

УДК 631.356.02

УДАРНА ВЗАЄМОДІЯ КОРЕНЕПЛОДУ З КОПРОМ ПРИ ДООЧИЩЕННІ ВІД ЗАЛИШКІВ ГИЧКИ

Головач І.В

Черниш О.М

Національний університет біоресурсів і природокористування

Василюк В.І

*Відокремлений підрозділ “Ніжинський агротехнічний інститут” Національного
університету біоресурсів і природокористування*

Леженкін О.М

Таврійський державний агротехнологічний університет

Приведены новые теоретические исследования процесса сбора ботвы сахарной свеклы. Аналитически рассмотрено взаимодействие пассивного копира с головкой корнеплода сахарной свеклы. Найдено ударный импульс и обоснованы условия, при которых происходит эффективная обрезка головок корнеплодов свеклы на корню.

These new theoretical study of the gathering of sugar beet tops. Analytical The interaction of passive copier of head sugar beet roots. Found impact momentum and reasonable conditions under which there is effective crop heads beet roots for root.

Постановка проблеми

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 кореню і 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.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Питаннями теоретичних досліджень зрізу гички з головок коренеплодів присвячені чисельні праці П. М. Василенка, В. М. Булгакова, Л. В. Погорілого, П. В. Савича, М. В. Татьяна [1, 3, 4, 5, 6].

Постановка завдання

Завданням даного дослідження є аналітичне визначення залежностей між режимом роботи пасивного копира головок коренеплодів та його конструктивними параметрами.

Виклад основного матеріалу дослідження

Нами була розроблена схема нового дообрізчика головок коренеплідів 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 коренеплідів 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.

Розглянемо аналітично процес взаємодії пасивного копіра з коренеплодом, який при русі вздовж рядка посівів цукрових буряків контактує з нерухою 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 – $\bar{F}_{y\delta}$; вага рухомих частин дообрізчика – $\bar{m}g$; 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} .

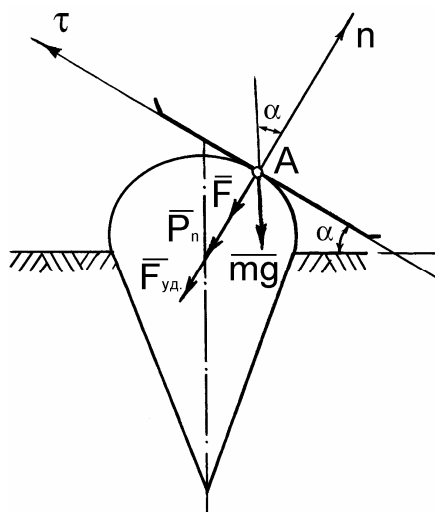


Рис. 1. Схема взаємодії пасивного копіра з коренеплодом

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 A . Матимемо

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

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

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

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 [8] про середнє можна отримати:

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

де $\bar{P}_{n.c.p.}$ – середнє значення сили \bar{P}_n на відрізку $[0, \tau]$. $\bar{F}_{c.p.}$ – середнє значення сили \bar{F} на відрізку $[0, \tau]$.Оскільки при ударі $\tau \rightarrow 0$, то матимемо

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

де

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

– ударний імпульс.

Останні три границі виразу (7) дорівнюють нулю,

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

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

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

оскільки сили $\bar{P}_{n.c.p.}$ і $\bar{F}_{c.p.}$ 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:

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

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

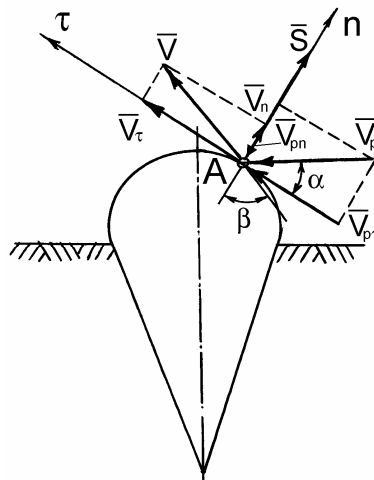


Рис. 2. Еквівалентна схема удару копіра по головці коренеплоду

Якщо будуть відомі такі величини, як ε – коефіцієнт відновлення при ударі копіра об головку 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 об головку коренеплоду (рис.2). При цьому, \bar{V}_p – швидкість копіра до удару; \bar{V} – швидкість копіра після удару; \bar{S} – вектор ударного імпульсу.

Якщо спроектувати рівняння (12) на осі $\bar{\tau}$ і \bar{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:

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

то, враховуючи (13), можемо записати:

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

або

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

звідки

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

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

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

або, враховуючи (17), матимемо

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

Отже,

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

і

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

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

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

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

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

або

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

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

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

та

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

Далі підставимо в друге рівняння системи (13) значення швидкостей пасивного копіра головок коренеплодів (26) та (27). Матимемо наступний вираз для ударного імпульсу

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

Отже остаточно ударний імпульс S буде дорівнювати

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

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

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

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

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 $V_p \left[\frac{m}{c} \right]$, 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: $\tau = \frac{1}{6V_p} c$.

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

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

або

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

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 забезпечити щоб максимальне значення горизонтальної складової сили, яка діє з боку копіра на коренеплід не перевищувало її допустимого значення

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

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

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

За результатами експериментальних досліджень [4] 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

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

Якщо підставити в (36) значення ударної сили вибивання коренеплодів цукрових буряків $F_{y\delta}$, яка визначається виразом (33), то отримуємо

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

З виразу (37) остаточно знайдемо аналітичний вираз робочої швидкості V_p пасивного копіра головок коренеплодів цукрових буряків, 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 пасивного копіра головок коренеплодів вважати заданою, то з (37) можна визначити кут нахилу копіра α відносно горизонтальної площини. 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, ефективно 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°).

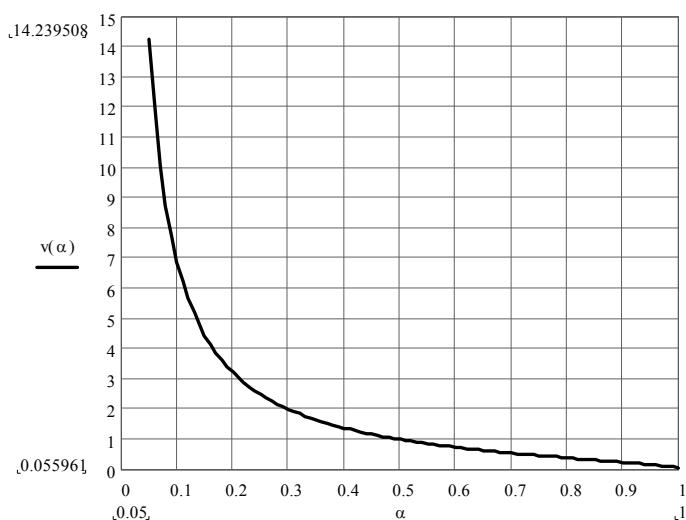


Рис. 3. Залежність кута нахилу копіра від швидкості руху дообрізка

Висновки

1. Встановлено, що конструкційна схема пасивного копіра забезпечує ефективне копіювання головок коренеплодів при швидкості руху дообрізка $V = 2$ м/с в разі значення кута нахилу до горизонту гребінчастого копіра $\alpha = 0,3$ рад.

2. 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. Булгаков В.М., Головач І.В., Сипливець О.О., Гурченко О.П. Розробка конструктивної схеми вдосконаленого дообрізка головок коренеплодів цукрових буряків. – 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., Луцк Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. Т.2. – М.: Наука, 1985. – 496 с.
3. Василенко П. М., Погорельий Л. В. Основы научных исследований. – К.: Вища школа, 1984. – 266 с.
4. Зуев Н.М. Силы связи корней с почвой. – Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1970, №10, с. 33.
5. Комплексная механизация производства сахарной свеклы / [А. А. Василенко, П. Т. Бабий, П. В. Савич и др.]. – К., 1962. – 243 с.
6. Погорельий Л. В., Татьянако Н. В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз. – К.: Феникс, 2004. – 232 с.
7. Пановко Я.Г. Введение в теорию механического удара. – М.: Наука, 1977. – 187 с.
8. Фильчаков П. Ф. Справочник по высшей математике / П. Ф. Фильчаков – К.: Наукова думка, 1974 – 743 с.