

WPŁYW KINEMATYCZNYCH PARAMETRÓW MECHANIZMU WSTRZĄSAJĄCEGO GÓRKI PALCOWEJ NA EFEKTYWNOŚĆ SEPARACJI

Wojciech Tanaś

Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. W publikacji przedstawiono jedną z możliwości intensyfikacji separacji na górcie palcowej, wyposażonej w mechanizm wstrząsający. Określono jej parametry robocze i oceniono ich wpływ na efektywność separacji mieszaniny technologicznej. Stwierdzono istotny statystyczny wpływ prędkości roboczej górkii palcowej oraz jej kąta nachylenia i amplitudy wstrząsania na jakość separacji.

Słowa kluczowe: kombajn ziemniaczany, górka palcowa, mechanizm wstrząsający, separacja

Wprowadzenie

Jedną z możliwości doskonalenia pracy kombajnów jest zwiększenie zdolności separującej jego zespołów roboczych [Lisowski 1999]. W większości kombajnów do zbioru ziemniaków mieszanina technologiczna separowana jest na przenośnikach prętowych a w końcowej fazie na górcie palcowej zespołów oddzielających lęty [Tanaś 2001].

Górka palcowa ma możliwości regulacji kąta nachylenia β w granicach 35 ...55°. W celu ograniczenia strat ziemniaków w czasie zbioru, kąt nachylenia nastawia się na maksymalną wartość. Prowadzi to jednak do wzrostu poziomu zanieczyszczeń plonu, szczególnie bryłami gleby. Skutkiem tego procesu czystość plonu jest ograniczona i nie odpowiada wymaganiam agrotechnicznym [Marks i in. 1997].

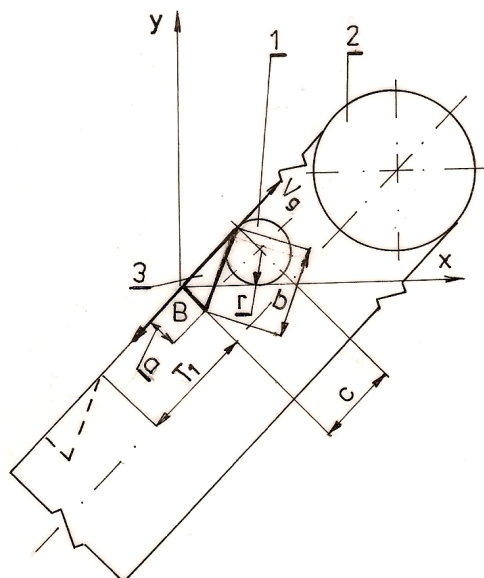
Biorąc pod uwagę to, że górka palcowa jest jednym z droższych zespołów roboczych kombajnu, nie można ograniczyć jej roli tylko do czynnika zwiększającego czystość plonu [Tanaś i Zawierucha 2006]. W związku z tym potrzeba udoskonalenia konstrukcji górkii palcowej w celu intensyfikacji procesu separacji na jej powierzchni. W tym celu przeprowadzono modernizację seryjnej górkii palcowej (rys. 1). Przenośnik podający masę technologiczną z prędkością 1,4 m·s⁻¹ ustawiono po kątem 8°.

Materiał i metody

Badania przeprowadzono na ziemniakach odmiany Sante, zgodnie z założeniami metodycznymi zawartymi w pracy [Tanaś 2001; Pabis 1985; Mielnikow 1980] podczas zbioru kombajnem KSK-4-1. Charakterystykę oraz warunki pracy kombajnu przedstawiono

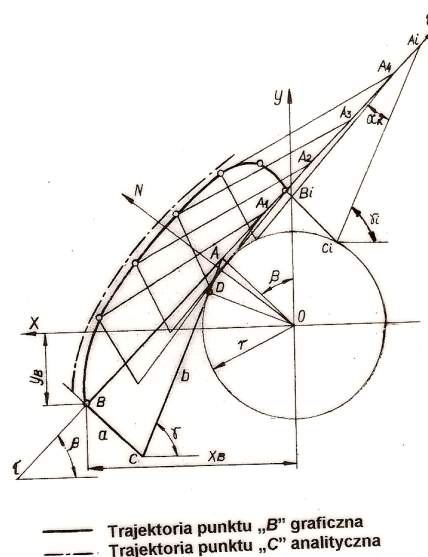
w pracy Tanaś i Zawierucha [Tanaś i Zawierucha 2006]. Na wewnętrznej stronie górkii palcowej przytwierdzono po trzy rzędy krzywek. Odległość między krzywkami w rzędzie wynosiła $t=0,16$ m a długość krzywki $c=0,065$ m. Dla swobodnego przejścia krzywek wały górkii palcowej mają konstrukcję pierścieniową. W górnej części górkii palcowej ustawiono wał z rolkami o promieniu $r = 0,03$ m z mechanizmem umożliwiającym zmianę amplitudy A wstrząsania powierzchni górkii poprzez zmianę położenia wału wraz z rolkami.

W wyniku powyższej modernizacji bryły gleby powinny zostać rozbite a podrzucone ziemniaki przez mechanizm krzywkowy muszą trafić na przenośnik wyładowniczy kombajnu (rys. 2).



Rys. 1. Schemat mechanizmu wstrząsającego powierzchnią górkii palcowej: 1 - rolka, 2 - górkia, 3- krzywka

Fig. 1. Diagram showing the mechanism shaking the wide-pitch conveyor surface: 1- roller, 2 - wide-pitch conveyor, 3 - cam



Rys. 2. Kinematyka mechanizmu krzywkowego
Fig. 2. Cam mechanism kinematics

Przy ruchu powierzchni górkii palcowej krzywki nabiegają na rolki, których pozycję można ustalać względem ramy górkii i wykonują ruch złożony w kierunku ON i obrót wokół punktu D . Wierzchołek krzywki A będzie przemieszczał się w kierunku TT a punkt B będzie poruszał się po złożonej nieliniowej trajektorii, którą opisują następujące zależności (1):

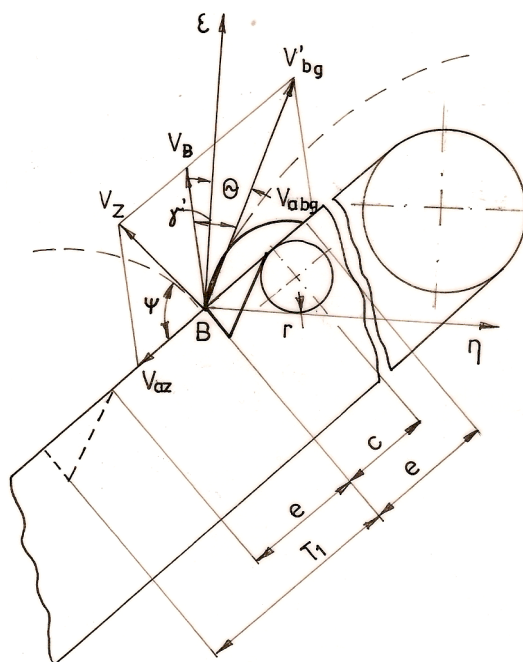
$$\begin{aligned} X_b &= \frac{r \sin \beta}{\cos \alpha_k} - V_g t \cos \beta + (a + b) \cos \left[\arctg \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \alpha_k} + \frac{V_g^2 t^2}{r^2}} - 1 + \arctg \frac{r \operatorname{tg} \beta - V_g t \cos \alpha_k}{r + V_g t \cos \alpha_k} \right]; \\ Y_b &= \frac{r \cos \beta}{\cos \alpha_k} + V_g t \sin \beta + (a - b) \sin \left[\arctg \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \alpha_k} + \frac{V_g^2 t^2}{r^2}} - 1 + \arctg \frac{r \operatorname{tg} \beta - V_g t \cos \alpha_k}{r + V_g t \cos \alpha_k} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

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

$l = 0,6-0,7$ m, – odległość osi rolki od dolnej osi wału napędowego górki.

Pod wpływem powierzchni górki w punkcie „B” ziemniaki i bryły gleby będą podlegały swobodnemu ruchowi dzięki początkowej prędkości w momencie oderwania się od niej. W celu określenia sposobu ruchu ziemniaków i brył gleby odnośnie powierzchni górki początek układu współrzędnych oznaczmy w punkcie „B” i osie współrzędnych jak na rys. 3.



Rys. 3. Trajektorie ruchu punktu „B” (ziemniaków i brył gleby) przy podrzucaniu

Fig. 3. Motion trajectories for point “B” (potatoes and lumps of earth) while tossing them

W nowym układzie $\varepsilon\theta, \eta$ przemieszczenie punktu „B” można zapisać poprzez zależności (2).

$$\eta = \left[\frac{r \sin \beta}{\cos \alpha_k} - V_g t \cos \beta + (a + b) \cos \gamma - l \right] \cos \beta + \left[\frac{r \cos \beta}{\cos \alpha_k} + V_g t \sin \beta + (a - b) \sin \gamma - c \right] \sin \beta \quad (2)$$

$$\varepsilon = \left[\frac{r \sin \beta}{\cos \alpha_k} - V_g t \cos \beta + (a - b) \cos \gamma - l \right] \sin \beta + \left[\frac{r \cos \beta}{\cos \alpha_k} + V_g t \sin \beta + (a - b) \sin \gamma - c \right] \cos \beta$$

Różniczkując zależności (2) otrzymamy prędkości powierzchni górnicy w punkcie „B” w projekcji na osie η i ε .

$$V_\eta = -V_g \cos^2 \beta - (a + b) \cos \beta \sin \gamma \frac{d\gamma}{dt} + V_g \sin^2 \beta + (a - b) \sin \beta \cos \gamma \frac{d\gamma}{dt} \quad (3)$$

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

gdzie:

$$\frac{d\gamma}{dt} = (\sec^2 \alpha_k + 0,5 V_g^2 t^2)^{-1} V_g^2 t + \frac{r \operatorname{tg} \beta - V_g \cos \alpha_k}{r + V_g t \cos \alpha_k} \times \frac{-r V_g \cos \alpha_k (1 - \operatorname{tg} \beta)}{(r + V_g t \cos \alpha_k)^2} \quad (4)$$

Przyśpieszenie powierzchni górnicy w punkcie „B” określono poprzez całkowanie zależności (3).

$$j_\eta = -(a + b) \cos \beta \cos \gamma \frac{d^2 \gamma}{dt^2} - (a + b) \cos \beta \sin \gamma \frac{d^2 \gamma}{dt^2} - (a - b) \sin \beta \sin \gamma \frac{d^2 \gamma}{dt^2} + (a - b) \sin \beta \cos \gamma \frac{d^2 \gamma}{dt^2} \quad (5)$$

$$j_\varepsilon = (a + b) \sin \beta \cos \gamma \frac{d^2 \gamma}{dt^2} + (a + b) \sin \beta \sin \gamma \frac{d^2 \gamma}{dt^2} + (a - b) \cos \beta \cos \gamma \frac{d^2 \gamma}{dt^2} - (a - b) \cos \beta \sin \gamma \frac{d^2 \gamma}{dt^2}$$

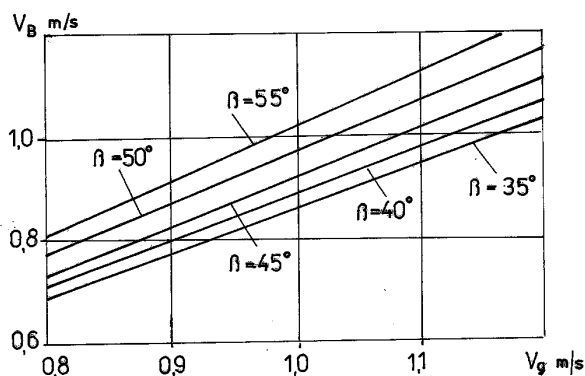
gdzie:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\gamma}{dt^2} = & \{ -(\sec^2 \alpha_k + 0,5V_g^2 t^2)^{-2} + (\sec^2 \alpha_k + 0,5V_g^2 t^2)^{-1} V_g^2 \} \times \left[1 + \left(\frac{rtg\beta - V_g t \cos \alpha_k}{r + V_g t \cos \alpha_k} \right)^2 \right]^{-1} \times \\ & \times \frac{-rV_g \cos \alpha_k (1 - tg\beta)}{(r + V_g t \cos \alpha_k)^2} + (\sec^2 \alpha_k + 0,5V_g^2 t^2)^{-1} V_g^2 t \left[1 + \left(\frac{rtg\beta - V_g t \cos \alpha_k}{r + V_g t \cos \alpha_k} \right)^2 \right]^{-2} \times \\ & \times \frac{2r(1 + tg\beta)V_g \cos \alpha_k (rtg\beta - V_g t \cos \alpha_k)}{(r + V_g t \cos \alpha_k)^3} \times \frac{-rV_g \cos \alpha_k (1 - tg\beta)}{(r + V_g t \cos \alpha_k)^2} + (\sec^2 \alpha_k + 0,5V_g^2 t^2)^{-1} V_g^2 t \times \\ & \times \left[1 + \left(\frac{rtg\beta - V_g t \cos \alpha_k}{r + V_g t \cos \alpha_k} \right)^2 \right]^{-1} \times \frac{2rV_g^2 \cos^2 \alpha_k (1 - tg\beta)(r + V_g t \cos \alpha_k)}{(r + V_g t \cos \alpha_k)^4} \end{aligned} \quad (6)$$

Na podstawie równań (3) otrzymano wykresy zależności i absolutnej prędkości powierzchni górkę w punkcie „B”, przy różnych parametrach mechanizmu krzywkowego.

$$V_B = \sqrt{V_\eta^2 + V_\varepsilon^2} \quad (7)$$

Na rys. 4 przedstawiono wykresy zależności V_B (V_g , β).

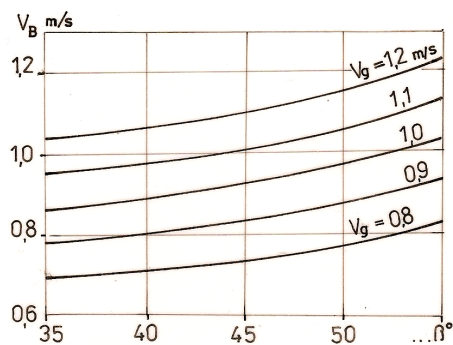


Rys. 4. Wykresy zależności $V_B = \circ(V_g)$

Fig. 4. Diagrams of the relation: $V_B = \circ(V_g)$

Zależność $V_B = \circ(V_g)$ ma charakter liniowy. Ze zwiększeniem prędkości górkę V_g i kąta jej nachylenia β rośnie prędkość punktu „B”.

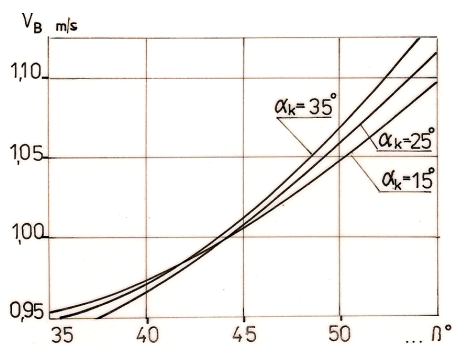
Zależność $V_B = \circ(\beta)$ przebiega parabolicznie, wypukłe w dół (rys. 5).



Rys. 5. Wykresy zależności $V_B = \circ(\beta)$

Fig. 5. Diagrams of the relation: $V_B = \circ(\beta)$

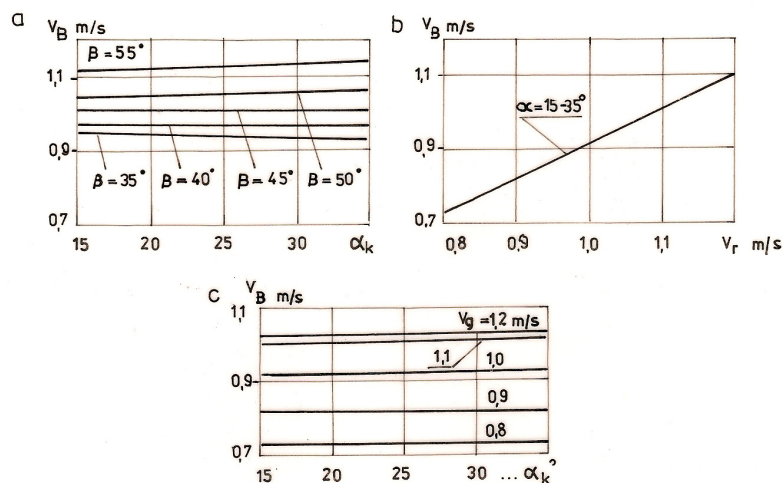
Zależności prędkości V_B od kąta roboczego krzywki α_k pokazano na rys. 6 i 7.



Rys. 6. Wykresy zależności $V_B = \circ(\beta, \alpha_k)$

Fig. 6. Diagrams of the relation: $V_B = \circ(\beta, \alpha_k)$

Z przeprowadzonej analizy wynika, że na prędkość V_B znaczący wpływ wywierają prędkość górnicy V_g i kąt jej nachylenia β . Ze zmniejszeniem kąta β należy zwiększać prędkość V_g .



Rys. 7. Zależności: a- $V_B(\alpha_k, \beta)$; b- $V_B(\alpha_k, V_g)$; c- $V_B(V_g, \alpha_k)$

Fig. 7. Relations $V_B(\alpha_k, \beta)$; b- $V_B(\alpha_k, V_g)$; c- $V_B(V_g, \alpha_k)$

Przy założeniu, że ziemniaki staczają się po powierzchni góry w dół z prędkością V_{az} a prędkość brył gleby V_{abg} równa jest prędkości góry V_g , wielkość prędkości ziemniaka V'_z w momencie podrzutu można wyznaczyć z zależności 8.

$$V'_z = \sqrt{V_B - V_{az} \sin(\beta + \Theta)^2 + V_{az}^2 \cos^2(\beta + \Theta)} \quad (8)$$

Prędkość początkowa brył gleby w momencie podrzutu będzie:

$$V'_{bg} \approx V_B \quad (9)$$

Prędkość V'_z i V'_{bg} skierowane będą odpowiednio pod kątami ψ i Θ .

$$\Psi = \frac{\Pi}{2} + \Theta - \gamma \quad (10)$$

gdzie:

Θ - określono graficznie, a

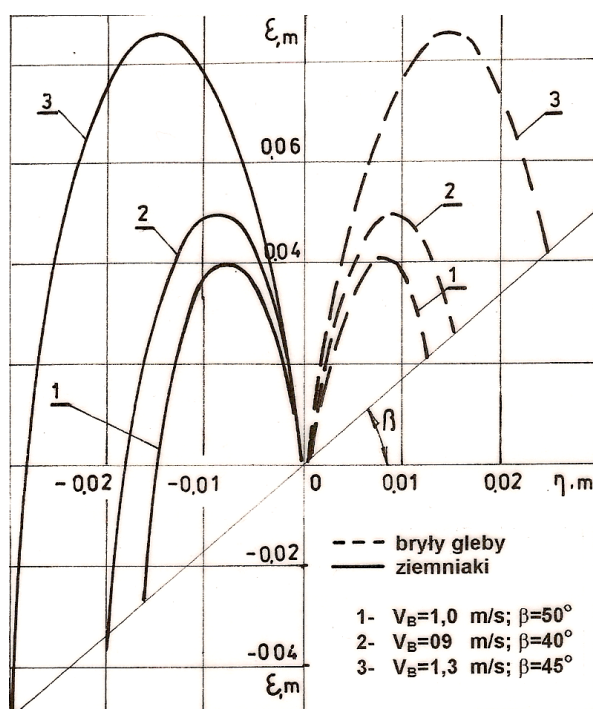
$$\gamma' = \arctg \frac{V_{az} \cos(\beta + \Theta)}{V_B - V_{az} \sin(\beta + \Theta)} \quad (11)$$

Przy znanych początkowych prędkościach V'_z , V'_{bg} i kątach podrzutu ψ i Θ ruch ziemniaków i brył gleby odnośnie osi współrzędnych $\eta O \varepsilon$ można opisać następującymi zależnościami:

$$\eta_z = V'_z t \cos \psi; \quad \varepsilon_z = V'_z t \sin \psi - \frac{gt^2}{2} \quad (12)$$

$$\eta_{bg} = V_B t \sin \Theta; \quad \varepsilon_{bg} = V_B t \cos \Theta - \frac{gt^2}{2}$$

Na podstawie zależności (11) otrzymano trajektorie ziemniaków i brył gleby przy podrzucie (rys. 8).



Rys. 8. Separacja ziemniaków przy wstrząsaniu powierzchni górki

Fig. 8. Separation of potatoes while shaking the wide-pitch conveyor surface

Z rys. 8 wynika, że przy wstrząsaniu powierzchni roboczej górki palcowej mechanizmem krzywkowym zachodzi skuteczny rozdział komponentów; ziemniaki staczają się w dół górki, a bryły gleby i resztki roślinne wynoszone są przez górną część górki na pole za maszynę zbierającą.

Jednym z czynników mających wpływ na charakter pracy mechanizmu wstrząsania jest wysokość podrzutu, szczególnie gdy jest ona ograniczona od góry np. przenośnikiem oddzielacza łęt. Może wtedy dojść do zakłóceń w procesie rozdzielania komponentów.

Najwyższe położenie ziemniaki zajmują w punkcie η_1 , a bryły gleby η_2 , gdy pionowa projekcja prędkości będzie równa zero, czyli komponenty będą spadać.

W wyniku różniczkowania zależności (12) otrzymano:

$$\begin{aligned} V_{\varepsilon Z} &= V_Z \sin \psi - g t_1' = 0 \\ V_{\varepsilon b g} &= V_S \cos \Theta - g t_1'' = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

gdzie:

V_s – prędkość spadania.

Z zależności (13) otrzymano wyrażenia określające czas początku spadania.

$$\begin{aligned} t_1' &= \frac{V_Z \sin \psi}{g} \\ t_1'' &= \frac{V_S \cos \Theta}{g} \end{aligned} \quad (14)$$

Podstawiając wartości t_1' i t_1'' w zależności (13) otrzymano współrzędne ziemniaków i brył gleby w momencie spadku na powierzchnię górkę po podrzucie (15).

$$\eta_Z = \frac{V_Z^2 \sin \psi \cos \psi}{g} = -\frac{V_Z^2 \sin 2\psi}{2g}; \quad \varepsilon_{1Z} = \frac{V_Z^2 \sin^2 \psi}{2g} \quad (15)$$

$$\eta_{1bg} = \frac{V_S^2 \sin 2\Theta}{g}; \quad \varepsilon_{1bg} = \frac{V_S^2 \cos^2 \Theta}{2g}$$

Na podstawie zależności (15) określono optymalną wysokość spadania ziemniaków na górkę h_z :

$$h_z = \varepsilon_{1Z} + \eta_{1Z} \operatorname{tg} \beta \quad (16)$$

W celu minimalizacji uszkodzeń ziemniaków przy spadaniu na górkę należy wypełnić warunek (17):

$$\sqrt{2gh_z} \leq |V_Z| \quad (17)$$

gdzie:

$|V_Z| = 2,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ – dopuszczalna prędkość zderzenia ziemniaków [Pietrow 1982].

Optymalna odległość między krzywkami T_1 (rys. 3) wynika z warunku:

$$T_1 = e + c \text{ lub } T_1 = 2c + r \quad (18)$$

gdzie:

- c – długość krzywki,
- $e \approx c + r$ – długość łuku, utworzonego punktem „B”,
- r – promień rolki wstrząsającej.

Jeżeli $T_1 > 2c + r$, to część ziemiaków będzie przechodzić nad mechanizmem wstrząsającym, ale bez podrzutu, a jeśli $T_1 < 2c + r$, to powierzchnia górkki nie będzie opuszczać się na rolkę i proces podrzucania będzie niemożliwy.

W celu określenia efektywności modernizacji górkki palcowej przeprowadzono laboratoryjno-polowe badania kombajnu KSK-4-1 wyposażonego w modernizowaną górkę palcową. Na podstawie uzyskanych wyników badań polowych przeprowadzono analizę zależności:

$$Z, P = f(\beta, A, V_g) \quad (19)$$

gdzie:

- β – kąt nachylenia górkki (X_1),
- A – amplituda wstrząsania (X_2),
- V_g – prędkość robocza powierzchni górkki (X_3),
- $Z - Y_1$, – czystość plonu,
- $P - Y_2$, – poziom strat.

Realizacja badań polowych pozwoliła na otrzymanie równań regresji opisujących proces separacji na górkce palcowej.

$$Y_1 = 84,81 + 7,8X_1 - 2,9X_2 - 3,0X_3 - 4,3X_1^2 - 10,9X_2^2 - 7,0X_3^2 \quad (20)$$

$$Y_2 = 7,1 - 5,2X_1 - 3,5X_2 - 1,1X_3 + 3,5X_2^2 + 1,9X_1X_2 \quad (21)$$

W wyniku różniczkowania zależności (18) i (19) otrzymano optymalne wartości parametrów pracy zmodernizowanej górkki, przy których czystość plonu Z jest maksymalna a straty bulw P minimalne:

$$\begin{aligned} \text{dla: } Z_{max} &= 88,9\% \text{ dla: } P_{min} = 3,0\% \\ \beta_{opt} &= 40,4^\circ \quad \beta_{opt} = 50^\circ \\ A_{opt} &= 11,8 \text{ mm} \quad A_{opt} = 15 \text{ mm} \\ V_{g_{opt}} &= 1,02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad V_{g_{opt}} = 0,89 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}. \end{aligned}$$

Podsumowanie

Z analizy przytoczonych parametrów widać, że zdolność separującą górkki palcowej można zwiększyć poprzez zmianę wartości amplitudy A i prędkości V_g . Poprzez zmianę kąta nachylenia górkki β cel ten osiągnąć jest trudniej, gdyż między czystością plonu a jego stratami zachodzi związek zwrotny.

W celu obniżenia strat bulw do minimum należy kąt β zwiększyć do 45° , a amplitudę wstrząsania do $A = 13$ mm. Przy takich parametrach pracy zmodernizowanej górkę czystość plonu wynosiła $Z = 85,1\%$, straty $P = 7,4\%$ a w seryjnej odpowiednio $Z_s = 80\%$ i $P_s = 16\%$.

Zastosowanie zmodernizowanej górkę palcowej w kombajnie KSK-4-1 pozwoliło obniżyć nakłady pracy o 220 rbh a całkowite koszty zbioru i obróbki pozbiorowej o 10 528 złotych z modelowej plantacji o powierzchni 100 ha.

Bibliografia

- Lisowski A.** 1999. Modele matematyczne opisujące pracę agregatu do zbioru ziemniaków. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej 6. s. 17-20.
- Marks N., Baran D., Baran P., Krzysztofik B., Sobol Z.** 1997. Wpływ nowej techniki uprawy na powstawanie mechanicznych uszkodzeń bulw ziemniaka podczas zmechanizowanego zbioru. Inżynieria Rolnicza Nr 1. s. 71-76.
- Mielnikow S.W.** 1980. Planowanie eksperymentu w badaniach sielskochozajstwiennych procesów. Leningrad, Kolos. s. 69-99.
- Pabis S.** 1985. Metodologia i metody nauk empirycznych. PWN, Warszawa, ISBN 83-0105256-2.
- Tanaś W.** 2001. Rozwinięcie niektórych rekomendacji po rozwinięciu koncepcji podwyższenia produkcji kartofla i owość. BGTU. Mińsk. s. 36-86.
- Tanaś W., Zawierucha M.** 2006. Proces separacji mieszaniny technologicznej na górkę palcowej kombajnu do zbioru ziemniaków. Inżynieria Rolnicza. Nr 12(87). s. 501-509.

THE IMPACT OF KINEMATIC PARAMETERS OF THE SHAKING MECHANISM IN THE WIDE-PITCH CONVEYOR ON THE SEPARATION PROCESS EFFICIENCY

Abstract. The publication presents one of the possible ways to intensify separation process in the wide-pitch conveyor equipped with shaking mechanism. The research allowed to determine its working parameters and evaluate their impact on the efficiency of process mixture separation. The research proved significant statistical impact of the wide-pitch conveyor working speed and its inclination angle and shaking amplitude on separation process quality.

Key words: potato harvester, wide-pitch conveyor, shaking mechanism, separation

Adres do korespondencji:

Wojciech Tanaś; e-mail: wojciech.tanas@ar.lublin.pl
Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Głęboka 28
20-612 Kraków

