

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ БУЛЬБ КАРТОПЛІ ПО НАПРЯМНИХ СЕПАРАТОРА

Козаченко О.В., д.т.н., Дзюба О.А., інж.

(Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Україна)

Наведено результати теоретичних досліджень руху бульб по робочому органу розробленого пристрою для сепарації картопляного вороху. Визначені інтервали зміни значень конструктивних параметрів, що забезпечують якісне виконання технологічного процесу сепарації.

Постановка проблеми. Сортування бульб на фракції є однією з важливих технологічних операцій післязбиральної переробки картопляного вороху [2]. Особливо важливою ця операція є для отримання якісного насінневого матеріалу [9].

Проблема пошуку нових технічних засобів та обґрунтування їх параметрів обумовлена тим, що існуючі картоплесортувальні пункти не забезпечують отримання високоякісного насінневого матеріалу та обумовлюють травмування бульб картоплі [2].

Аналізом відомих засобів для сортування бульб картоплі на фракції за розмірними характеристиками встановлена ефективність виконання процесу з використанням сепаруючих решіток з V-подібно встановлених напрямних [3, 4].

Мета та основний зміст досліджень. Метою досліджень є теоретичне дослідження руху бульб картоплі по напрямних сепаратора з метою обґрунтування раціональних параметрів запропонованого пристрою [3]. При цьому основними параметрами, що обумовлюють якісне виконання технологічного процесу розподілу бульб на фракції, слід вважати: кут встановлення осі напрямних пристрою до горизонту - δ ; кут розхилу напрямних - β ; кут γ між бісектрисою кута, утвореного напрямними AB і DC ; кут повороту площини напрямних навколо осі OZ - α ; швидкість обертання гвинтової спіралі Ω (рис.1).

Для побудови математичної моделі руху бульби картоплі по робочому органу пристрою прийняті наступні припущення:

- бульба є тверда куля з радіусом R_S та масою m ;
- в точці контакту K бульби з шнеком відсутнє ковзання;
- в точках контакту M і N бульби з напрямними відбувається процес ковзання.

При переміщенні бульби картоплі по напрямних пристрою (рис. 1) на неї діють дві складові сили тиску N_M і N_N , які направлені перпендикулярно до поверхні бульби у відповідних точках.

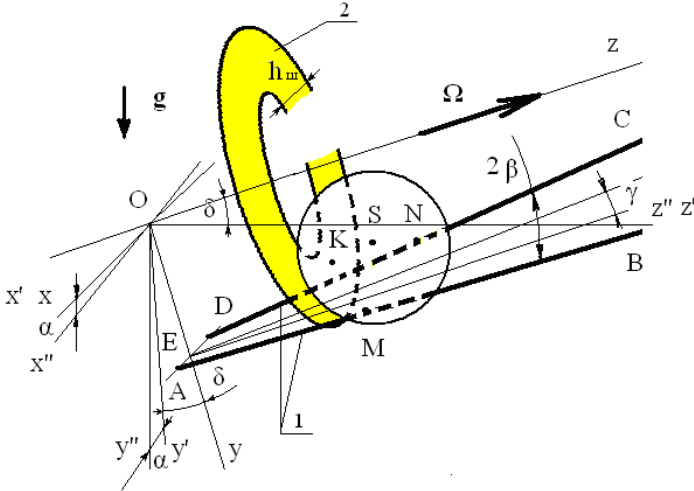


Рис. 1. Схема для розрахунку пристрою для розподілу бульб картоплі на фракції: 1 – напрямні; 2 – шнек

Припускаючи, що картоплею є тверда куля радіусом R_S , прийемо декартову систему координат $(X; Y; Z)$ так, щоб вісь OZ співпадала з віссю шнека, площина $ABCD$ з напрямними була паралельна осі OZ , вісь OY направлена перпендикулярно площині $ABCD$ (рис.2). Початкові точки A і D напрямних знаходяться на колі радіусу R_s , що лежить в площині HOY з центром в точці O . Позначимо через h відстань між цими точками. Рівняння для направляючих AB і DC можна записати, відповідно, у вигляді

$$\vec{r} = [h + z \operatorname{tg}(\beta - \gamma)]\vec{i} + y_0 \vec{j} + z \vec{k}; \quad (1)$$

$$\vec{r} = [-h - z \operatorname{tg}(\beta + \gamma)]\vec{i} + y_0 \vec{j} + z \vec{k}.$$

$$|\overrightarrow{SM}| = R_s \quad (6)$$

як рішення рівняння $\lambda_M^2 + (y_0 - y_s)^2 = R_s^2$ запишемо у вигляді (7)

$$y_s = y_0 - \sqrt{R_s^2 - \lambda_M^2}. \quad (8)$$

Вимоги проходу кулі через напрямні $Y_s = Y_0$ в точці $Z_s = Z_s^*$, можна записати у вигляді:

$$z_s^* = [R_s - h \cos(\beta - \gamma)] \frac{\cos \gamma}{\sin \beta}. \quad (9)$$

Для знаходження точки контакту бульби картоплі зі шнеком задамо поверхню шнека Σ_s в параметричній формі, вибираючи як параметри довжину дуги s , яка відлічується від осі шнека до точки його поверхні уздовж циліндрового радіуса, і полярний кут φ , який відлічується від осі OY проти годинникової стрілки при погляді з позитивного напрямку осі OZ (рис.3).

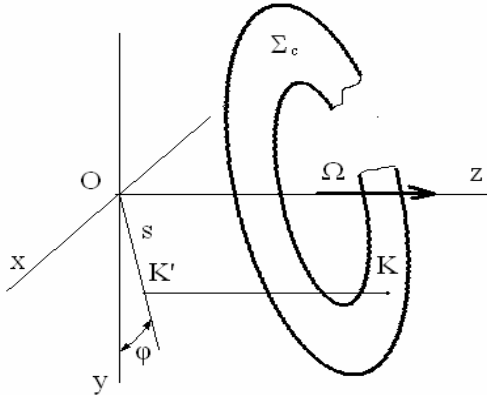


Рис. 3. Схема для знаходження точки контакту бульби картоплі зі шнеком

Рівняння поверхні шнека в полярній системі координат має вид

$$\vec{r} = -s \sin \varphi \vec{i} + s \cos \varphi \vec{j} + \frac{h_c}{2\pi} (\Omega t - \varphi) \vec{k} \quad (10)$$

$$(R_0 \leq s \leq R_1, \quad -\infty < \varphi < \infty)$$

Полярний кут φ пов'язаний з відповідним кутом ψ циліндричної системи координат і жорстко зв'язаний зі шнеком, що обертається, рівнянням

$$\varphi = \psi + \Omega t \quad (11)$$

В рухомій системі координат (спостерігач знаходиться на шнеку) рівняння(10) приймає вид

$$\vec{r} = -s \sin(\psi + \Omega t) \vec{i} + s \cos(\psi + \Omega t) \vec{j} - \frac{h_c}{2\pi} \psi \vec{k}$$

$$(R_0 \leq s \leq R_1, \quad -\infty < \psi < \infty) \quad (12)$$

Швидкість точки К шнека

$$\vec{v}_K = \left. \frac{d\vec{r}_K}{dt} \right|_{s, \psi = const} = -\Omega s_K \cos \varphi_K \vec{i} - \Omega s_K \sin \varphi_K \vec{j}$$

$$(13)$$

і радіус-вектор точки К визначається відношенням

$$\vec{r}_K = \vec{r}_S - \lambda_{KS} \vec{N} =$$

$$= \left[x_S + \lambda_{KS} \frac{h_c}{2\pi} \cos \varphi \right] \vec{i} + \left[y_S + \lambda_{KS} \frac{h_c}{2\pi} \sin \varphi \right] \vec{j} + [z_S - s \lambda_{KS}] \vec{k} \quad (14)$$

$$\lambda_{KS} = \frac{R_s}{|\vec{N}|} = \frac{R_s}{\sqrt{s^2 + (h_c / 2\pi)^2}}$$

де

$$(15)$$

Співпадання точок шнека і бульби картоплі в точці К відбувається за умови:

$$\begin{cases} -s \sin \varphi = x_S + \lambda_{KS} \frac{h_c}{2\pi} \cos \varphi \\ s \cos \varphi = y_S + \lambda_{KS} \frac{h_c}{2\pi} \sin \varphi \\ \frac{h_c}{2\pi} (\Omega t - \varphi) = z_S - s \lambda_{KS} \end{cases} \quad (16)$$

які можна розглядати як трансцендентні рівняння для невідомих величин s_K і φ_K при заданих t, x_S, y_S .

Для знаходження швидкості \vec{V}_S точки S скористаємося теоремою про проекції швидкостей кінців відрізка твердого тіла на напрямні цього відрізка в застосуванні до відрізка \overline{KS} [5-7]

$$(\vec{v}_S - \vec{v}_K) \cdot \vec{N} = 0 \quad (17)$$

або в координатній формі

$$s_K \dot{z}_S - \frac{h_c}{2\pi} \cos \varphi_K (\dot{x}_S + \Omega s_K \cos \varphi_K) - \frac{h_c}{2\pi} \sin \varphi_K (\dot{y}_S + \Omega s_K \sin \varphi_K) = 0 \quad (18)$$

В цьому випадку перші компоненти вектора \vec{V}_S знаходяться через його третю компоненту:

$$\dot{x}_S = -\dot{z}_S \operatorname{tg} \gamma, \quad \dot{y}_S = \frac{dy_S}{dz_S} \dot{z}_S, \quad (19)$$

де $\vec{v}_S = \dot{x}_S \vec{i} + \dot{y}_S \vec{j} + \dot{z}_S \vec{k}$.

Тоді попереднє рівняння можна розглядати як рівняння для знаходження $V_{S_z} = \dot{z}_S$ у вигляді

$$v_{S_z} = \dot{z}_S = \frac{h_c}{2\pi} \Omega s_K \left[s_K + \frac{h_c}{2\pi} \left(\operatorname{tg} \gamma \cos \varphi_K - \frac{dy_S}{dz_S} \sin \varphi_K \right) \right]^{-1}. \quad (20)$$

Потім розглянемо закон руху центру мас кулі. Під законом руху матеріальної точки розуміють залежність координат цієї точки від часу [5-7]. Як це показано в попередньому пункті, для однозначного визначення функції $\vec{r}_S = \vec{r}_S(t)$ достатньо встановити залежність $r_S = r_S(t)$.

Рівняння динаміки твердої кулі складається із

$$m \vec{\omega}_S = \vec{F}^e \quad (21)$$

Рівняння для відносного кінетичного моменту

$$J \frac{d\vec{\omega}}{dd} = \vec{M}_S^e \quad (22)$$

\vec{F}^e - головний вектор зовнішніх сил:

$$\vec{F}^e = \vec{R}_K + m\vec{g} + N_M(\vec{r}_S - \vec{r}_M)/|\vec{r}_S - \vec{r}_M| + N_N(\vec{r}_S - \vec{r}_N)/|\vec{r}_S - \vec{r}_N| \quad (23)$$

\vec{M}_S^e - головний момент зовнішніх сил відносно центра мас S кулі:

$$\vec{M}_S^e = (\vec{r}_K - \vec{r}_S) \times \vec{R}_K - f_m N_M (\vec{r}_M - \vec{r}_S) \times \vec{v}_{M\tau} / |\vec{v}_{M\tau}| - f_m N_N (\vec{r}_N - \vec{r}_S) \times \vec{v}_{N\tau} / |\vec{v}_{N\tau}| \quad (24)$$

Умови зіткнення кулі з напрямними

$$\vec{v}_M \cdot (\vec{r}_M - \vec{r}_S) = 0, \quad \vec{v}_N \cdot (\vec{r}_N - \vec{r}_S) = 0 \quad (25)$$

Остаточно система рівнянь, яка описує динаміку кулі, має вигляд:

$$\vec{R}_K + N_M(\vec{r}_S - \vec{r}_M)/|\vec{r}_S - \vec{r}_M| + N_N(\vec{r}_S - \vec{r}_N)/|\vec{r}_S - \vec{r}_N| = m(\vec{w}_S - \vec{g}) \quad (26)$$

Після перетворень отримуємо рівняння, яке описує динаміку кулі відносно невідомих $\vec{\omega}$, N_M , N_N

$$J \frac{d\vec{\omega}}{dt} = N_M \left[(\vec{r}_K - \vec{r}_S) \times \left(\frac{\vec{r}_M - \vec{r}_S}{R_S} + f_m \frac{\vec{v}_{M\tau}}{|\vec{v}_{M\tau}|} \right) \right] - f_m N_N (\vec{r}_N - \vec{r}_S) \times \vec{v}_{N\tau} / |\vec{v}_{N\tau}| \quad (27)$$

У момент проходження бульби через напрямні її центр мас має певну швидкість \vec{v}_S^0 і її подальший рух відбувається під дією сили тяжіння, відповідно до рівняння руху центру мас

$$m \frac{d\vec{v}_S}{dt} = m\vec{g} \quad (28)$$

Вільне падіння відбувається до моменту потрапляння кулі на горизонтальну поверхню \sum_P (рис.4).

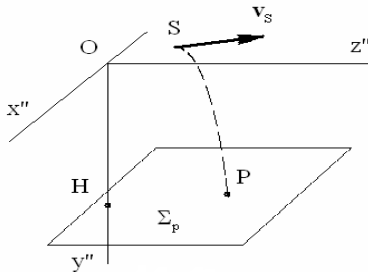


Рис. 4. Схема руху центра бульби картоплі після проходження через напрямні

Закон руху центра маси бульби

$$\begin{aligned}x_S'' &= x_S^0'' + v_{Sx}^0'' t \\y_S'' &= y_S^0'' + v_{Sy}^0'' t + g t^2 / 2 \\z_S'' &= z_S^0'' + v_{Sz}^0'' t\end{aligned}\tag{29}$$

Час падіння бульби картоплі t_p на площину із закону збереження потенційної енергії визначається залежністю

$$t_p = g^{-1} \left[\sqrt{(v_{Sy}^0'')^2 + 2g(H - y_S^0'')} - v_{Sy}^0'' \right]\tag{30}$$

Для чисельного вирішення задачі використано метод ламаних Ейлера з використанням програмного продукту Matlab.

Розрахунки виконувалися з метою визначення раціональних параметрів пристрою для розподілу бульб картоплі на фракції. Якість розподілу визначається як залежність значень параметрів пристрою ω , σ і α від Z_s . Травмування бульб обумовлюється зусиллям контакту їх з напрямними пристрою, що визначається значеннями реакцій зв'язку N_M і N_N . При збільшенні цих значень збільшується ймовірність травмування бульб картоплі. При зменшенні значень N_M і N_N до мінімуму (N_M і $N_N = 0$) може спостерігатися порушення технологічного процесу, що обумовлюється сходом бульб картоплі з напрямних пристрою.

За результатами розрахунків отримані залежності, що представлені на рис. 5-7. Аналіз отриманих залежностей дозволяє зробити наступні висновки. Збільшення частоти обертання шнека (рис. 5) обумовлює збільшення значень Z_s , що визначає момент проходження бульб по довжині напрямних пристрою. При цьому спостерігається перекриття площі розподілу бульб різного радіусу і його зменшення між другою фракцією ($R_S=0.023$ м), третьою ($R_S=0.035$ м) та четвертою ($R_S=0.05$ м) Збільшення частоти обертання шнека ω обумовлює збільшення ймовірності потрапляння бульб у сумішні фракції. Тому забезпечення необхідної якості сепарації та продуктивності пристрою бажаним є значення кутової швидкості обертання шнека в межах $\omega = 3,0 - 4,0$ с⁻¹.

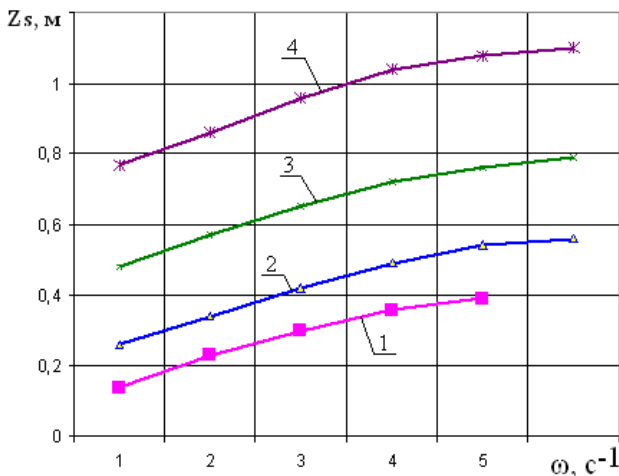


Рис. 5. Залежність частоти обертання гвинтової спіралі z_s від ω для фракцій бульб картоплі: 1- $R_s=0,017 \text{ м}$; 2- $R_s = 0,023 \text{ м}$; 3- $R_s = 0,035 \text{ м}$; 4- $R_s= 0,05 \text{ м}$

Збільшення кута постановки напрямних пристрою до горизонту (рис. 6) при фіксованій кутовій швидкості обертання шнека $\omega = 3,1 \text{ c}^{-1}$ вказує на те, що для забезпечення постійного контакту бульб з напрямними та зменшення потрапляння їх в суміжні фракції значення кута δ необхідно приймати в межах $7-10^0$.

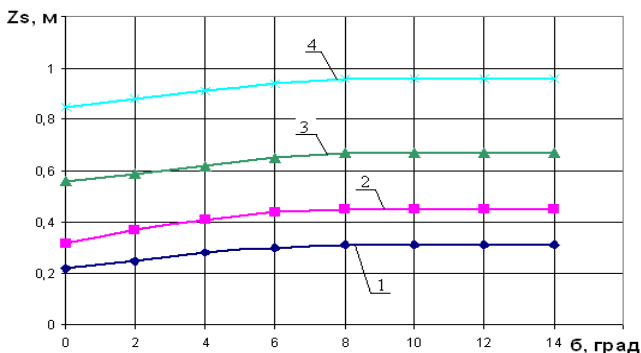


Рис. 6. Залежність кута встановлення вісі гвинтового пристрою до горизонту від Z_s ; при $\omega = 3,1 \text{ c}^{-1}$ для фракцій: 1- $R_s = 0,017 \text{ м}$; 2- $R_s = 0,023 \text{ м}$; 3- $R_s = 0,035 \text{ м}$; 4- $R_s = 0,05 \text{ м}$

Результати розрахунків вказують на те, що значення реакцій

зв'язку бульб картоплі з напрямними залежить не тільки від кута між осями симетрії шнека і напрямних γ , а й від розміру бульб (рис. 7) Збільшення кута γ приводить до зменшення значень реакцій зв'язку. При цьому для третьої фракції ($R_s=0,025$ м) при $\gamma = 6^\circ$ та четвертої фракції ($R_s=0,05$ м) при $\gamma = 4^\circ$ спостерігається втрата контакту між бульбами картоплі та напрямними пристрою, тобто порушення технологічного процесу. Це вказує на те, що сепарації бульб в інтервалі розмірних характеристик доцільно вибирати значення кута γ в межах $2,5-6^\circ$.

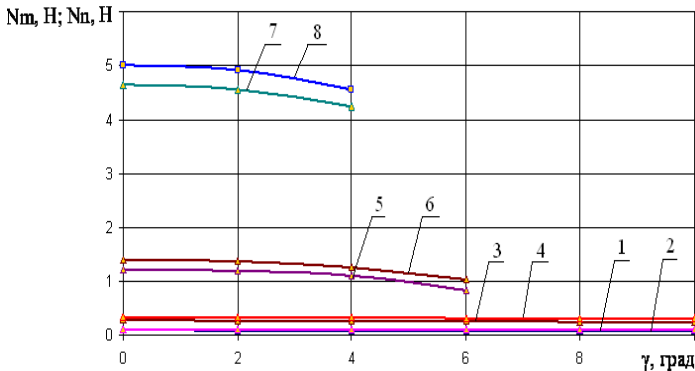


Рис. 7. Залежність реакцій зв'язку бульб картоплі з напрямними від кута між осями симетрії гвинтової спіралі та V – подібно встановлених напрямних при $\omega = 3,1 \text{ с}^{-1}$ для фракцій: 1- $R_s = 0,017$ м, Nm; 2- $R_s = 0,017$ м, Nn; 3- $R_s = 0,023$ м, Nm; 4- $R_s = 0,023$ м, Nn; 5- $R_s = 0,035$ м, Nm; 6- $R_s = 0,035$ м, Nn; 7- $R_s = 0,05$ м, Nm; 8- $R_s = 0,05$ м, Nn

Висновки

1. Розроблена математична модель руху бульб картоплі по напрямних пристрою дозволяє визначити залежність конструктивних параметрів на якість сепарації картопляного вороху на фракції.

2. Якісний процес сепарації бульб картоплі може бути забезпечений при наступних інтервалах зміни параметрів пристрою: кутова швидкість обертання шнека $\omega = 3-4 \text{ с}^{-1}$; кут постановки напрямних до горизонту $\delta = 7-10^\circ$; кут між вісями симетрії шнека і напрямними пристрою $\gamma = 2,5-6^\circ$.

3. Вважати за доцільне проведення експериментальних

досліджень по оптимізації конструктивних параметрів розробленого пристрою на сепарації певних сортів бульб картоплі.

Список літератури

1. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины.- М.: Машиностроение, 1984.-317 с.
2. Колчин Н.Н. Комплексы машин и оборудования для послеуборочной обработки картофеля и овощей.-М.: Машиностроение, 1982.- 265 с.
3. Патент № 65647 Україна В 07 В 1/16, В07В1/20 Гвинтовий класифікатор / Дзюба О. А, Дзюба А.І., О.В. Козаченко (Україна).- № 2001074964, Заявлено 14.07.2001; Опубл. 15.04.2004, Бюл. № 4.
4. Дзюба О.А. Экспериментальна установка для випробування пристрою для сортування картоплі на фракції //Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – 2001. – Вип.. 8, Т.2, с.165-169.
5. Кильчевский Н.А. Курс теоретической механики. Т.1. М.: Наука, 1972.- 530 с.
6. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. Т.1,2. М.: Наука, 1965.
7. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. М.: Наука, 1966. – 246 с.
8. Тихонов А.Н., Васильева А.Б., Свешников А.Г. Дифференциальные уравнения. М.: Наука, 1985.- 231 с.
9. Фролов В.О. Обґрунтування процесу та параметрів робочих органів для передпосівної доробки бульб картоплі: Автореферат. дис.канд. техн.. наук: 05.20.01/ІМЕСХ УААН.-Глеваха., 1995.-21 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ ПО НАПРАВЛЯЮЩИХ СЕПАРАТОРА

Приведены результаты теоретических исследований движения клубней по рабочему органу разработанного устройства для сепарации картофельного вороха. Определены интервалы значений конструктивных параметров, которые обеспечивают качественное выполнение технологического процесса сепарации.

THEORETICAL RESEARCH OF MOTION OF TUBERS OF POTATO FOR SENDING SEPARATOR

The results of theoretical researches of motion of tubers are resulted on a working organ to developet adaptation for separation of potatos lots. The intervals of values of structural parameters which provide high-quality implementation of technological process are certain.