нецентральною, а результуюча швидкість вильоту буряка буде направлена по лінії, яка сполучає центр мас коренеплоду та точку удару пальця по ньому. Ця лінія буде відхилена від площини обертання дисків у напрямку руху агрегату на кут φ . Отже, швидкість при нецентральному ударі визначиться

$$v_\varphi = v_u \cos \varphi. \quad (5)$$

Якщо розглянути удар пальця по буряку в напрямку, перпендикулярному до площини обертання диска, видно, що палець контактує з буряком по лінії, нахилений під кутом γ до вертикалі, тобто вектор швидкості направлений вгору під кутом γ до горизонтальної площини, що забезпечує певну вертикальну складову швидкості буряка, а отже, його вільний політ над площиною поля (рис. 2).

З геометричних побудов визначимо кут γ

$$\frac{R_d}{R_k} = \frac{1 - \sin \gamma}{1 - \cos \gamma}, \quad (6)$$

де R_k - радіус коренеплода, мм.

Звідси

$$\gamma = -\arcsin\left(\frac{R_d - R_k}{\sqrt{R_d^2 + R_k^2}}\right) + \arctan \frac{R_d}{R_k}. \quad (7)$$

Вертикальна складова швидкості коренеплода після удару становитиме

$$v_{\varphi z} = v_\varphi \sin \gamma, \quad (8)$$

а горизонтальна складова

$$v_{\varphi y} = v_\varphi \cos \gamma. \quad (9)$$

Отримавши значення складових швидкостей удару, можна визначити відстань, на яку переміститься коренеплід після удару.

З точки зору технології збирання цукрових буряків потрібно, щоб кожен коренеплід долетів до відбивної сітки, здійснив очищення і упав на ґрунт на лінію її проекції. Маючи три роторних очисних диски з пальцями, розташованих на різних відстанях від відбивної сітки, необхідно визначити достатні умови для того, щоб найвіддаленіший ротор міг спрямувати коренеплоди до цієї сітки. Важливо також визначити мінімальну довжину відбивної сітки, щоб коренеплід не вилітав за її межі.

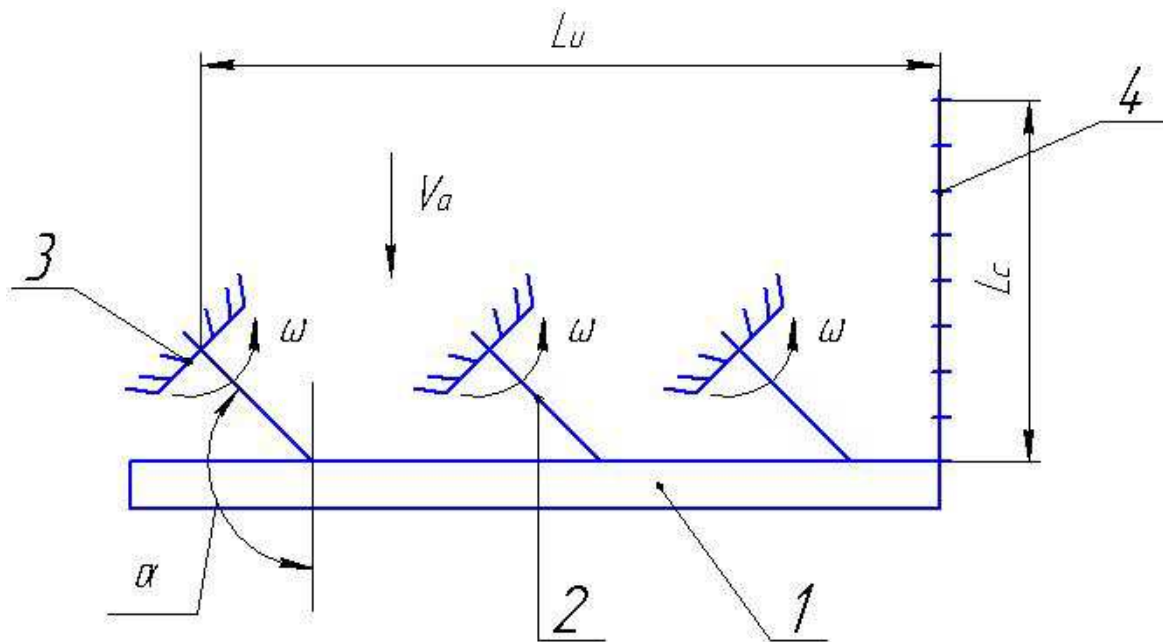


Рисунок 2 – Розрахункова схема процесу очищення коренеплодів роторним очисником:
1 – рама; 2 – привідний вал; 3 – роторний очисник; 4 – відбивна сітка

На рис. 2 представлена розрахункова схема очищення коренеплодів роторним очисником.

Час вільного польоту коренеплоду визначимо через подвійний час його підйому з початковою вертикальною швидкістю $v_{\varphi z}$:

$$t = \frac{2v_{\varphi z}}{g} \quad (10)$$

За цей час коренеплід подолає відстань

$$S = v_{\varphi z} t \quad (11)$$

Проекція шляху S на вісь Y (перпендикулярну напрямку руху) повинна бути не меншою за відстань від викопуваного рядка до відбивної сітки L

$$S_y = S \sin(\psi - \varphi) > L \quad (12)$$

Довжина сітки повинна бути не меншою за величину

$$L_c = L \operatorname{tg}(180^\circ - \alpha) \quad (13)$$

З умови (12) потрібно визначити швидкість удару v_u , яка б забезпечила потрібний рух коренеплоду.

Розв'язок поставленої задачі можна знайти прямим шляхом, проте, зважаючи на наявні комп'ютерні засоби, можна визначити всі необхідні параметри шляхом методу ітерації, причому прямий розрахунок параметрів процесу кидання одразу дає їх числові значення, а кількість необхідних ітерацій, як правило, не перевищує 3..5.

З конструктивних міркувань вибираємо кут $\alpha = 120^\circ$, радіус диска $R_d = 600$ мм, радіус коренеплода $R_k = 30$ мм. Кількість пальців диска вибираємо такою, щоб між ними міг розташуватися коренеплід з певною прогалиною.

Результати розрахунку для вказаних параметрів в залежності від зміни кутів α і φ , радіуса коренеплода та кутової швидкості наведено на графіках рис. 3 - рис. 6.

У таблиці наведено приклад розрахунку вказаних величин при певних конструктивних параметрах коренезбиральної машини.

Таблиця 1 – Результати розрахунку параметрів коренезбиральної машини

Rk=30.0	Rk=30.0	Rk=30.0	Rk=50.0
Rd=600.0	Rd=600.0	Rd=600.0	Rd=600.0
Alfa=120.0	Alfa=150.0	Alfa=120.0	Alfa=120.0
Fi=20.0	Fi=20.0	Fi=20.0	Fi=20.0
Omega=10	Omega=10	Omega=15	Omega=10
Va=2	Va=2	Va=2	Va=2
L=1.5	L=1.5	L=1.5	L=1.5
Vd=6.0	Vd=6.0	Vd=9.0	Vd=6.0
Vu=4.38	Vu=5.29	Vu=7.33	Vu=4.38
Psi=136.8	Psi=100.9	Psi=142.2	Psi=136.8
Gamma=15.55	Gamma=15.55	Gamma=15.54	Gamma=19.24
Vf=4.12	Vf=4.97	Vf=6.89	Vf=4.12
Vfz=1.10	Vfz=1.33	Vfz=1.85	Vfz=1.36
Vfy=3.97	Vfy=4.79	Vfy=6.64	Vfy=3.89
T=0.2252	T=0.2718	T=0.3769	T=0.2769
S=0.893	S=1.302	S=2.503	S=1.077
Sy=0.797	Sy=1.285	Sy=2.119	Sy=0.961
Lc=2.598	Lc=0.866	Lc=2.598	Lc=2.598

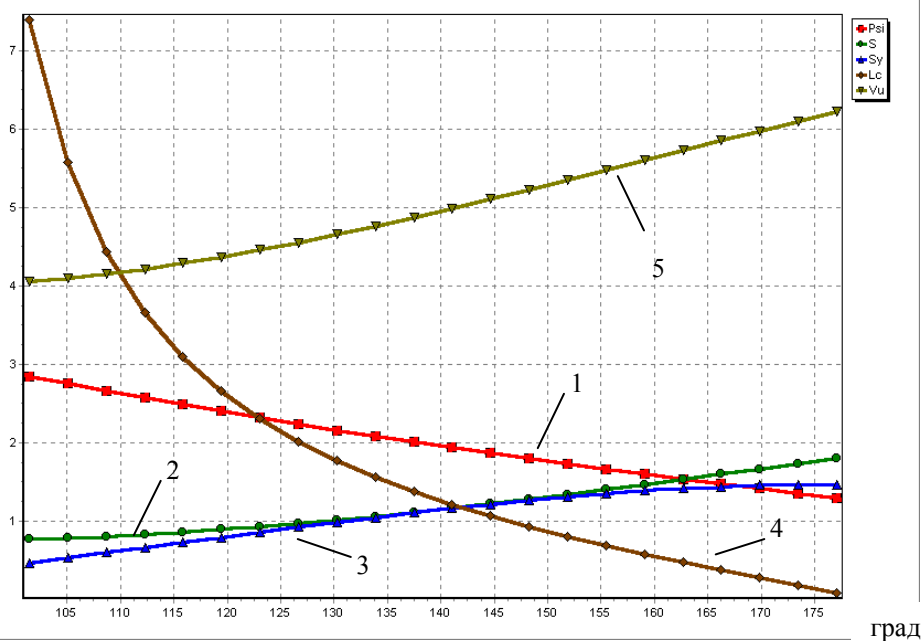


Рисунок 3 – Залежності основних параметрів від зміни кута α
 1 – ψ , рад; 2 – S, м; 3 – S_y , м; 4 – L_c , м; 5 – V_u , м/с

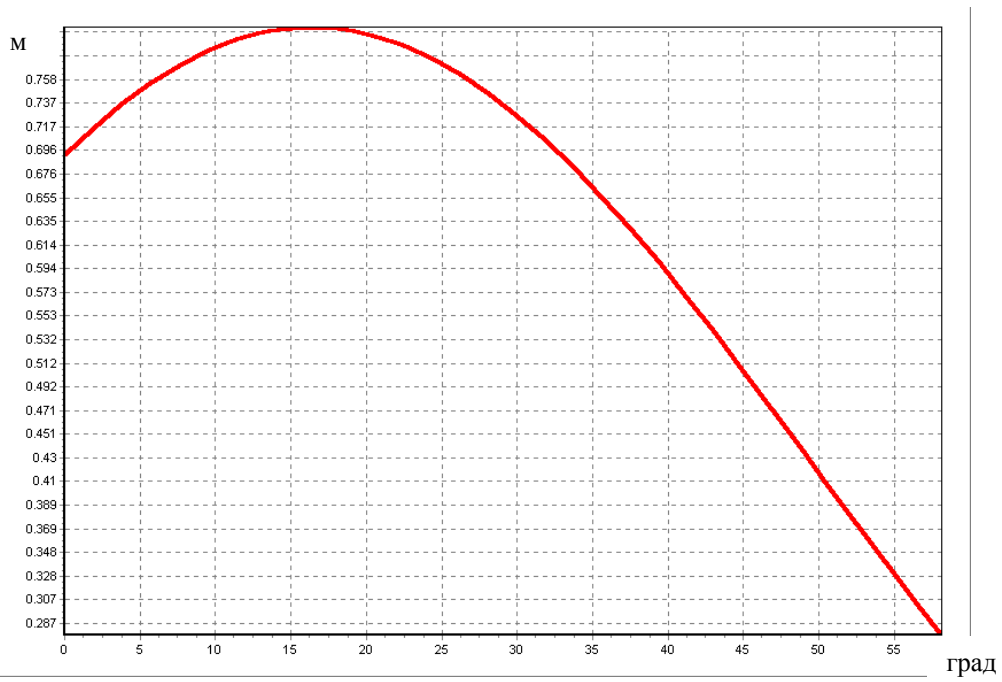


Рисунок 4 – Довжина кидання в залежності від кута нецентрального удару φ

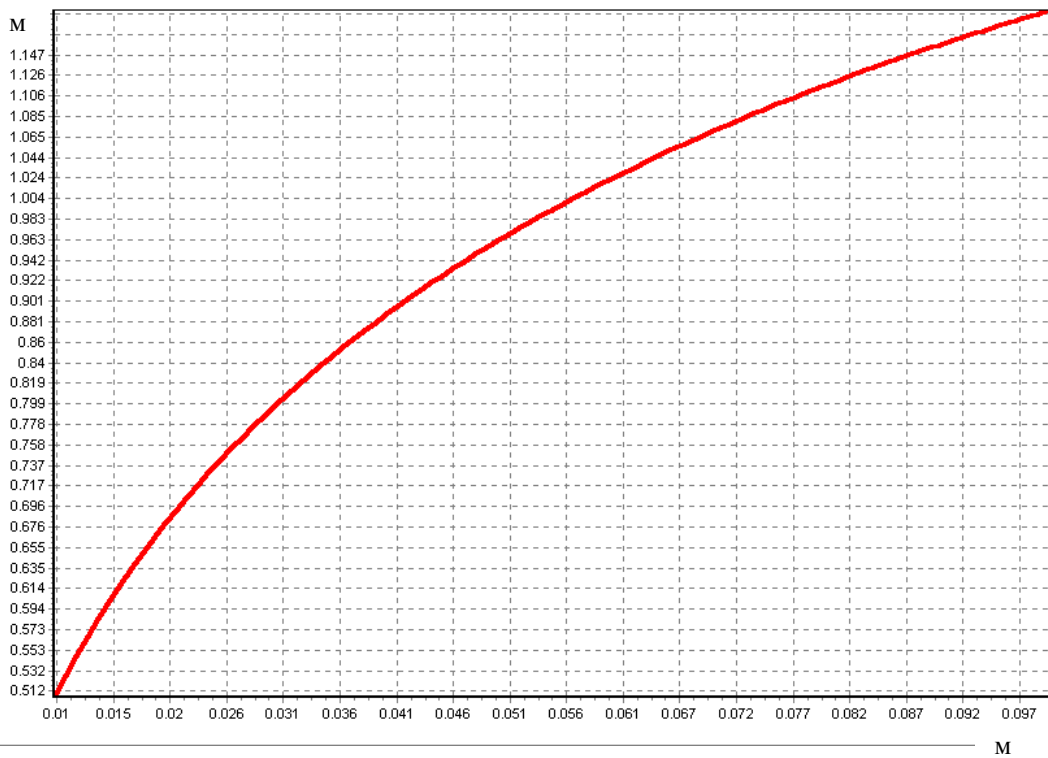


Рисунок 5 – Довжина кидання в залежності від радіуса коренеплоду

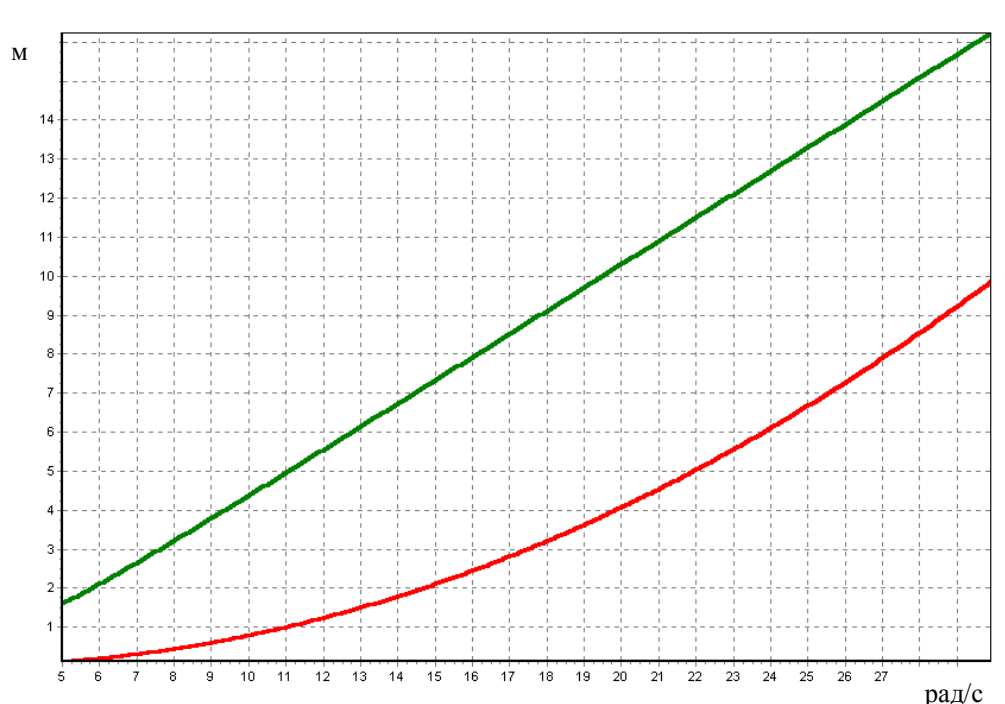


Рисунок 6 – Довжина кидання та швидкість удару в залежності від кутової швидкості

Аналізуючи графічні залежності, наведені на рисунках, можна зробити висновок про те, що зміна конструктивного кута установки дисків роторів α суттєво впливає на всі основні параметри процесу. Із збільшенням цього кута зменшується довжина необхідної сітки та кут кидання, внаслідок чого збільшується швидкість кидання і, відповідно, можлива довжина польоту коренеплоду до сітки. Величина кута α повинна становити не менше 120 градусів, краще до 150 градусів. Більше значення цього кута може призвести до кидання коренеплоду вперед по ходу агрегата.

Графік на рис. 4 показує, що нецентральний удар по коренеплоду в межах до 35-40 градусів забезпечує достатній запас по довжині кидання. Для отримання значення цього кута у вказаних межах необхідно, щоб за час повороту диска ротора на 1 крок пальців агрегат переміщався на відстань, співмірну із радіусом коренеплоду. При менших швидкостях можлива втрата буряка, а при більших кут нецентрального удару буде занадто великий і буряк буде лише відсуватись вбік без удару.

Збільшення радіуса коренеплоду забезпечує більшу відстань його польоту внаслідок збільшення кута викидання і, відповідно, довший час польоту.

Збільшення кутової швидкості обертання дисків (рис. 6) приводить до збільшення у степеневій залежності відстані кидання коренеплоду. Отже, навіть незначне збільшення швидкості обертання дисків є достатньо ефективним. Основною умовою вибору швидкості обертання є непошкодження коренеплодів внаслідок ударів об пальці диска ротора, які з цією метою можуть бути виконаними із еластичного матеріалу, наприклад, гуми.

Висновки

1. На основі теоретичних досліджень обґрунтована кінематика руху коренеплода при взаємодії зі спицями роторного очисника, виведені аналітичні залежності для визначення величини результуючої швидкості і кута її нахилу.
2. Обґрунтовані значення величини шляху переміщення коренеплодів і довжини відбійного щитка для кінцевої доочистки коренеплодів, а також кінематичні та конструктивні параметри роторного очисника навісної трьохрядної машини.
3. Встановлено, що суттєвий вплив на технологічний процес сепарації коренеплодів має кут установки роторів, із збільшенням якого довжина відбійної сітки зменшується і збільшується швидкість викидання коренеплодів. При цьому довжина

цього кута повинна вибиратися в межах $\alpha \approx 120...150^\circ$, а швидкість обертання ротора вибирається за умови непошкодження коренеплодів.

Література

1. Погорельий Л.В., Татьянко Н.В., Брей В.В. и др. Свеклоуброчные комбайны. (Конструирование и расчет). – К.:Техніка, 1983.–168с.
2. Босой Е.С., Верняев О.В., Смирнов .И.И. и др. Теория, конструирование и расчет сельськохозяйственных машин. – М.: Машиностроение, 1978.–567с.
3. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Синій С.В. та інші. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки. – Луцьк: ЛДТУ, 1999. – С.168.
4. Патент на корисну модель № 23519 Навісна коренезбиральна машина. Гевко Б.М., Білик С.Г., Солтисьяк В.І. Бюл. № 7, 2007.
5. Гевко Р.Б. Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин. Конструювання і розрахунок.– Тернопіль: Поліграфіст, 1997.–120с.

Одержано 15.08.2007 р.