

## ВПЛИВ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРЕНЕПЛОДІВ НА КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ МЕХАНІЗМУ КОПІЮВАННЯ

Романченко В.М. к.т.н., доц.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*

*Теоретичні дослідження впливу фізико-механічних характеристик коренеплодів на конструктивні параметри механізму копіювання гичкозбиральної машини.*

**Постановка проблеми.** Теоретичних досліджень визначення рівня навантаження на копії з урахуванням геометричних характеристик форми коренеплодів проведено недостатньо. Разом з тим, є важливим дослідження фізико-механічних властивостей цукрового буряку, що пов'язані з копіюванням голівок коренеплодів в напрямку зменшення навантаження на коренеплоди.

**Аналіз останніх досліджень.** Аналітичним оглядом літератури встановлено, що існуючі способи і технічні засоби копіювання голівок коренеплодів із застосуванням пасивних механізмів копіювання полозкового типу не повністю відповідають сучасним агротехнічним вимогам. Однією з основних причин цього є надмірне зусилля, що виникає в процесі взаємодії механізму копіювання з голівками коренеплодів і зумовлює вибивання їх з ґрунту [1].

Дослідженнями агрофізичних властивостей коренеплодів та оптимізацією параметрів гичкозрізуючих апаратів займався В.Я. Татянюк. Дослідженнями В.М. Булгакова створено теорію вільних поперечних коливань у ґрунті коренеплоду за вібраційного його викопування [2,3].

На основі проведеного аналізу відомих робіт доцільно провести дослідження в напрямку удосконалення процесу взаємодії механізму копіювання з коренеплодами, з метою зменшення зусилля на коренеплоди для запобігання їх вибивання з ґрунту.

**Мета.** Дослідити вплив фізико-механічних характеристик коренеплодів на їх стійкість у ґрунті. Розробити математичну модель стійкості коренеплодів у ґрунті яка дозволить дослідити залежність горизонтальної складової сили навантаження в широкому діапазоні зміни геометричних параметрів коренеплодів.

**Результати досліджень.** При дослідженні впливу фізико-механічних характеристик на стійкість, коренеплід розглянуто як жорстке тіло обертання, що розташоване в ґрунті (рис. 1).

При прикладанні навантаження з боку механізму копіювання гичкозбиральної машини коренеплід відхиляється від вертикального положення на величину  $S$  при  $z = L$ , залишаючись нерухомим на початку координат. Кожен вищерозташований переріз  $z$  коренеплоду відхиляється на величину  $S_z$ , яка пропорційна  $z$ .

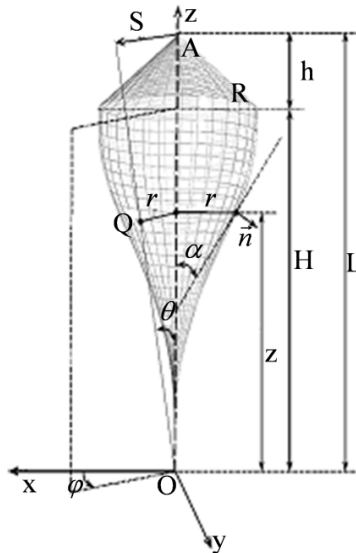


Рис. 1 – Розрахункова схема коренеплоду у вигляді тіла обертання:

$L$  – довжина коренеплоду;  $h$ ,  $H$  – довжина, відповідно, надземної і підземної частин;  $z$  – координата перерізу (в підземній частині змінюється від 0 до  $H$ );  $R$  – радіус перерізу при  $z = H$ ;  $Oxyz$  – система координат, яка пов’язана з коренеплодом;  $Q(x, y, z)$  – точка на поверхні буряка;  $\vec{n}(x, y, z)$  – нормаль на поверхні;  $\varphi, r, z$  – циліндричні координати;  $\alpha$  – кут між дотичною до твірної та віссю  $OZ$ ;  $\theta$  – кут відхилення коренеплоду при зміщенні

Форма підземної частини задається функцією  $r = r(z)$ . Довільно взята т.  $Q$  поверхні коренеплода задається декартовими координатами  $(x, y, z)$  або циліндричними  $(\varphi, r, z)$ , причому:

$$\begin{cases} x = r(z) \cos \varphi; \\ y = r(z) \sin \varphi; \\ z = z. \end{cases} \quad \begin{matrix} 0 \leq \varphi \leq 2\pi \\ 0 \leq z \leq H. \end{matrix} \quad (1)$$

Рівняння поверхні задається виразом  $F(x, y, z) = x^2 + y^2 - r^2(z)$ . Як вектор нормалі до поверхні прийнято одиничний вектор  $\vec{n}$ , який визначається за формулою:

$$\vec{n} = \left( \sqrt{1 + \left( \frac{dr}{dz} \right)^2} \right)^{-1} \left\{ \cos \varphi, \sin \varphi, -\frac{dr}{dz} \right\}, \quad (2)$$

де  $dr/dz = \operatorname{tg} \alpha$ , в загальному випадку  $\alpha = \alpha(z)$ , у випадку конічної форми поверхні коренеплоду –  $r(z) = \mu z$ , де  $\mu = R/H$ ,  $\alpha = \operatorname{const}$ .

Елементарна площа поверхні поблизу т.  $Q(\varphi, z)$  обчислюється за формулою:

$$d\omega = \frac{dz}{\cos \alpha} r(z) d\varphi = r(z) \sqrt{1 + \left( \frac{dr}{dz} \right)^2} dz d\varphi. \quad (3)$$

Під дією сили  $\vec{P}$ , яка прикладена в т.  $A$  в напрямку осі  $Ox$ , коренеплід обертається навколо осі  $Oy$  на кут  $\theta$ . Вектор переміщення  $\vec{u} = \vec{O}Q$  в рухомій системі задається такими координатами:

$$\vec{u}(\varphi, z) = \{r(z) \cos \varphi (1 - \cos \theta) + z \sin \theta, 0, -r(z) \cos \varphi \sin \theta + z(1 - \cos \theta)\}. \quad (4)$$

Вектор розподіленого навантаження, який діє на поверхню коренеплоду, визначається за формулою:

$$\vec{q} = -\sigma_n \vec{n} + f\sigma_n \vec{\tau} = \sigma_n (-\vec{n} + f\vec{\tau}), \quad (5)$$

де  $\vec{\tau} = (\vec{n}(\vec{n}\vec{u}) - \vec{u}) / |\vec{n}(\vec{n}\vec{u}) - \vec{u}|$ .

Момент сили  $\vec{P} = (P_x, P_y, P_z)$  відносно осі  $Oy$  визначається як  $M_{Oy} = zP_x - xP_z$ . Момент розподіленого по поверхні коренеплоду навантаження  $\vec{q}$  відносно осі  $Oy$  розраховується за формулою:

$$M_{Oy} = 2 \int_0^{\pi} \int_0^H [zq_x(\varphi, z) - r(z) \cos\varphi q_z(\varphi, z)] \cdot r(z) \sqrt{1 + \left(\frac{dr}{dz}\right)^2} dz d\varphi. \quad (6)$$

Форму підземної частини коренеплоду прийнято конічною, тому припускаємо, що  $r(z) = \mu z + \rho(z)$ , де  $\rho(z)$  зумовлює відхилення від форми конуса. Проведемо теоретичні дослідження впливу відхилення поверхонь обертання від конічної форми на горизонтальну складову сили  $P_r$  згідно з означеною класифікацією (рис. 2).

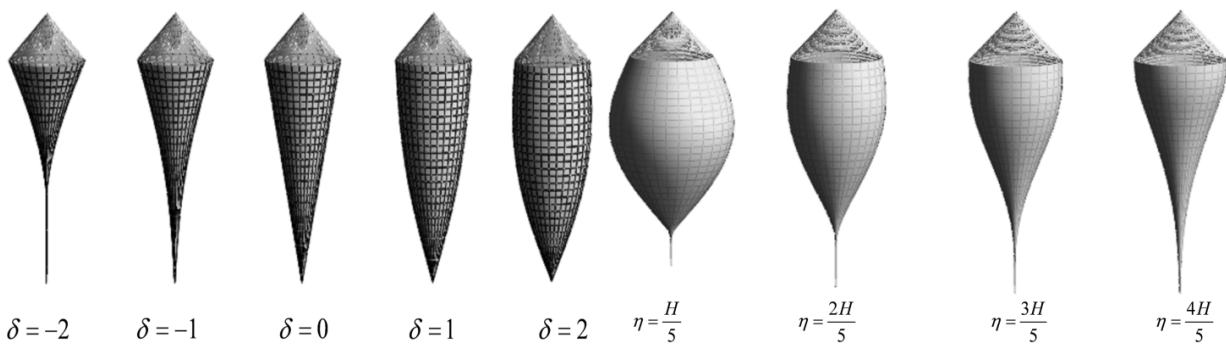


Рис. 2 – Варіанти коренеплодів згідно з прийнятою класифікацією та різними значеннями коефіцієнтів форми  $\delta, \eta$

На підставі досліджень (6) виявлено вплив зміни форми коренеплодів на горизонтальну складову сили  $P_r$  і побудовано графічні залежності вказаної сили від коефіцієнтів форми  $\delta - P_r = f(\delta, S)$  та  $\eta - P_r = f(\eta, S)$  при різних значеннях відхилення  $S$  (рис. 3). Аналізом отриманих залежностей встановлено, що випукла форма коренеплодів призводить до збільшення горизонтальної складової сили  $P_r$  (рис. 3, а). При збільшенні параметра  $\eta$  збільшується довжина вгнутої частини, а горизонтальна сила  $P_r$  зменшується (рис. 3, б).

Якщо поверхня підземної частини коренеплодів має конічну форму, то взявши суму навантажень на поверхні коренеплоду відносно осі  $y$ , з рівняння моментів навколо т.  $O$  визначено залежність горизонтальної сили  $P_r$  від відхилення  $S$ , яка після перетворень має такий вигляд:

$$P_r = -2L^{-1} \mu \sqrt{1 + \mu^2} \int_0^{\pi} \int_0^H [q_x(\varphi, z) - \mu \cos\varphi q_z(\varphi, z)] z^2 dz d\varphi. \quad (7)$$

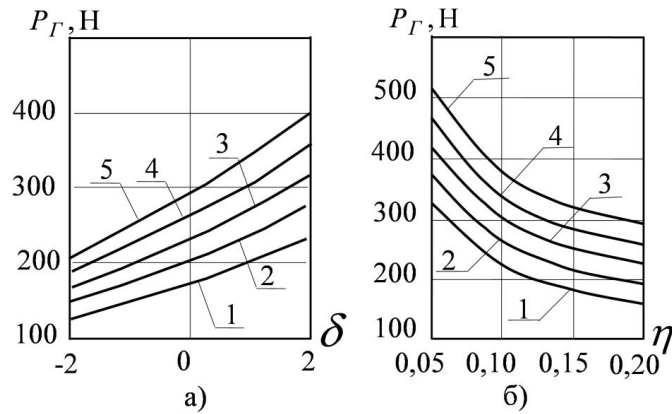


Рис. 3 – Залежності горизонтальної сили  $P_G$  від коефіцієнтів форми  $\delta$  (а) та  $\eta$  (б) при відхиленнях: 1– $S=0,01\text{м}$ ; 2– $S=0,02\text{м}$ ; 3– $S=0,03\text{м}$ ; 4– $S=0,04\text{м}$ ; 5– $S=0,05\text{м}$

Якщо припустити, що  $\theta \ll 1$  і  $\sigma_n(\varphi, z)$  у всіх точках поверхні коренеплоду не є від'ємними, то інтеграл (7) можна визначити у замкнутому вигляді. Враховуючи складові вектора розподіленого навантаження  $\vec{q}$ :

$$\begin{aligned} q_x &= -\left(a + bz + cz\theta \cos\varphi \sqrt{1 + \mu^2}\right) \left\{ \cos\varphi / \sqrt{1 + \mu^2} + f \sin\varphi \right\}, \\ q_y &= -\left(a + bz + cz\theta \cos\varphi \sqrt{1 + \mu^2}\right) \left\{ \sin\varphi / \sqrt{1 + \mu^2} - f \cos\varphi \right\}; \\ q_z &= \left(a + bz + cz\theta \cos\varphi \sqrt{1 + \mu^2}\right) \mu / \sqrt{1 + \mu^2}, \end{aligned} \quad (8)$$

одержано залежність для розрахунку горизонтальної сили  $P_G$ , яка діє на елементарну площадку:

$$P_G = \frac{\mu H^3 \sqrt{1 + \mu^2}}{L} \left( \frac{4}{3} af + bHf + \frac{1}{L} c\theta\pi H(1 + \mu^2) \right), \quad (9)$$

де  $a, \text{Н/м}^2$ ;  $b, \text{Н/м}^3$  – коефіцієнти, визначені за експериментальними даними;  
 $f$  – коефіцієнт тертя ковзання;  
 $c$  – коефіцієнт пружності ґрунту,  $\text{Н/м}^2$ ;  
 $\theta = \arctg(S/L)$ .

Реалізацією одержаної математичної моделі (рис. 4) встановлено, що найбільш впливовими показниками стійкості коренеплодів є їх висота розташування над поверхнею ґрунту  $h$  та довжина  $L$ . Так, при збільшенні показника  $h$  до 0,10м горизонтальна складова сила  $P_G$  зменшується від 400 до 150Н, при збільшенні довжини коренеплодів  $L$  до 0,5м горизонтальна складова сила  $P_G$  змінюється в межах 90Н до 490Н, що зумовлює відхилення коренеплодів  $S$  від вертикального положення в межах від 0,01 до 0,06м.

Встановлено, що в розглянутому діапазоні зміни параметрів коренеплодів відносна похибка при використанні (9) не перевищує 2%. Закономірність зміни сили  $P_G$  в функції відхилення верхівки коренеплоду, визначена згідно з (9), відрізняється від експериментальної на 5-8% (рис. 5), що є припустимим з урахуванням широкого діапазону зміни характеристик коренеплодів.

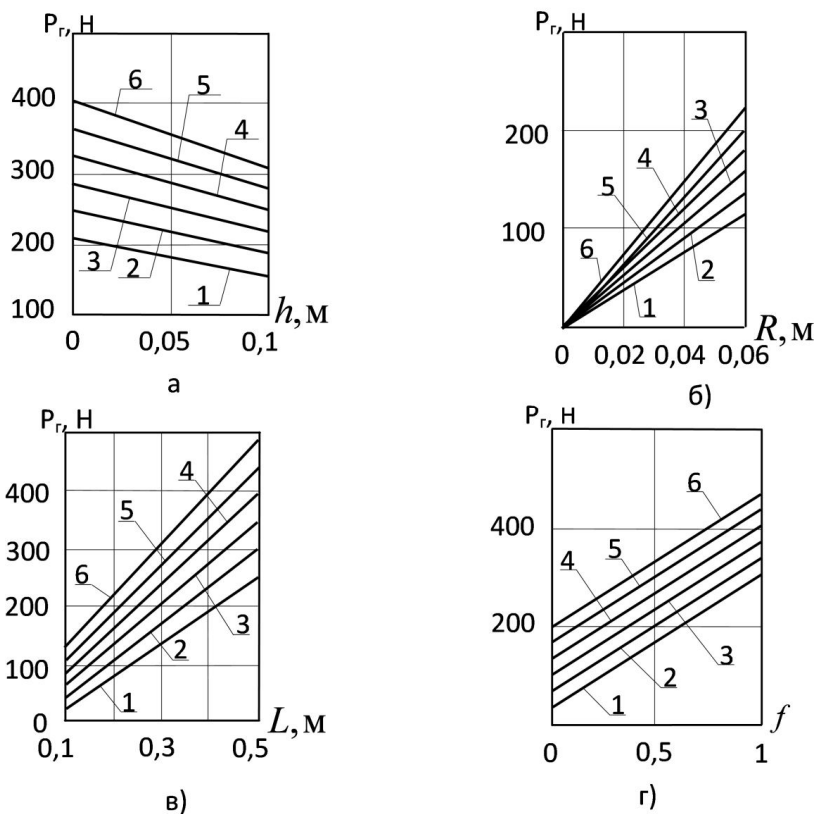


Рис. 4 – Залежності горизонтальної сили  $P_r$  від:

а) висоти розташування; б) радіусу; в) довжини коренеплодів; г) коефіцієнта тертя при відхиленнях: 1 –  $S=0,01$ м; 2 –  $S=0,02$ м; 3 –  $S=0,03$ м; 4 –  $S=0,04$ м; 5 –  $S=0,05$ м; 6 –  $S=0,06$ м

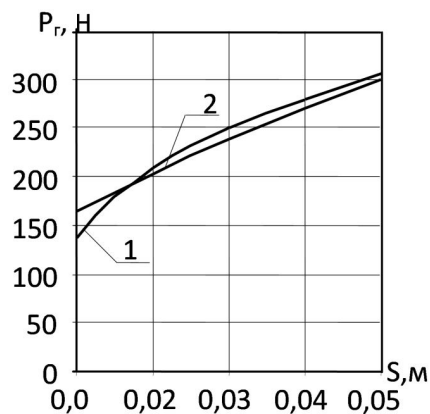


Рис. 5 – Залежності горизонтальної сили  $P_r$  від відхилення коренеплоду,  $S$ :

1 – за даними експериментів; 2 – згідно з (9)

Необхідно відмітити, що теоретично при  $S = 0$  горизонтальна складова сили не може дорівнювати 0. За аналогією з тілом, яке переміщується по поверхні, його рух починається тільки після того, коли рушійна сила перевищує силу тертя спокою.

При дослідженні залежності  $P_r$  від висоти розташування коренеплодів над поверхнею ґрунту  $h$  відносна похибка складає 1,2% і зростає при збільшенні  $h$ . В цьому випадку довжина підземної частини коренеплоду зменшується, параметр  $\mu$  (відношення радіуса конуса до його висоти) зростає, а це призводить до збільшення впливу нелінійних ефектів. При дослідженні  $P_r$

від радіуса коренеплоду  $R$  відносна похибка складає 1,1% і зростає при збільшенні  $R$  внаслідок збільшення впливу нелінійного ефекту. Враховуючи вище сказане слідує вимога до механізму копіювання про зниження бокового зусилля  $P_G$  при копіюванні високо розташованих коренеплодів без зниження якості копіювання.

**Висновки.** Аналіз математичних залежностей, які описують процес копіювання коренеплодів, показав багатофункціональний зв'язок геометричних параметрів механізму копіювання з режимом його роботи, а також агрофізичними властивостями гички і коренеплодів.

Дослідженнями створеної математичної моделі, встановлено, що найбільший вплив на стійкість здійснює довжина коренеплоду  $L$  та висота його розташування над ґрунтом  $h$ . При збільшенні  $h$  до 0,10 м горизонтальна складова сила  $P_G$  навантаження зменшується від 400 до 150 Н. При збільшенні  $L$  до 0,5 м сила  $P_G$  змінюється в межах від 90 Н до 490 Н, що зумовлює відхилення коренеплодів  $S$  від вертикального положення від 0,01 до 0,06 м.

### Список використаних джерел

1. Аванесов Ю.Б. Уборка сахарной свеклы в сложных условиях / Ю. Б. Аванесов //Сахарная свекла. – 1983. – №8. – С. 10–15.
2. Татьяна Н. В., Бирюкова А. И., Исследование некоторых агрофизических свойств сахарной свеклы. //Труды УкрНИИСХОМ, – Харьков. - 1967. Вып. IV – С. 5–11.
3. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку / [Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М., та ін.]; за ред. Д. Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.

### Аннотация

#### **ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРНЕПЛОДОВ НА КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МЕХАНИЗМА КОПИРОВАНИЯ**

Романченко В.Н.

*Теоретические исследования влияния физико-механических характеристик корнеплодов на конструктивные параметры механизма копирования ботвоуборочной машины.*

### Abstract

#### **INFLUENCE PHYSICAL AND MECHANICAL DESCRIPTIONS OF ROOT CROPS ON THE STRUCTURAL PARAMETERS OF COPY MECHANISM**

V. Romanchenko

*Theoretical researches influence physical and mechanical descriptions of root crops on the structural parameters mechanism printing-down haulm gatherer.*