

Wojciech Tanaś, Marcin Zawierucha
Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego
Akademia Rolnicza w Lublinie

PROCES SEPARACJI MIESZANINY TECHNOLOGICZNEJ NA GÓRCIE PALCOWEJ KOMBAJNU DO ZBIORU ZIEMNIAKÓW

Streszczenie

W publikacji przedstawiono analizę procesu separacji mieszaniny technologicznej na górcie palcowej oddzielacza łąt kombajnu do zbioru ziemniaków. Uwzględniono wpływ różnic właściwości mechanicznych poszczególnych komponentów na proces separacji

Słowa kluczowe: zbiór ziemniaków, kombajn, separacja, właściwości mechaniczne ziemniaków, gleba, resztki roślinne

Wprowadzenie

Jedną z rezerw zwyżki jakości zbioru ziemniaków przy zbiorze kombajnowym jest poprawa procesu separacji brył gleby na górcie palcowej. Zdolność separującą górki palcowej można zwiększyć przez wykorzystanie całego kompleksu mechanicznych właściwości według, których zachodzi rozdzielanie bulw ziemniaka i brył gleby a szczególnie różnicy: mas, sprężystości i współczynnika tarcia.

W tym celu należy zoptymalizować parametry zespołu podającego, najczęściej transportera przenośnikowego i górki palcowej, a także określić ich wzajemne położenie.

Materiał, metody, wyniki badań

W kombajnach i kopaczkoładowaczach do zbioru ziemniaków jakość rozdziału mieszaniny technologicznej w znacznym stopniu zależy od toru lotu ziemniaków i brył gleby po oderwaniu się od zespołu podającego, tj. od różnicy między wzdłużnymi współrzędnymi punktów padania rozdzielanych komponentów na powierzchni górki palcowej.

Odległość ta będzie zależeć od prędkości początkowych brył V_g i ziemniaków V_z . Prędkości V_g i V_z są funkcjami kąta nachylenia transportera podającego α i prędkości jego przenośnika U [3]. Dla określenia zależności $V_g(\alpha, U)$ i $V_z(\alpha, U)$ przeprowadzono badania laboratoryjne na stanowisku zbudowanym z przenośnika podającego i górkę palcowej.

Na podstawie badań wstępnych określono zakresy wariacji parametrów α i u odpowiednio $\alpha = 0 \dots 8^\circ$ i $U = 0,94 \dots 1,46$ m/s. Kodowane wartości X_1 i X_2 parametrów α i u określono z zależności (1).

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{(\alpha - 4)}{4} \\ X_2 &= \frac{(U - 1,2)}{0,26} \end{aligned} \quad (1)$$

Przeprowadzone badania pokazały, że wartości prędkości brył gleby pokrywają się z prędkością przenośnika podającego $V_g = U$. Z uwzględnieniem zależności (1) otrzymano adekwatne modele wielkości V_g i V_z .

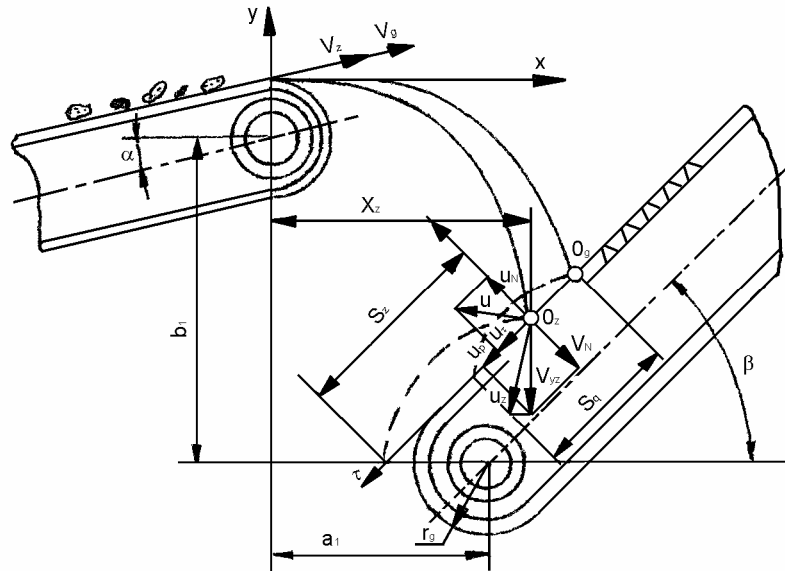
$$\left. \begin{aligned} V_g &= 0,26x_2 + 1,20 \\ V_z &= 0,45 - 0,37x_1 + 0,18x_2 + 0,08x_2^2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Po wprowadzeniu funkcji optymalizacji

$$Q = V_g - V_z \quad (3)$$

i podstawieniu wartości V_g i V_z z równań (2) w zależności (5) przeanalizowano otrzymane wyrażenie na maksimum i otrzymano optymalne wartości odpowiednio $\alpha = 8^\circ$ i $U = 1,4$ m/s. Następnie przeanalizowano proces separacji ziemniaków wg sprężystości i masy w momencie ich padania na powierzchnię górkę (rys. 1).

Proces separacji bulw rozpoczyna się w momencie ukośnego uderzenia ziemniaków i brył gleby o powierzchnię górkę palcowej.



Rys. 1. Warunki separacji ziemniaków wg sprężystości

Fig. 1. Conditions for potato separation according to elasticity

Dzięki różnym wartościom współczynników sprężystości i tarcia badanych komponentów różniących się masą, odległości lotu współmiernych ziemniaków i grudek gleby po uderzeniu będą niejednakowe $S_g > S_g'$. Zależność tę można zapisać następująco:

$$S_g < S_g' = \frac{2U_{Nz}U_{rz}}{g \cos \beta} + \frac{2U_{Nz}^2}{g} \cdot \frac{\operatorname{tg} \beta}{\cos \beta} \quad (4)$$

$$U_{Nz} = \frac{\varepsilon_z - K_z}{tK_z} \left[V_{xz} \sin(\alpha + \beta) - \frac{gX_z}{V_{xz}} \cdot \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} \right] \quad (5)$$

$$U_{rz} = (1 - \lambda_z) \left[V_{xz} \cos(\alpha + \beta) + \frac{gX_z}{V_{xz}} \cdot \frac{\sin \beta}{\cos \alpha} \right] \quad (6)$$

$$X_z = \frac{V_{xz} \cos \alpha}{g} \left[\sqrt{\mu^2 V_2^2 \cos^2 \alpha + 2g(atg\beta + b)} - \mu V_z \cos \alpha \right] \quad (7)$$

gdzie:

$$\varepsilon = \frac{m}{M}$$

- m – masa ziemniaka,
 M – masa górnej części przenośnika górki palcowej,
 $V_{xz} = V_z \cos \alpha$ – prędkość ziemniaka wzdłuż osi OX ,
 α i β – kąty nachylenia przenośnika podającego i górki palcowej,
 K_z – współczynnik sprężystości,
 λ_z – współczynnik tarcia chwilowego przy uderzeniu ziemniaka o powierzchnię górki palcowej,
 $\mu = \operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha$,

gdzie:

- a_1, b_1 – parametry (konstrukcyjne) ustawienia górki palcowej względem przenośnika podającego.

Dla skutecznej separacji ziemniaków wg sprężystości i masy górkę palcową należy usytuować w odległości $a_{1opt.}$ wzdłużnie. Odległość tę można wyznaczyć z zależności 8:

$$[X_z - (r_g + z) \cos \beta] < (X_z - S_g \cos \beta) > a_{1opt.} > (X_z - S_z \cos \beta) \quad (8)$$

gdzie:

- S_g – odległość odbicia brył gleby,
 r_g – promień wału napędowego górki z uwzględnieniem wysokości pałców,
 Z – martwa strefa górki palcowej.

Rozwiązanie równań 4, 5, 6, 7 i 8 daje $a_{1opt.} = 0,22$ m. Wysokość b_1 pozostaje bez zmian.

Ziemniaki pozostające po odbiciu na powierzchni górki palcowej będą podnoszone w górę wraz z bryłami gleby. W tym momencie na bezwzględną prędkość ziemniaków U_z będą miały wpływ względna prędkość odbicia U_τ i prędkość uwarunkowana przyspieszeniem centrum masy ziemniaka U_σ oraz prędkość przemieszczania powierzchni górki V_p

$$U_z = V_p - (U_\tau + U_\sigma) \quad (9)$$

Odpowiednio przemieszczenie ziemniaka po powierzchni górki będzie:

$$X_z = X_p - (X_\tau + X_\sigma) \quad (10)$$

gdzie:

X_p – przemieszczenie powierzchni górkę w czasie t ,

X_τ – przemieszczenie ziemniaka po odbiciu,

X_ω – przemieszczenie brył pod wpływem przyspieszeń centrum masy.

Na podstawie badań Pietrowa [1984] przyspieszenie centrum masy ziemniaka można określić z zależności:

$$a_\omega = \frac{5}{7} g \cos \beta (tg \beta - tg \varphi_z) \quad (11)$$

gdzie:

φ_z – kąt tarcia tocznego ziemniaka o powierzchnię górkę.

Wtedy wartość przemieszczenia ziemniaka w górną strefę górkę w czasie t można określić z zależności:

$$T = (V_p - U_\tau)t - \frac{5}{14} g \cos \beta (tg \beta - tg \varphi) t^2 \quad (12)$$

Rozwiązanie równania (12) pokazuje, że maksymalne przemieszczenie dużych bulw $T_{\max} = 0,21 \text{ m}$.

Po osiągnięciu tej wartości ziemniaki będą staczać się w dolną strefę górkę, tzn. na odcinku T_{\max} powierzchni górkę będzie zachodzić rozdział ziemniaków od gleby wskutek różnicy właściwości frakcyjnych.

Ziemniaki o nieregularnym, złożonym kształcie, które nie oddzieliły się od brył ziemi mogą zostać wyniesione poza górkę, co mogłoby spowodować dodatkowe straty plonu.

Stratom tym przeciwdziałać ma usytuowany w górnej części górkę palcowej odrzutnik krzywkowy, zbudowany z krzywek i rolek. Odrzutnik zamontowano od wewnętrznej strony górkę palcowej. Odległość zamontowania odrzutnika określono z zależności:

$$l = T_{\max} + S_z - (r + z) \cos \beta + c \quad (13)$$

gdzie:

c – długość krzywki.

Na podstawie zależności (13) otrzymujemy $l = 0,6 - 0,7$ m.
 Przy współdziałaniu krzywki i rolki (rys. 2) zachodzi podzcut powierzchni górki z prędkością

$$V_h = \sqrt{V_\eta^2 + V_\varepsilon^2} \quad (14)$$

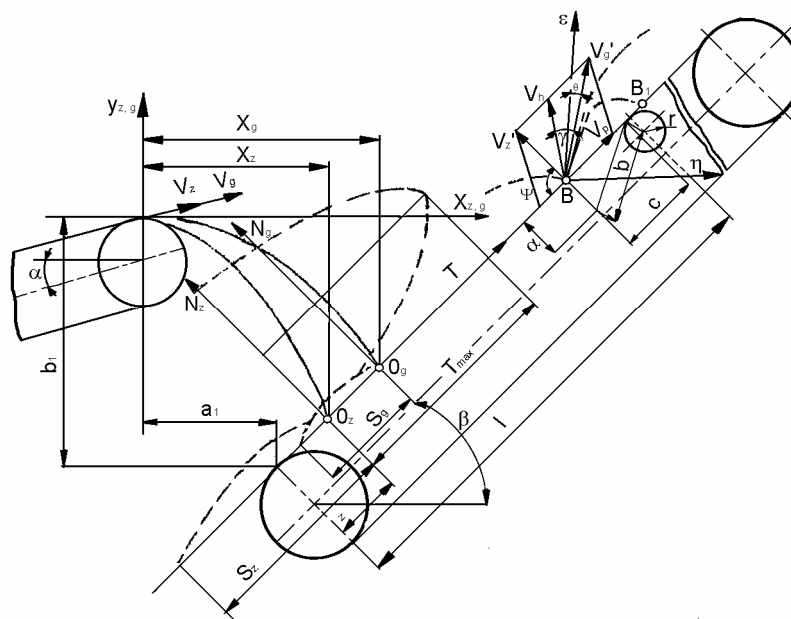
gdzie:

$$V_\eta = V_p \cos^2 \beta - (a+b) \cos \beta \sin \gamma \frac{d\gamma}{dt} + V_p \sin^2 \beta + (a-b) \sin \beta \cos \gamma \frac{d\gamma}{dt} \quad (15)$$

$$V_\varepsilon = V_p \cos \beta \sin \beta + (a+b) \sin \beta \sin \gamma \frac{d\gamma}{dt} + V_p \sin \beta \cos \beta + (a-b) \cos \beta \cos \gamma \frac{d\gamma}{dt} \quad (16)$$

gdzie:

- r – promień rolki,
- a, b – wymiary krzywki, Ψ
- α_k – kąt roboczy krzywki.



Rys. 2. Proces rozdzielania ziemniaków i brył gleby wg kompleksu właściwości mechanicznych

Fig. 2. The process of separating potatoes from earth lumps, according to mechanical properties complex

Następnie określono początkowe prędkości ziemniaka i brył gleby w momencie oderwania się od powierzchni górki przy założeniu, że prędkość V_{az} skierowana jest w dół górki a prędkość V_{ag} brył gleby równa prędkości powierzchni górki skierowana w górę.

Wtedy prędkość ziemniaka w momencie podrzutu będzie równa sumie geometrycznej prędkości powierzchni górki V_h w punkcie B i prędkości toczenia ziemniaka w dół V_{az} .

$$V_z' = \sqrt{[V_h - V_{az} \sin(\beta + \Theta)]^2 + V_{az}^2 \cos^2(\beta + \Theta)} \quad (17)$$

Kierunek prędkości V_z' będzie określony kątem rzutu Ψ a prędkości V_g' kątem Θ .

$$\Psi = \left(\frac{\pi}{2} + \Theta \right) - \gamma, \quad (18)$$

gdzie:

Θ – kąt określany graficznie po wyznaczeniu toru ruchu punktu B przy współdziałaniu krzywki z rolką, a γ z zależności 19.

$$\gamma = \arctg \left[\frac{V_{az} \cos(\beta + \Theta)}{V_h - V_{az} \sin(\beta + \Theta)} \right] \quad (19)$$

Przy znanych wartościach V_z' , V_g' i kątów Ψ , Θ ruch ziemniaków i brył względem osi współrzędnych $\eta O \varepsilon$ można opisać następującymi równaniami:

$$\eta_z = V_z' t \cos \Psi; \quad \varepsilon_z = V_z' t \sin \Psi - \frac{gt^2}{2} \quad (20)$$

$$\eta_g = V_h' t \sin \Theta; \quad \varepsilon_g = V_h' t \cos \Theta - \frac{gt^2}{2} \quad (21)$$

W związku z tym, że $V_h > V_z'$ i $\sin \Theta > \cos \Psi$ rozdział komponentów będzie następujący: ziemniaki w dół górki a bryły w jej górę. Przedstawiona koncepcja została potwierdzona badaniami laboratoryjnymi.

Przeanalizowano zależność:

$$Z, P = f(\beta, A, V_p) \quad (22)$$

gdzie:

- Z – poziom zanieczyszczeń (czystość plonu),
- P – straty plonu,
- β – kąt nachylenia górkę (X_1),
- A – amplituda wstrząsania powierzchni górkę (X_2),
- V_p – prędkość powierzchni górkę (X_3).

Otrzymano analityczny model separacji ziemniaków na górcę palcowej w postaci następujących równań regresji:

$$Z = 57,2 - 2,1X_1 - 1,8X_2 - 2,2 X_3^2 - 1,2X_2 X_3 \quad (23)$$

$$P = 0,65 - 0,2X_1 + 0,3X_2 + 0,2X_1X_3 - 0,2 X_2X_3 \quad (24)$$

Podsumowanie

Analiza otrzymanych wyników pozwoliła stwierdzić, że kąt nachylenia górkę (X_1) wpływa znacząco na czystość plonu a mniej na jego straty. Wraz ze zwiększaniem β oba wskaźniki zmniejszają swoją wartość.

Znacząco na proces separacji wpływają prędkość robocza powierzchni górkę (X_3) i amplituda jej wstrząsania (X_2), przy czym wpływ ten nie jest liniowy. A zatem istnieje ich optimum, kiedy czystość plonu jest maksymalna a straty minimalne. Różniczkując równania 23 i 24 po zmiennych X_2 i X_3 przy kącie nachylenia górkę $\beta = 45^\circ$ otrzymujemy wartości $X_2 = 0,0624$ i $X_3 = -0,19$ co odpowiednio daje $A = 13,6$ mm i $V_p = 1,01$ m/s.

Przy powyższych optymalnych wartościach $A_{opt.} = 13,6$ mm i $V_p = 1,01$ m/s czystość plonu wynosiła 88,7% a straty plonu zmniejszyły się o 4,5% i nie przekroczyły 7,1%.

Bibliografia

- Mielnikow S.W. 1980. Planирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Ленинград, Колос.
- Pietrow G.D. 1984. Kartoffelieborschneidemaschinen. Maschinostrojenije, Moskwa.
- Gach S. i in. 1991. Maszyny rolnicze, Elementy teorii i obliczeń. Wyd. SGGW SGGW-Wa.
- Tanaś W. 2001. Rozробotka niekotorich rekomendacji po rieszeniju koncepcji powyszenija proizvodstwa kartofielia i owoszczej. BGATU, Mińsk.

TECHNOLOGICAL MIXTURE SEPARATION PROCESS ON PIN HUMP IN POTATO HARVESTER

Summary

The work presents analysis of the technological mixture separation process on haulm separator pin hump in potato harvester. The researchers took into account the effect of differences in mechanical properties of individual components on the separation process.

Key words: potato harvest/crop, harvester, separation, mechanical properties of potatoes, soil, crop residue