

TEORIA DZIAŁANIA LEMIESZOWEGO ZESPOŁU PODKOPUJĄCEGO W MASZYNACH DO ZBIORU BURAKÓW

Władimir Bułhakow, Iwan Gołowacz, Aleksander Szeptycki

Streszczenie. Przeanalizowano ruch pasa gleby z tkwiącym w niej korzeniem buraka po powierzchniach pary płaskich, skośnie ustawionych lemieszów. W końcowej fazie tego ruchu korzeń buraka wchodzi w bezpośredni kontakt z płaszczyznami lemieszów. Ustalono wpływ kątów ustawienia lemieszów na dopuszczalną wartość prędkości jazdy maszyny, przy której, dla danych warunków glebowych nie nastąpi jeszcze ułamywanie i pozostawianie w glebie końców korzeni. Przy założeniu wartości pionowej siły związania korzenia z glebą 0,2 kN i jednostkowym oporze gleby rozluźnionej lemieszami 2,0 kNm² oraz przyjmując kąt wierzchołkowy stożka korzenia buraka 20–28°, najwyższą dopuszczalną wartość prędkości jazdy można osiągnąć gdy kąt 2γ rozchylenia lemieszów powinien wynosić 26–32°, zaś kąt β odchylenia płaszczyzny lemieszów od pionu 30°.

Słowa kluczowe: burak cukrowy, zbiór, lemieszowy, zespół wykopujący

WYKAZ OZNACZEŃ

- $\alpha\beta$ – kąty charakteryzujące przestrzenne usytuowanie lemieszów
- N – siły normalne
- F – siły tarcia
- Q – siła utwierdzenia korzenia w glebie (pozioma)
- R – siła związania korzenia z glebą (pionowa)
- G – ciężar pasa gleby wraz z korzeniem
- G_k – ciężar korzenia buraka
- g – przyspieszenie grawitacyjne
- f – współczynnik tarcia
- v – prędkość ruchu maszyny
- ρ – gęstość właściwa gleby
- P_x – pozioma siła zginająca korzeń
- a, b – wymiary poprzecznego przekroju pasa gleby

Siły normalne \bar{N} i tarcia \bar{F} wywołują w pasie gleby KL obciążenie ściskające \bar{q} , dające się zastąpić siłą skupioną \bar{Q} przeciwstawiającą się przesunięciu korzenia w kierunku ruchu maszyny. Siłę związania korzenia z glebą oznaczono \bar{R} . Jest ona umownie usytuowana w osi korzenia i skierowana pionowo w dół.

Siły \bar{P} z odpowiednimi indeksami są sumami składowych sił \bar{N} i \bar{F} wywieranych przez lemiesz na glebę w kierunkach osi układu współrzędnych, zaś siły \bar{P}' z takimi samymi indeksami są siłami wywieranymi na korzeń pochodzącymi od sił \bar{P} i przekazywanymi poprzez glebę. Pionowe siły \bar{P}'_{z1} \bar{P}'_{z2} starają się wypchnąć korzeń do góry, poziome \bar{P}'_{y1} i \bar{P}'_{y2} również wypychają korzeń jako ciało o kształcie stożka. Siły poziome \bar{P}'_{x1} i \bar{P}'_{x2} , działające przeciwnie do siły \bar{Q} również starają się wypchnąć stożek korzenia z gleby. Są one jednak groźne bo mogą złamać korzeń w przypadku małej wartości siły oporu gleby \bar{Q} i dużej wartości siły \bar{R} związania korzenia z głębszą warstwą gleby. Należy więc dążyć do takiego skonstruowania zespołu lemiesz, żeby wywoływał on duże wartości sił \bar{P}_z i \bar{P}_y przy możliwie małej \bar{P}_x . Parametrami konstrukcyjnymi, od których to zależy są kąty ustawienia lemiesz α , β i γ , siłami zaś o decydującym znaczeniu dla wartości sił oddziaływujących na korzeń buraka są reakcje lemiesz N_1 i N_2 prostopadłe do ich płaszczyzn. Wychodząc z równań płaszczyzn lemiesz w układzie xyz rzuty tych sił na osie współrzędnych będą miały postać:

$$\left. \begin{aligned} N_{x1} &= \frac{N_1 \operatorname{tg} \gamma}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}}, \\ N_{y1} &= \frac{N_1}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}}, \\ N_{z1} &= \frac{N_1 \operatorname{tg} \beta}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} N_{x2} &= \frac{N_2 \operatorname{tg} \gamma}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}}, \\ N_{y2} &= -\frac{N_2}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}}, \\ N_{z2} &= \frac{N_2 \operatorname{tg} \beta}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Siły normalne N_1 i N_2 są wypadkowymi sił odpowiednio N_{G1} i N_{I1} oraz N_{G2} i N_{I2} i pochodzących od ciężaru pasa gleby z korzeniem G_1 i G_2 oraz sił bezwładności I_1 i I_2 pasa gleby poruszającego się po lemieszach, przy czym

$$N_{G1} = N_{G2} = \frac{G}{2(\cos \theta - f \sin \theta \sin \gamma)}, \quad (3)$$

Na powierzchni robocze lemieszy oddziałują też siły bezwładności \bar{I}_1 i \bar{I}_2 poruszającego się pasa gleby. Działanie sił bezwładności można rozpatrywać jako ciągły proces zderzeń cząstek gleby z płaszczyznami lemieszy. W następstwie ciągłego ruchu masy gleby na powierzchniach powstaje impuls uderzeniowy o wartości

$$\bar{I}_1 dt = \bar{I}_2 dt = (\bar{V}_a - \bar{V}_0) dm \quad (4)$$

gdzie \bar{V}_a prędkość bezwzględna ruchu cząstek gleby o masie dm , \bar{V}_0 – początkowa prędkość cząstek gleby przed zetknięciem z lemieszem.

Ponieważ $\bar{V}_0 = 0$ na podstawie równania (4) otrzymujemy

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_2 = \frac{dm}{dt} \cdot \bar{V}_a \quad (5)$$

Masę gleby wchodzącej w jednostce czasu na powierzchnię lemieszy można obliczyć jako:

$$\frac{dm}{dt} = a \cdot b \cdot \frac{\rho}{g} V \quad (6)$$

Po podstawieniu (6) do (5) otrzymujemy:

$$I_1 = I_2 = a \cdot b \cdot \frac{\rho}{g} \cdot V \cdot V_a$$

Ponieważ zaś

$$V_a = 2V \sin \frac{\theta}{2} \cdot \sin \gamma$$

więc ostatecznie

$$I_1 = I_2 = \frac{2a \cdot b \cdot \rho}{\theta} V^2 \sin \frac{\theta}{2} \cdot \sin \gamma \quad (7)$$

W powyższych wzorach G jest ciężarem pasa gleby wraz z burakiem, ρ jest ciężarem objętościowym gleby, a i b wymiarami poprzecznego przekroju pasa gleby zaś kąty θ i γ kątami pochylenia lemieszy (rys. 1).

Siły bezwładności \bar{I}_1 i \bar{I}_2 działają przeciwnie do wektora \bar{V}_a bezwzględnej prędkości ruchu pasa gleby.

Wg Zajki [2001], dla określenia toru ruchu pasa gleby po klinie można założyć, że długość tego pasa podczas podcinania i przemieszczania po klinie nie zmienia się i wobec tego prędkość ruchu względnego po tym klinie jest równa prędkości V ruchu postępowego zespołu kopiującego, czyli prędkości ruchu maszyny.

Siły bezwładności, zakładając symetryczny ich rozkład na oba lemiesze, wywołują na powierzchniach tych lemiesz reakcje

$$N_{I1} = N_{I2} = \frac{a \cdot b \cdot \rho}{g} V^2 \cdot \frac{\sin \theta \cdot \sin \gamma}{(\cos \theta - f \sin \gamma) \cdot \sin \theta} \quad (8)$$

Siły tarcia F od składowych sił ciężaru G i bezwładności I będą równe co do wartości, normalnym składowym N_{G1} i N_{G2} (3) oraz N_{I1} i N_{I2} (8) pomnożonym przez współczynnik tarcia f .

Na korzeń buraka oddziałują jeszcze siły:

- skierowana poziomo siła Q oporu gleby przeciwstawiająca się przesunięciu korzenia w kierunku ruchu maszyny ($Q = 2ab k_j$), gdzie k_j – jednostkowy opór gleby,
- siła R związania buraka z glebą, którą można rozłożyć na składowe R_x i R_z (R_x przeciwstawia się wyciągnięciu korzenia z gleby a R_z jego przesunięciu poziomemu).

Ogólne równanie ruchu korzenia buraka w gardzieli między lemieszami można więc zapisać w postaci wektorowej

$$m\bar{a} = \bar{N}_{G1} + \bar{N}_{G2} + \bar{N}_{I1} + \bar{N}_{I2} + \bar{Q} + \bar{R}_x + \bar{R}_z + \bar{F}_1 + \bar{F}_2 + \bar{G}_k \quad (9)$$

albo w postaci układu równań różniczkowych:

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

a uwzględniając iż N_{G1} i N_{I1} są składowymi sił N_1 a N_{G2} i N_{I2} składowymi siły N_2

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= N_{1x} + N_{2x} - R_x + F_{1x} + F_{2x} - Q, \\ m\ddot{z} &= N_{1z} + N_{2z} - R_z - F_{1z} - F_{2z} - G_k \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

ODDZIAŁYWANIE WYCIĄGACZA LEMIEZOWEGO NA KORZEŃ BURAKA

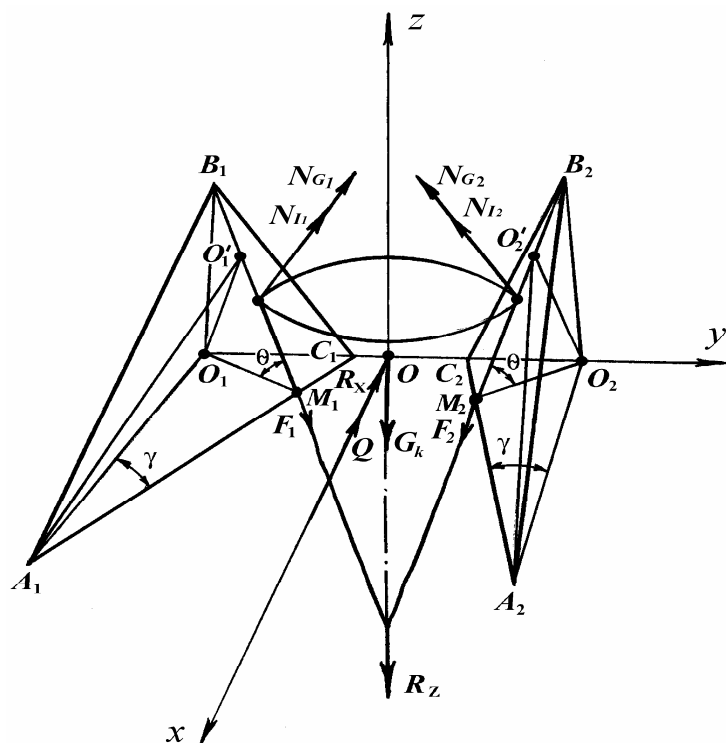
W końcowej fazie, gdy burak wejdzie w kontakt z lemieszami, wyciągnięcie go z gleby może nastąpić tylko gdy:

$$N_{1z} + N_{2z} - F_{1z} - F_{2z} - G_k > R_z \quad (12)$$

Po uwzględnieniu zależności geometrycznych z rysunku 2 oraz faktu iż zawsze $F = f_1 \cdot N$, gdzie f_1 jest współczynnikiem tarcia buraka o lemiesz uzyskujemy:

$$\frac{\operatorname{tg} \beta}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma + 1 + \operatorname{tg}^2 \beta}} \left[\frac{G}{\cos \theta - f \sin \theta \cdot \sin \gamma} + \frac{2ab \cdot \rho \cdot V^2 \sin \theta \cdot \sin \gamma}{g(\cos \theta - f \sin \theta \cdot \sin \gamma)} \right] + \frac{Gf_1 \cdot \sin \theta \cdot \sin \gamma}{\cos \theta - f \sin \theta \cdot \sin \gamma} - \frac{2ab \cdot \rho \cdot V^2 \sin^2 \theta \cdot \sin^2 \gamma \cdot f_1}{g(\cos \theta - f \sin \theta \cdot \sin \gamma)} - G_k > R_z. \quad (13)$$

Lewa strona tej nierówności jest sumą sił oddziaływujących na korzeń w kierunku osi z przy jego bezpośrednim kontakcie z lemieszami.



Rys. 2. Siły oddziałujące na korzeń buraka i lemiesz
Fig. 2. Forces acting on a beet root and shares

Jeśli ta nierówność nie jest spełniona to burak pozostaje związany z glebą i wówczas następuje zginanie korzenia pod działaniem siły

$$P_x = N_{1x} + N_{2x} + F_{1x} + F_{2x} - Q \quad (14)$$

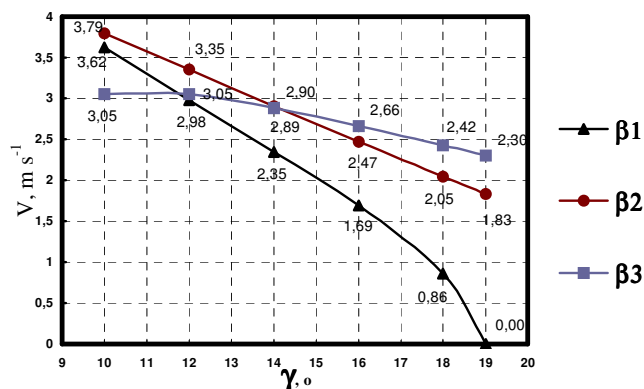
zwróconej przeciwie do siły R_x będącej poziomą składową siły R związania go z glebą. Po przekroczeniu pewnej dopuszczalnej wartości siły $[P_x]$ nastąpi złamanie korzenia. Rozdzielając siły normalne na składowe pochodzące od ciężaru gleby i korzenia oraz od sił bezwładności zależnych od prędkości jazdy maszyny, można po przekształceniach ustalić dopuszczalną prędkość ruchu maszyny, poniżej której nie następuje obłamywanie korzeni. Wyraża się ona dość rozbudowanym wzorem:

$$V = \sqrt{\frac{g([P_x] + 2ab \cdot k_j) \cdot (\cos \theta - f \sin \theta \cdot \sin \gamma) \sqrt{\text{tg}^2 \gamma + 1 + \text{tg}^2 \beta} - gG \cdot \text{tg} \gamma - 2ab \cdot \rho \cdot \sin \theta \cdot \sin \gamma \left[\text{tg} \gamma + f_1 (\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cdot \cos \theta) \times \right.}{- f_1 gG (\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cdot \cos \theta) \sqrt{\text{tg}^2 \gamma + 1 + \text{tg}^2 \beta} \left. \times \sqrt{\text{tg}^2 \gamma + 1 + \text{tg}^2 \beta} \right]}{}} \quad (15)$$

Ponieważ kąt dwuścienny θ można obliczyć znając kąty β i γ (rys. 1)

$$\text{tg} \theta = \frac{\cos \beta}{\sin \beta \cdot \cos \gamma} \quad (16)$$

więc ostatecznie wzór (15) pozwala określić dopuszczalną, ze względu na warunek nie obłamywania korzeni, prędkość jazdy maszyny w zależności od kątów ustawienia lemieszów β i γ .



Rys. 3. Zależność dopuszczalnej prędkości jazdy maszyny od kąta γ przy $\beta_1 = 15^\circ$, $\beta_2 = 20^\circ$ i $\beta_3 = 30^\circ$

Fig. 3. Dependence of machine velocity limit on angle γ at $\beta_1 = 15^\circ$, $\beta_2 = 20^\circ$ and $\beta_3 = 30^\circ$

Na wykresach (rys. 3) przedstawiono zależność prędkości $v = f(\gamma)$ dla trzech wartości kąta β i przy następujących wartościach pozostałych parametrów występujących we wzorze (15): $a = 0,12$ m, $[P_x] = 0,2$ kN, $\rho = 11$ kN·m⁻³, $f = 0,6$, $f_1 = 0,5$, $g = 9,81$ m·s⁻², $k_j = 2,0$ N·m⁻² przyjętych wg literatury.

PODSUMOWANIE

Jak widać z wykresów charakter zależności dopuszczalnej prędkości od kąta natarcia lemiesz γ jest bliski prostoliniowej, przy czym ze wzrostem kąta γ dopuszczalna prędkość maleje.

Zwiększenie natomiast kąta β rozwarcia lemiesz pozwala na ogół stosować wyższe prędkości jazdy bez obawy obłamywania końców korzeni. Przyjmując iż wartość kąta stożka korzenia buraka wynosi $20\text{--}28^\circ$ można zalecać wartość kąta $\beta = 30^\circ$, co pozwala stosować wyższe prędkości jazdy. Najkorzystniejsze wartości kąta γ wynoszą $13\text{--}16^\circ$.

PIŚMIENNICTWO

- Boroj E. S. i in., 1977. Teorija, konstrukcija i rasčet sel'skochozjajstvennych mašin. Podręcznik dla wyższych uczelni. Wyd. Mašinostroenije. Moskwa.
- Chvostov W. A., Rejngart E. S., 1995. Mašiny dlja uborki korneplodov i luka (teorija, konstrukcija, rasčet).
- Karwowski T., 1982. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych cz. II, t. 2.
- Pogorelyj L. W. i in., 1983. Swekluboročnyje mašiny (Konstruirowanije i rasčet). Wyd. Technika, Kijów.
- Privalov I. I., 1960. Analitičeskaja geometrija. Wyd. Eizmatgiz. Moskwa.
- Zajka P. M., 2001. Teorija sel'skochozjajstvennych mašin. t. 1, cz. 1. Wyd. Oko, Charków.

THEORY OF SHARE DIGGING UNIT IN SUGAR BEET HARVESTING MACHINES

Abstract. The motion of a soil layer together with a sugar beet root fixed in it along the surfaces of a pair of flat, oblique shares is analysed. During the last phase of this motion a beet root gets in direct contact with planes of shares. The influence of share position angles onto the machine maximum allowable forward velocity was defined at which, in particular soil conditions, the end part of the root would not be broken and left in the soil.

Assuming the value of the vertical force binding the beet root with the soil as 0.2 kN and unitary resistance of soil already loosened by shares as $2.0\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ and taking the apex angle of the beet root come as $20\text{--}28^\circ$, the highest value of the machine velocity limit may be achieved when the angle 2γ of the divergence of shares will be kept between 26 and 32° and the angle β of deflection of share plane from vertical will be 30° .

Keywords: sugar beet, harvesting, share digging unit

Władimir Bulhakow, Iwan Gołowacz, Narodowy Uniwersytet Rolniczy, Geroev Oborony 15, 03041 Kyiv, Ukraina.

Aleksander Szeptycki, Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, ul. Rakowiecka 32, 02-532 Warszawa.