

Volodymir Bulgakov*, Janusz Nowak**, Wojciech Przystupa**

*Narodowy Uniwersytet Rolniczy w Kijowie

**Akademia Rolnicza w Lublinie

ODDZIAŁYWANIE WYORYWACZA POLDEROWEGO NA KORZEŃ BURAKA CUKROWEGO

Streszczenie

W pracy przedstawiono model matematyczny wyorywacza lemieszowego uwzględniający jego parametry kinematyczne i geometryczne. Przedstawiono rozkład sił działających na burak i lemieszę podczas procesu wyorywania. Wyprowadzono wyrażenia na prędkość roboczą maszyny i czas wydobywania buraka z gleby.

Słowa kluczowe: model matematyczny, burak cukrowy, wyorywacz lemieszowy

Wykaz oznaczeń

- β, γ, θ – kąty charakteryzujące przestrzenne usytuowanie lemieszey,
 f – współczynnik tarcia ślizgowego gleby po powierzchni roboczej lemieszey,
 f_1 – współczynnik tarcia buraka o lemieszę,
 g – przyspieszenie grawitacyjne [$m \cdot s^{-2}$],
 V – prędkość ruchu maszyny [$m \cdot s^{-1}$],
 ρ – gęstość właściwa gleby [$kg \cdot m^{-3}$],
 m – masa buraka [kg],
 G – ciężar pasa gleby wraz z korzeniem [N],
 a, b – wymiary poprzecznego przekroju pasa gleby [m],
 \bar{a} – przyspieszenie wydobywania korzenia buraka z gleby [$m \cdot s^{-2}$],
 G_k – ciężar korzenia buraka [N],
 \bar{R}_x, \bar{R}_z – pozioma i pionowa składowa siły oporu \bar{R} związania korzenia z glebą [N],
 \bar{F}_1, \bar{F}_2 – siły tarcia [N],
 t – czas [s],
 t_1 – czas wydobywania buraka z gleby [s],

- x_o – współrzędna położenia buraka [m],
 h – głębokość usytuowania korzenia buraka w glebie [m],
 η – jednostkowy współczynnik oporu gleby [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$],
 V_1 – prędkość w końcowym momencie wyciągania t_1 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].

Wprowadzenie

Doskonalenie konstrukcji maszyn do zbioru korzeni buraków cukrowych wymaga szczególnego zwrócenia uwagi na zespół wyorywujący [Karwowski 1982]. Jego funkcjonowanie decyduje w znacznym stopniu o jakości uzyskiwanego plonu, który oceniany jest również pod względem poziomu uszkodzeń powstałych podczas zbioru. Znajomość warunków wyorywania korzeni buraków z gleby pozwala na optymalizację pracy zespołów roboczych. W prezentowanej pracy przedstawiono dokładne wyprowadzenie równań ruchu buraka cukrowego podczas wyorywania, które były wykorzystane w pracy [Bułhakow i in. 2003].

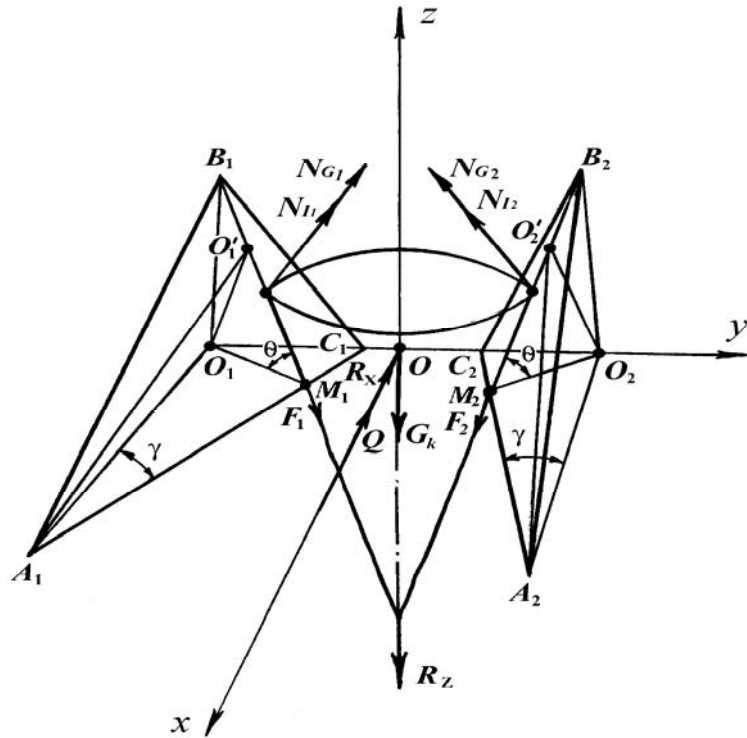
Rozkład sił działających na korzeń buraka cukrowego i lemiesz

Na rys. 1. przedstawiono siły działające na korzeń buraka i lemiesz. Na powierzchni robocze lemiesz $A_1B_1C_1$ i $A_2B_2C_2$ działa siła ciężkości \bar{G} pasa gleby wraz z korzeniem buraka. Zakładamy, że siła ciężkości rozkłada się jednakowo na oba lemiesz maszyny, to jest $G_1 = G_2 = \frac{1}{2}G$. Siły \bar{G}_1 i \bar{G}_2 powodują składowe statyczne normalnych reakcji ze strony powierzchni roboczych lemiesz. Nazwijmy części tych reakcji odpowiednio \bar{N}_{G1} i \bar{N}_{G2} . Poza tym na skutek ruchu pasa gleby po wskazanych powierzchniach, od wspomnianych sił ciężaru \bar{G}_1 i \bar{G}_2 powstają składowe siły tarcia \bar{F}_{G1} i \bar{F}_{G2} . Składowe normalne reakcji powierzchni lemiesz, które powstają na skutek działania siły ciężkości G pasa gleby wraz z korzeniem buraka, będą wynosiły [Zaika 2001]:

$$N_{G1} = N_{G2} = \frac{G}{2(\cos \theta - f \sin \theta \sin \gamma)} \quad (1)$$

Część sił tarcia, jakie powstają przy ruchu skiby ziemi z korzeniem buraka na skutek działania siły ciężkości G , będzie wynosiła:

$$F_{G1} = F_{G2} = \frac{Gf}{2(\cos \theta - f \sin \theta \sin \gamma)} \quad (2)$$



Rys. 1. Siły oddziałujące na korzeń buraka i lemieszce
 Fig. 1. Forces acting on the beet root and the shares

Ponadto, na powierzchni robocze lemieszki oddziałują siły bezwładności \bar{I}_1 i \bar{I}_2 poruszającego się pasa gleby.

$$I_1 = I_2 = \frac{2ab \cdot \rho}{g} \cdot V^2 \sin \frac{\theta}{2} \sin \gamma \quad (3)$$

Siły bezwładności \bar{I}_1 i \bar{I}_2 poruszającego się pasa gleby z korzeniem buraka spowodują składowe dynamiczne normalnych reakcji \bar{N}_{11} i \bar{N}_{12} . Składowe normalnych dynamicznych reakcji powierzchni roboczych lemieszki $A_1B_1C_1$ i $A_2B_2C_2$, które powstają wskutek działania sił bezwładności \bar{I}_1 i \bar{I}_2 , będą równe:

$$N_{11} = N_{12} = I_1 \frac{\cos \frac{\theta}{2}}{\cos \theta - f \sin \gamma \cdot \sin \theta} \quad (4)$$

bądź też, uwzględniając równanie (3),

$$N_{I1} = N_{I2} = \frac{ab \cdot \rho}{g} \cdot V^2 \cdot \frac{\sin \theta \cdot \sin \gamma}{(\cos \theta - f \sin \gamma \cdot \sin \theta)} \quad (5)$$

Składowe siły tarcia, które powstają wskutek działania sił bezwładności ruchu pasa gleby z korzeniem buraka po powierzchni lemieszki $A_1B_1C_1$ i $A_2B_2C_2$ będą równe [Zaika 2001]:

$$F_{I1} = F_{I2} = f \cdot \frac{ab \cdot \rho}{g} \cdot \frac{V^2 \sin \theta \cdot \sin \gamma}{(\cos \theta - f \sin \gamma \cdot \sin \theta)} \quad (6)$$

Warunkiem niezbędnym pracy wyorywaczy lemieszowych jest obecność siły oporu gleby \bar{Q} , której maksymalna wartość wynosi [Zaika 2001]:

$$Q = 2ab \cdot \eta \quad (7)$$

Równanie ruchu korzenia buraka w glebie

Równanie ruchu korzenia buraka w formie wektorowej ma postać :

$$m\bar{a} = \bar{N}_{G1} + \bar{N}_{G2} + \bar{N}_{I1} + \bar{N}_{I2} + \bar{Q} + \bar{R}_x + \bar{R}_z + \bar{F}_1 + \bar{F}_2 + \bar{G}_k \quad (8)$$

Siły tarcia F_1 i F_2 występujące w równaniu (8) wynoszą:

$$F_1 = f_1(N_{G1} + N_{I1}), \quad F_2 = f_1(N_{G2} + N_{I2}) \quad (9)$$

Ponieważ wydobycie korzenia buraka z gleby zachodzi faktycznie w płaszczyźnie xOz , wektorowe równanie różniczkowe (8) można zapisać w postaci układu dwóch równań różniczkowych:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= N_{G1x} + N_{G2x} + N_{I1x} + N_{I2x} - Q - R_x + F_{1x} + F_{2x} \\ m\ddot{z} &= N_{G1z} + N_{G2z} + N_{I1z} + N_{I2z} - R_z - F_{1z} - F_{2z} - G_k \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Określmy rzuty sił, które wchodzi do danego układu równań różniczkowych (10). Rzuty normalnych reakcji powierzchni lemieszki $A_1B_1C_1$ i $A_2B_2C_2$ na osie x i z będą odpowiednio równe:

$$N_{G1x} = N_{G2x} = \frac{N_{G1} \cdot \operatorname{tg} \gamma}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}} \quad (11)$$

$$N_{G1z} = N_{G2z} = \frac{N_{G1} \cdot \operatorname{tg} \beta}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}}$$

bądź też, uwzględniając równanie (1),

$$N_{G1x} = N_{G2x} = \frac{G \cdot \operatorname{tg} \gamma}{2(\cos \theta - f \sin \theta \cdot \sin \gamma) \sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}} \quad (12)$$

$$N_{G1z} = N_{G2z} = \frac{G \cdot \operatorname{tg} \beta}{2(\cos \theta - f \sin \theta \cdot \sin \gamma) \sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}} \quad (13)$$

Analogicznie z wyrażenia (5) otrzymujemy:

$$N_{I1x} = N_{I2x} = \frac{ab \cdot \rho}{g} V^2 \cdot \frac{\sin \theta \cdot \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \gamma}{(\cos \theta - f \sin \theta \cdot \sin \gamma) \sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}} \quad (14)$$

$$N_{I1z} = N_{I2z} = \frac{ab \cdot \rho}{g} V^2 \cdot \frac{\sin \theta \cdot \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \beta}{(\cos \theta - f \sin \theta \cdot \sin \gamma) \sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}} \quad (15)$$

Ponieważ siły tarcia skierowane są przeciwnie do kierunku ruchu pasa gleby i korzenia buraka po powierzchniach lemieszki $A_1B_1C_1$ i $A_2B_2C_2$, to ich rzuty na odpowiednie osie współrzędnych będą miały postać:

$$\left. \begin{aligned} F_{1x} &= F_1(\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cdot \cos \theta) \\ F_{1z} &= -F_1 \sin \gamma \cdot \sin \theta \\ F_{2x} &= F_2(\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cdot \cos \theta) \\ F_{2z} &= -F_2 \sin \gamma \cdot \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Po wprowadzeniu następujących oznaczeń

$$\begin{aligned} N_{1x} &= N_{G1x} + N_{I1x} & N_{2x} &= N_{G2x} + N_{I2x} \\ F_{1x} &= F_{G1x} + F_{I1x} & F_{2x} &= F_{G2x} + F_{I2x} \\ N_{1z} &= N_{G1z} + N_{I1z} & N_{2z} &= N_{G2z} + N_{I2z} \\ F_{1z} &= F_{G1z} + F_{I1z} & F_{2z} &= F_{G2z} + F_{I2z} \end{aligned} \quad (18)$$

układ równań (10) można zapisać w następującej postaci:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= N_{1x} + N_{2x} - R_x + F_{1x} + F_{2x} - Q \\ m\ddot{z} &= N_{1z} + N_{2z} - R_z - F_{1z} - F_{2z} - G_k \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Wyciąganie buraka z gleby będzie możliwe po spełnieniu następującej nierówności:

$$N_{1z} + N_{2z} - F_{1z} - F_{2z} - G_k > R_z \quad (20)$$

Po uwzględnieniu zależności (9), (13) i (16) otrzymujemy:

$$\begin{aligned} & \frac{tg\beta}{\sqrt{tg^2\gamma+1+tg^2\beta}} \left[\frac{G}{\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma} + \frac{2ab \cdot \eta \cdot V^2 \sin\theta \cdot \sin\gamma}{g(\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma)} \right] - \\ & - \frac{Gf_1 \cdot \sin\theta \cdot \sin\gamma}{\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma} - \frac{2ab \cdot \gamma\eta \cdot V^2 \sin^2\theta \cdot \sin^2\gamma \cdot f_1}{g(\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma)} - G_k > R_z \end{aligned} \quad (21)$$

Po spełnieniu nierówności (21) nastąpi proces wydobywania buraka z gleby.

$$x = x_o, \quad z = -h, \quad \dot{x} = 0, \quad \dot{z} = 0 \quad (22)$$

Po dwukrotnym scałkowaniu układu równań (19) i uwzględnieniu warunków początkowych (22) otrzymamy wartości prędkości i przemieszczenia się buraka w funkcji czasu t .

$$\dot{x} = \frac{1}{m} (N_{1x} + N_{2x} - R_x + F_{1x} + F_{2x} - Q) t \quad (23)$$

$$\dot{z} = \frac{1}{m} (N_{1z} + N_{2z} - R_z - F_{1z} - F_{2z} - G_k) t \quad (24)$$

$$x = \frac{1}{m} (N_{1x} + N_{2x} - R_x + F_{1x} + F_{2x} - Q) \frac{t^2}{2} + x_o \quad (25)$$

$$z = \frac{1}{m} (N_{1z} + N_{2z} - R_z - F_{1z} - F_{2z} - G_k) \frac{t^2}{2} - h \quad (26)$$

Po wstawieniu do wyrażeń (23)-(26) odpowiednich wartości na siły i wykonaniu niezbędnych przekształceń otrzymamy:

$$\begin{aligned} \dot{x} = \frac{1}{m} & \left\{ \frac{tg\gamma}{\sqrt{tg^2\gamma+1+tg^2\beta}} \left[\frac{G}{\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma} + \frac{2ab \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \sin\theta \cdot \sin\gamma}{g(\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma)} \right] + \right. \\ & + \frac{G \cdot f_1 (\cos^2\gamma + \sin^2\gamma \cdot \cos\theta)}{\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma} + \\ & \left. + \frac{2f_1 \cdot ab \cdot \rho \cdot V^2 \sin\theta \cdot \sin\gamma (\cos^2\gamma + \sin^2\gamma \cdot \cos\theta)}{g(\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma)} - 2ab \cdot \eta - R_x \right\} t \end{aligned} \quad (27)$$

$$\dot{z} = \frac{1}{m} \left\{ \frac{tg\beta}{\sqrt{tg^2\gamma + 1 + tg^2\beta}} \left[\frac{G}{\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma} + \frac{2ab \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \sin\theta \cdot \sin\gamma}{g(\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma)} \right] - \right. \quad (28)$$

$$\left. - \frac{G \cdot f_1 \cdot \sin\theta \cdot \sin\gamma}{\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma} - \frac{2f_1 \cdot ab \cdot \rho \cdot V^2 \sin^2\theta \cdot \sin^2\gamma}{g(\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma)} - G_k - R_z \right\} t$$

$$x = \frac{1}{m} \left\{ \frac{tg\gamma}{\sqrt{tg^2\gamma + 1 + tg^2\beta}} \left[\frac{G}{\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma} + \frac{2ab \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \sin\theta \cdot \sin\gamma}{g(\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma)} \right] + \right. \quad (29)$$

$$\left. + \frac{Gf_1(\cos^2\gamma + \sin^2\gamma \cdot \cos\theta)}{\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma} \right.$$

$$\left. + \frac{2f_1 \cdot ab \cdot \rho \cdot V^2 \sin\theta \cdot \sin\gamma(\cos^2\gamma + \sin^2\gamma \cdot \cos\theta)}{g(\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma)} - 2ab \cdot \eta - R_x \right\} \frac{t^2}{2} + x_o \quad (30)$$

$$\left. - \frac{G \cdot f_1 \cdot \sin\theta \cdot \sin\gamma}{\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma} - \frac{2f_1 \cdot ab \cdot \rho \cdot V^2 \sin^2\theta \cdot \sin^2\gamma}{g(\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma)} - G_k - R_z \right\} \frac{t^2}{2} - h$$

Z równania (30) można określić czas t_1 wyciągania korzenia buraka z gleby. Będzie on równy:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2mgh(\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma)\sqrt{tg^2\gamma + 1 + tg^2\beta}}{(Gg + 2ab \cdot \rho \cdot V^2 \sin\theta \sin\gamma)(tg\beta - \sin\gamma \cdot \sin\theta \cdot f_1 \times} \quad (31)$$

$$\times \sqrt{tg^2\gamma + 1 + tg^2\beta}) - (R_z + G_k)g(\cos\theta - f \sin\theta \cdot \sin\gamma)\sqrt{tg^2\gamma + 1 + tg^2\beta}}$$

Ponieważ t_1 jest czasem wydobycia buraka z gleby przez wyorywacz lemieszowy, to wyrażenie (31) można wykorzystać do określenia wydajności agregatu do zbioru buraków cukrowych. W przypadku gdy warunek (20) nie jest spełniony, burak pozostaje związany z glebą i wówczas następuje zginanie korzenia pod działaniem siły P_x określonej wyrażeniem:

$$P_x = N_{1x} + N_{2x} + F_{1x} + F_{2x} - Q \quad (32)$$

Istnieje zatem pewna siła dopuszczalna $[P_x]$, przy której nie nastąpi uszkodzenie korzenia buraka. Podstawmy do (32) w miejsce siły P_x jej wartość dopuszczalną $[P_x]$. Otrzymamy

$$[P_x] = N_{1x} + N_{2x} + F_{1x} + F_{2x} - Q \quad (33)$$

bądź też uwzględniając wartości sił, które wchodzi do prawej części tego wyrażenia:

$$[P_x] = N_{G1x} + N_{G2x} + N_{I1x} + N_{I2x} + F_{G1x} + F_{G2x} + F_{I1x} + F_{I2x} - Q \quad (37)$$

A zatem, uwzględniając symetryczne rozmieszczenie lemieszów wyorywacza, otrzymamy:

$$[P_x] = 2N_{G1x} + 2N_{I1x} + 2F_{G1x} + 2F_{I1x} - Q \quad (38)$$

Po wstawieniu do równania (38) odpowiednich wyrażen na siły można wyznaczyć prędkość V ruchu postępowego maszyny, przy której korzenie buraków nie będą ulegały uszkodzeniu.

$$V = \sqrt{\frac{g([P_x] + 2ab \cdot \eta)(\cos \theta - f \sin \theta \cdot \sin \gamma) \sqrt{tg^2 \gamma + 1 + tg^2 \beta} - gG \cdot tg \gamma - 2ab \cdot \rho \cdot \sin \theta \cdot \sin \gamma [tg \gamma + f_1 (\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cdot \cos \theta)] \times}{-f_1 gG (\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cdot \cos \theta) \sqrt{tg^2 \gamma + 1 + tg^2 \beta} \times \sqrt{tg^2 \gamma + 1 + tg^2 \beta}}} \quad (39)$$

Podsumowanie

W pracy przedstawiono model matematyczny pracy lemieszowego wyorywacza korzeni buraków cukrowych oraz podano rozkład sił działających w układzie lemiesz-burak. Wyprowadzono wyrażenie na maksymalną prędkość roboczą maszyny, przy której nie następuje uszkodzenie wyorywanych korzeni buraków. Ponadto podano wyrażenie na czas wydobycia pojedynczego buraka z gleby przez wyorywacz lemieszowy, które można wykorzystać do określenia wydajności agregatu do zbioru.

Bibliografia

Bułhakow W., Gołowacz I., Szeptycki A. 2003. Teoria działania lemieszowego zespołu podkopującego w maszynach do zbioru buraków. *Technika Agraria*, 2(1): 67-74.

Karwowski T. 1982. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. Tom 2, część II. PWRiL. Warszawa.

Zajka P. M. 2001. Teoriã sel'skohozãjstvennyh mašin. Oiko. Har'kov.

IMPACT OF SHARE LIFTER ON SUGAR BEET ROOT

Summary

The study presents a mathematical model of a share lifter, taking into account its kinematic and geometrical parameters. The distribution of the forces acting on the beet and the shares during the lifting process was presented. The expressions for the working speed of the machine and the time of lifting the beet out of the soil were derived.

Key words: mathematical model, sugar beet, share lifter