



УДК 631.356.02

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОЧИЩЕННЯ ГОЛОВКИ КОРЕНЕПЛОДУ ВІД ЗАЛИШКІВ ГИЧКИ

Головач І.В., д.т.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Скориков М.А., к.т.н.

Національний інститут винограду і вина “Магарач” НААН України

Тел.: (0654) 32-55-91, e-mail: agromagarach@mail.ru

Анотація – Наведені нові теоретичні дослідження процесу збирання гички цукрових буряків. Аналітично розглянута взаємодія пасивного копіра з головкою коренеплоду цукрового буряку. Знайдено ударний імпульс і обґрунтовані умови, при яких відбувається ефективне дообрізання головок коренеплодів буряків на кореню.

Ключові слова – математична модель, гичка, коренеплід, головка коренеплоду, пасивний копір, точка контакту, ударний імпульс.

Постановка проблеми. Високоякісне збирання гички цукрового буряку залишається актуальною задачею галузі буряківництва. Очищення головок коренеплодів від залишків гички на корені є важливою операцією технологічного процесу збирання цукрових буряків. Незначна кількість залишків гички на головках коренеплодів перед їх збиранням значно погіршує якісні показники, що в цілому може знизити якість продукції на 10-15%. Тому, видалення гички з головок коренеплодів є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз останніх досліджень. Ефективне функціонування більшості бурякозбиральних машин залежить від того, наскільки точно та чутливо буде здійснене копіювання коренеплодів, розташованих у рядку над поверхнею ґрунту. Це стосується насамперед гичкозбиральних машин, доочисників головок коренеплодів, дообрізчиків, викопуючих робочих органів деяких конструкцій. В світовій практиці широке застосування знайшли різноманітні копіювальні пристрої, які здійснюють копіювання коренеплодів буряків на корені та подальше встановлення робочих органів на потрібну висоту. Але вимоги, які пред'являються до таких пристроїв, насамперед по забезпеченню потрібного рівня якості

роботи в різних умовах збирання, простоти конструкцій, меншій металомісткості та енергомісткості не завжди виконуються.

Була розроблена схема нового дообрізчика головок коренеплодів цукрових буряків на кореню і обґрунтовані основні його конструктивні параметри [1]. Однак, ефективна робота цього пристрою гичкозбиральної машини буде лише в тому випадку, коли силові параметри взаємодії пасивного копіра з головкою коренеплоду будуть задовольняти умовам не вибивання коренеплодів з ґрунту в процесі роботи та забезпечення мінімальних їх пошкоджень при високій продуктивності.

Оскільки при роботі дообрізчика завжди відбувається удар копіра по головці коренеплоду, то виникає необхідність в дослідженні впливу конструктивних і силових параметрів дообрізчика на якісні показники його роботи.

Формулювання мети статті. Розробити основні положення теорії взаємодії копіра з головкою коренеплоду цукрового буряку при його очищенні від залишків гички.

Основна частина. Розглянемо аналітично процес взаємодії пасивного копіра з коренеплодом, який при русі вздовж рядка посівів цукрових буряків контактує з нерухомою його головкою в точці A (рис.1). Вважаємо, що копір, відхилений від горизонту на кут α , здійснює удар по головці коренеплоду. Проведемо крізь точку A осі координат $\bar{\tau}$ та \bar{n} і покажемо в точці контакту сили, які передаються головці коренеплоду від площини копіра. По-перше, це сила удару – $\bar{F}_{уд}$; вага рухомих частин дообрізчика – \bar{mg} ; сила, що примусово притискає копір до головки коренеплоду – \bar{P}_n (визначається натягом пружини, яка є в конструкції дообрізчика); сила, яка враховує сили тертя в шарнірах механізму навіски дообрізчика – \bar{F} .

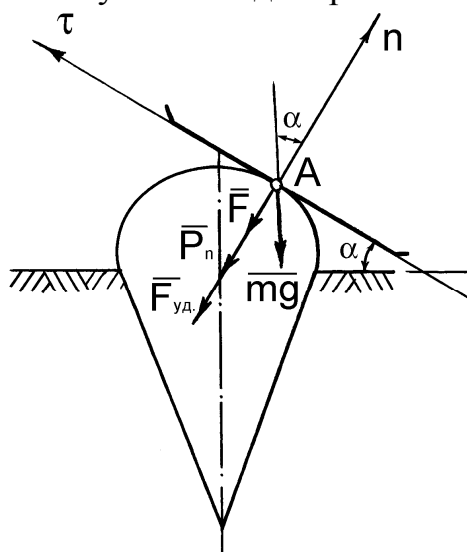


Рис. 1. Схема взаємодії пасивного копіра з коренеплодом.

Визначимо загальну силу \bar{Q} , яка діє на головку коренеплоду під час удару по ньому копіра. Вона буде дорівнювати алгебраїчній сумі проєкцій всіх сил на вісь \bar{n} , що прикладені до точки контакту А. Матимемо

$$Q = F_{y\delta} + mg \cdot \cos\alpha + P_n + F, \quad (1)$$

Складемо диференціальне рівняння руху копіра. Згідно з основним законом динаміки можна записати таке рівняння [2]

$$m \frac{d\bar{V}}{dt} = \bar{Q}, \quad (2)$$

або

$$m \cdot d\bar{V} = \bar{Q} \cdot dt. \quad (3)$$

Інтегруючи рівняння (3) від $t=0$ до $t=\tau$, де τ – час дії удару, будемо мати

$$\int_{\bar{V}_p}^{\bar{V}} m d\bar{V} = \int_0^{\tau} \bar{Q} dt, \quad (4)$$

або

$$m(\bar{V} - \bar{V}_p) = \int_0^{\tau} \bar{F}_{y\delta} dt + \int_0^{\tau} \bar{P}_n dt + \int_0^{\tau} \bar{F} dt + \int_0^{\tau} \overline{mg \cos\alpha} dt, \quad (5)$$

де \bar{V}_p – швидкість копіра до удару; \bar{V} – швидкість копіра після удару.

Згідно теореми з курсу інтегрального числення [2] про середнє можна отримати

$$m(\bar{V} - \bar{V}_p) = \int_0^{\tau} \bar{F}_{y\delta} dt + \bar{P}_{n.c.p.} \cdot \tau + \bar{F}_{c.p.} \cdot \tau + \overline{mg \cos\alpha} \cdot \tau, \quad (6)$$

де $\bar{P}_{n.c.p.}$ – середнє значення сили \bar{P}_n на відріжку $[0, \tau]$;

$\bar{F}_{c.p.}$ – середнє значення сили \bar{F} на відріжку $[0, \tau]$.

Оскільки при ударі $\tau \rightarrow 0$, то матимемо

$$m(\bar{V} - \bar{V}_p) = \bar{S} + \lim_{\tau \rightarrow 0} \bar{P}_{n.c.p.} \cdot \tau + \lim_{\tau \rightarrow 0} \bar{F}_{c.p.} \cdot \tau + \lim_{\tau \rightarrow 0} \overline{mg \cos\alpha} \cdot \tau, \quad (7)$$

де

$$\bar{S} = \lim_{\tau \rightarrow 0} \int_0^{\tau} \bar{F}_{y\delta} \cdot dt \quad (8)$$

– ударний імпульс.

Останні три границі виразу (7) дорівнюють нулю,

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} \bar{P}_{n.c.p.} \cdot \tau = 0, \quad (9)$$

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} \bar{F}_{c.p.} \cdot \tau = 0, \quad (10)$$

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} \overline{mg \cos\alpha} \cdot \tau = 0. \quad (11)$$

оскільки сили $\overline{P}_{n.c.p.}$ і $\overline{F}_{c.p.}$ повільно змінюються, а сила $\overline{mg} \cos \alpha$ взагалі не змінюється, і тому за відрізок часу $[0, \tau]$, при $\tau \rightarrow 0$ їх можна вважати майже постійними скінченими величинами.

Таким чином, якщо врахувати вирази (8)–(11), то остаточно отримуємо

$$m(\overline{V} - \overline{V}_p) = \overline{S}, \quad (12)$$

де вектор ударного імпульсу \overline{S} направлений по спільній нормалі до копіра і головки коренеплоду буряка в точці контакту A .

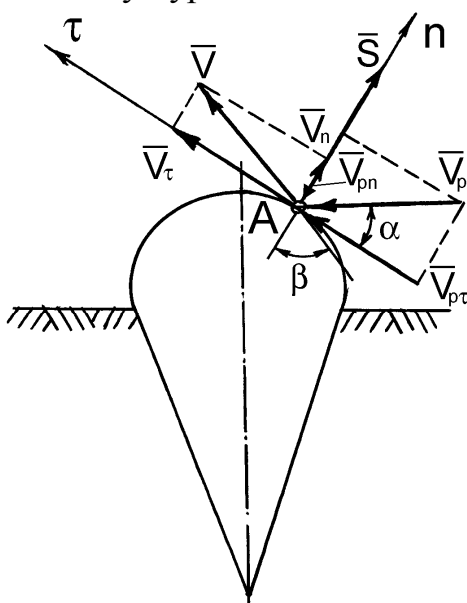


Рис. 2. Еквівалентна схема удару копіра по головці коренеплоду.

Якщо будуть відомі такі величини, як ε – коефіцієнт відновлення при ударі копіра з головкою коренеплоду буряка, та α – кут між напрямом удару і площиною копіра, то можна знайти ударний імпульс згідно відомої теорії удару [3].

Для цього ще раз розглянемо удар копіра по головці коренеплоду. Складемо еквівалентну схему, на якій покажемо систему координат τAn , а також вектори швидкостей до і після удару копіра з головкою коренеплоду (рис.2). При цьому, \overline{V}_p – швидкість копіра до удару; \overline{V} – швидкість копіра після удару; \overline{S} – вектор ударного імпульсу.

Якщо спроектувати рівняння (12) на осі $\overline{\tau}$ і \overline{n} , то отримаємо таку систему рівнянь

$$\left. \begin{aligned} V_\tau - V_{p\tau} &= 0, \\ V_n - V_{pn} &= \frac{1}{m} S. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Оскільки:

$$\left. \begin{aligned} |V_{pn}| &= V_p \cdot \sin \alpha, \\ V_{p\tau} &= V_p \cdot \cos \alpha, \\ V_n &= V \cdot \cos \beta, \\ V_\tau &= V \cdot \sin \beta. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

то, враховуючи (13), можемо записати:

$$V_\tau = V_{p\tau}, \quad (15)$$

або

$$V \cdot \sin \beta = V_p \cdot \cos \alpha, \quad (16)$$

звідки

$$V = V_p \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \beta}. \quad (17)$$

Обчислимо кут β , тобто кут відхилення вектора \bar{V} від нормалі n (яке відбулось після удару). Для цього, згідно означення коефіцієнта відновлення ε можна написати

$$\varepsilon = \frac{|V_n|}{|V_{pn}|} = \frac{V \cdot \cos \beta}{V_p \cdot \sin \alpha}, \quad (18)$$

або, враховуючи (17), матимемо

$$\varepsilon = \frac{V_p \cos \alpha \cdot \cos \beta}{\sin \beta \cdot V_p \cdot \sin \alpha} = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \cdot \frac{\cos \beta}{\sin \beta} = \frac{\operatorname{ctg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (19)$$

Отже,

$$\operatorname{ctg} \beta = \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (20)$$

і

$$\beta = \operatorname{arcctg}(\varepsilon \cdot \operatorname{tg} \alpha). \quad (21)$$

Далі обчислимо модуль вектора швидкості \bar{V} після удару. Оскільки

$$\sin \beta = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \beta}}, \quad (22)$$

то з виразу (17) отримуємо

$$V = V_p \cdot \cos \alpha \sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \beta}. \quad (23)$$

Якщо підставити (20) в (23), можна отримати значення швидкості копіра після удару

$$V = V_p \cdot \cos \alpha \sqrt{1 + \varepsilon^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}, \quad (24)$$

або

$$V = V_p \sqrt{\cos^2 \alpha + \varepsilon^2 \sin^2 \alpha}. \quad (25)$$

Далі обчислимо ударний імпульс S . Насамперед проекції швидкостей на вісь \bar{n} будуть визначатись такими виразами

280

$$V_n = -\varepsilon \cdot V_{pn}, \quad (26)$$

та

$$V_{pn} = -V_p \cdot \sin \alpha. \quad (27)$$

Далі підставимо в друге рівняння системи (13) значення швидкостей (26) та (27). Матимемо

$$S = m(V_n - V_{pn}) = m(-\varepsilon V_{pn} - V_{pn}) = -m(1 + \varepsilon)V_{pn} = m(1 + \varepsilon)V_p \cdot \sin \alpha. \quad (28)$$

Отже остаточно ударний імпульс S буде дорівнювати

$$S = m(1 + \varepsilon)V_p \cdot \sin \alpha, \quad (29)$$

де m – приведена до точки A маса дообрізчика головок коренеплодів.

Знаючи ударний імпульс S , можна наближено знайти ударну силу $F_{y\delta}$. Якщо вважати, що час дії удару τ є величина дуже мала, проте скінченна величина ($\tau \neq 0$), то

$$S = \lim_{\tau \rightarrow 0} \int_0^{\tau} F_{y\delta} \cdot dt \approx F_{y\delta} \cdot \tau, \quad (30)$$

звідки

$$F_{y\delta} \approx \frac{S}{\tau}. \quad (31)$$

Для практичного використання виразу (31) необхідно обчислити ударний імпульс S за формулою (29), а також знайти час удару τ . Це можна зробити, якщо врахувати робочу швидкість руху дообрізчика – V_p . Для цього вважаємо, що на одному погонному метрі посівів коренеплодів цукрових буряків знаходиться не більше, ніж 6 коренеплодів. Далі, якщо дообрізчик поступально рухається зі швидкістю V_p [м/с], то за проміжок часу 1 секунда дообрізчик здійснює ударний контакт з $6V_p$ коренеплодами. А тому час ударного контакту з одним коренеплодом буряка буде дорівнювати: $\tau = \frac{1}{6V_p}$ с.

Таким чином, остаточно ударна сила $F_{y\delta}$ буде дорівнювати

$$F_{y\delta} \approx 6V_p \cdot m(1 + \varepsilon)V_p \cdot \sin \alpha, \quad (32)$$

або

$$F_{y\delta} \approx 6m(1 + \varepsilon)V_p^2 \cdot \sin \alpha, \quad (33)$$

де m – приведена до точки A маса дообрізчика;

ε – коефіцієнт відновлення при ударі;

V_p – поступальна швидкість руху;

α – кут нахилу копіра до горизонту.

Для того, щоб коренеплід не був вибитий з ґрунту під час удару копіра по його головці, необхідно забезпечувати таку умову

$$P_{z.max.} \leq [P_z], \quad (34)$$

де $P_{z.max.}$ і $[P_z]$ – відповідно максимальне значення горизонтальної складової сили, яка діє з боку копіра на головку коренеплоду та її допустиме значення.

Знайдемо горизонтальну складову від сил, які діють на головку коренеплоду під час взаємодії з копіром. Як бачимо зі схеми рис. 1, ця сила буде дорівнювати

$$P_z = (F_{y\partial.} + P_n + F) \sin \alpha. \quad (35)$$

За результатами експериментальних досліджень [4, 5] встановлено, що $[P_z]$ знаходиться в межах 10...115 кгс. При значенні $[P_z]=10$ кгс з ґрунту вибивається понад 45% коренеплодів. А тому можна скласти таку умову

$$(F_{y\partial.} + P_n + F) \sin \alpha \leq 10. \quad (36)$$

Якщо підставити в (36) значення ударної сили $F_{y\partial.}$, яка визначається виразом (33), то отримуємо

$$6m(1 + \varepsilon)V_p^2 \cdot \sin^2 \alpha + P_n \sin \alpha + F \sin \alpha = 10. \quad (37)$$

З виразу (37) остаточно знайдемо аналітичний вираз робочої швидкості V_p , при якій буде здійснюватись ефективна робота дообрізчика головок коренеплодів на корені

$$V_p = \sqrt{\frac{10 - P_n \sin \alpha - F \sin \alpha}{6m(1 + \varepsilon)\sin^2 \alpha}} \quad (38)$$

Якщо підставити в формулу (38) значення величин, які в неї входять, то є можливість визначити поступальну швидкість руху дообрізчика, при якій буде здійснюватись ефективна його робота.

Якщо швидкість V_p вважати заданою, то з (37) можна визначити кут нахилу копіра α . Розв'язуючи квадратне рівняння (37) відносно невідомого $\sin \alpha$, отримуємо

$$\sin \alpha = \frac{-(P_n + F) + \sqrt{(P_n + F)^2 + 240m(1 + \varepsilon)V_p^2}}{12m(1 + \varepsilon)V_p^2}, \quad (39)$$

тоді

$$\alpha = \arcsin \frac{-(P_n + F) + \sqrt{(P_n + F)^2 + 240m(1 + \varepsilon)V_p^2}}{12m(1 + \varepsilon)V_p^2}. \quad (40)$$

Таким чином, аналітично знайдені умови, за якими можна визначити оптимальні кінематичні і конструктивні параметри копіюючого механізму дообрізчика головок коренеплодів на корені. Для використання цих рівнянь необхідно знати приведену масу дообрізчика – m , коефіцієнт відновлення при ударі копіра об головку

коренеплоду буряка – ε , та зусилля – P_n та F , які залежать від конкретної конструкторської розробки.

Проведемо розрахунок виразу (40) на ПЕОМ при наступних значеннях параметрів, які в нього входять. А саме: $P_n = 98 \text{ Н} = 10 \text{ кгс}$, $F = 18 \text{ Н} = 1,835 \text{ кгс}$, $m = 18 \text{ кг}$, $\varepsilon = 0,72$ з урахуванням того, що $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$, отримаємо проміжок $0 < \alpha < 1,006 \text{ рад.}$ або $0 < \alpha < 57,667^\circ$, на якому існують дійсні значення V_p . Отримана при розрахунках залежність представлена на рис. 3, на якому значення кута α подано в радіанах. Щоб визначити його величину в градусах, потрібно значення в радіанах помножити на $\frac{180}{\pi}$.

Як бачимо з графіка рис. 3, ефективне копіювання головок коренеплодів відбудеться, наприклад, при швидкості руху дообрізчика $V = 2 \text{ м/с}$ в разі значення кута нахилу до горизонту гребінчастого копіра $\alpha = 0,3 \text{ рад.}$ (або 17°).

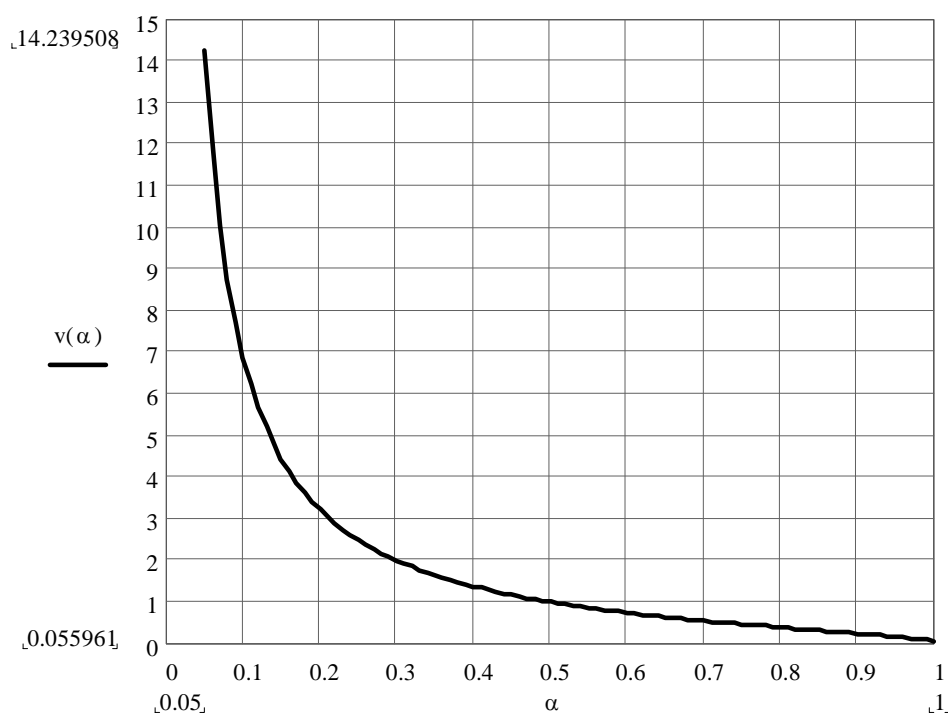


Рис. 3. Залежність кута нахилу копіра від швидкості руху дообрізчика.

Висновок. Дотримання знайдених нових аналітичних залежностей та даних конкретних розрахунків при розробці та проектуванні бурякозбиральних машин сучасного рівня забезпечить суттєве покращення якості гички і коренеплодів цукрових буряків при їх механізованому збиранні.

Література.

1. Розробка конструктивної схеми вдосконаленого дообрізчика головок коренеплодів цукрових буряків / В.М. Булгаков, І.В. Головач, О.О. Сипливець, О.П. Гурченко // Сборник Научных трудов Керченского морского технологического института "Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий". – Керчь: Изд.-во КМТИ, 2001, с. 177–180.
2. Бутенин Н. В. Курс теоретической механики / Н. В. Бутенин, Я.Л. Луни, Д. Р. Меркин.– Т.2.– М.: Наука, 1985.– 496 с.
3. Пановко Я.Г. Введение в теорию механического удара. / Я. Г. Пановко. – М.: Наука, 1977.– 187 с.
4. Зуев Н.М. Силы связи корней с почвой / Н.М. Зуев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1970, №10, с. 33.
5. Зуев Н.М. Бескопирный срез головок коренеплодов / Н.М. Зуев, С.А. Топоровский // Сахарная свекла. – 1988, №6, с. 42 – 45.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧИСТКИ ГОЛОВКИ
КОРНЕПЛОДА ОТ ОСТАТКОВ БОТВЫ**

Головач И.В., Скориков Н.А.

Аннотация – представлены новые теоретические исследования процесса уборки ботвы сахарной свеклы. Аналитически рассмотрено взаимодействие пассивного копира с головкой корнеплода свеклы. Найден ударный импульс и обоснованы условия, при которых осуществляется эффективная дообрезка головок корнеплодов свеклы на корню.

**THEORETICAL RESEARCHES OF ROOT AND PASSIVE
COPIER INTERACTION**

I. Golovach, M. Skorikov

Summary

The new theoretical researches of cleaning process of sugar beet tops are submitted. Interaction between passive copier and sugar beet head is analytically considered. The shock pulse is found and the reasonable conditions, which result effective trimming of sugar beet tops in soil, is substantiated.