



Механізація, електрифікація

УДК 631.356.22

© 2017

*В.В. Адамчук,
академік НААН,
доктор технічних наук*

*Національний
науковий центр
«Інститут механізації
та електрифікації
сільського господарства»*

*В.М. Булгаков,
академік НААН,
доктор технічних наук*

*І.В. Головач,
доктор технічних наук*

*Національний
університет біоресурсів
і природокористування
України*

*Є.І. Ігнат'єв
Таврійський державний
агротехнологічний
університет*

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ ПЛОСКОГО КОПІРА ІЗ ЗАЛИШКАМИ ГИЧКИ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ

Мета. Визначення оптимальних конструктивних і кінематичних параметрів копіювального пристрою обрізувача головок коренеплодів на основі створення математичної моделі взаємодії плоского пасивного копіра з головками коренеплодів. **Методи.** Застосовано методи побудови математичних моделей функціонування сільськогосподарських машин і їхніх робочих органів з використанням основних положень математики, теоретичної механіки, розробки програм і чисельних розрахунків на ПК. **Результати.** Наведено результати дослідження процесу взаємодії пасивного копіра з головкою коренеплоду буряків цукрових, а також результати чисельного моделювання розроблених систем диференціальних рівнянь для визначення силових і конструктивних параметрів з метою оптимізації кінематичних та конструктивних параметрів копіювального пристрою. **Висновки.** Представлена силова схема взаємодії пасивного копіра і сферичної поверхні головки коренеплоду створила передумови для розроблення теорії процесу взаємодії пасивного копіра з головкою коренеплоду буряків цукрових з урахуванням пружно-демпфувальних властивостей залишків гички.

Ключові слова: буряки цукрові, збирання, гичка, копір, рівняння руху, математична модель, конструктивні параметри.

Передові технології збирання буряків цукрових передбачають перед викопуванням коренеплодів із ґрунту початкове виконання зрізу основної маси гички й наступне остаточне обрізування головок на корені. Тому

ефективне функціонування більшості бурякозбиральних машин залежить від того, наскільки точно буде здійснено копіювання коренеплодів. Це стосується більшості гичкозбиральних машин, очисників головок

коренеплодів, обрізувачів, викопувальних робочих органів деяких конструкцій. У світовій практиці значне поширення одержали різноманітні механічні пристрої, які здійснюють копіювання головок коренеплодів буряку на корені й установлення зрізувальних або очищувальних робочих органів на потрібну робочу висоту. До них належать пасивні, активні (приводні, барабанні) та комбіновані копії. Однак вимоги щодо потрібного рівня якості роботи в різних умовах збирання, простоти конструкції, металоемності й енергоемності не завжди виконуються.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Видаленню залишків гички буряків цукрових після її суцільного зрізування на корені різальними апаратами присвячено багато наукових праць [1–6]. У них викладено результати досліджень очисників головок коренеплодів різних конструкцій: лопатевих [1, 4, 6], кільцевого [5], секторного [7] і барабанного [2] типів та у вигляді параболоїда [3]. Технологічні процеси збирання гички буряків цукрових і кормових багато в чому подібні, але дослідженню збирання гички буряків цукрових присвячено лише експериментальні роботи [5, 9].

Теоретичні дослідження руху пасивного гребінчастого копіра по головках коренеплодів буряків цукрових також досить докладно розглянуто [10], проте результати ґрунтуються переважно на використанні геометричних залежностей, а математичної моделі цього процесу не розроблено.

У роботі [1] розглянуто ударну взаємодію плоского пасивного копіра, нахиленого в повздовжньо-вертикальній площині, з головкою коренеплоду буряків цукрових, розміщеною нерухомо в ґрунті. Представлена теорія розглядає окремий випадок такої взаємодії, коли головка коренеплоду позбавлена залишків гички і вважається абсолютно твердим тілом.

Варто зазначити, що нині у світі значне поширення одержали найпростіші дообрізувачі головок коренеплодів буряків цукрових від залишків гички, які складаються з установлених на одній рамці спереду гребінчастого копіра і закріпленого позаду нього плоского ножа. Однак, як свідчать результати всебічних багаторічних випробувань таких конструкцій дообрізувачів, використання в даному разі

гребінчастих копірів призводить до того, що короткі залишки гички (черешки), як правило, потрапляють у проміжки між гребінками копіра, який безпосередньо контактує з головкою коренеплоду. При цьому гребінки наносять глибокі травми тілам коренеплодів буряків цукрових і встановлюють більшу висоту обрізування. Це призводить до того, що під час дообрізування головок коренеплодів буряків цукрових втрачається до 6–8% цукроносної маси, у верхніх частинах тіл коренеплодів утворюються вертикальні тріщини, через підвищену площу зрізу інтенсивніше втрачається цукроносна сировина [14, 15]. З використанням простих конструкцій дообрізувачів за швидкості руху більше $2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ з'являється періодичне підсакування, що призводить до неякісного обрізування деяких головок коренеплодів.

Зазначені вище недоліки можна усунути застосуванням дообрізувачів нових конструкцій, коли в їхніх схемах використовуються плоскі копії.

Мета досліджень — визначити оптимальні конструктивні і кінематичні параметри копіювального пристрою обрізувача головок коренеплодів на основі створення математичної моделі взаємодії плоского пасивного копіра з головками коренеплодів за їх обрізування на корені.

Методи досліджень. Застосовано методи побудови математичних моделей функціонування сільськогосподарських машин і їхніх робочих органів із використанням основних положень математики, теоретичної механіки, складання програм і чисельних розрахунків на ПК.

Результати досліджень. На основі статистичних розмірно-масових характеристик коренеплодів буряків цукрових і їх розташування в рядках посівів деякі основні конструктивні параметри обрізувача можуть бути прийняті конструктивно або розраховані за відомими досить простими залежностями.

В умовах, найбільш близьких до реальних, взаємодія плоского пасивного копіра в початковий момент часу відбувається фактично з короткими й пружними пучками гички, які залишилися на бічній і центральній поверхнях сферичної головки коренеплоду після суцільного зрізу гички ротаційним робочим органом. Тому ця взаємодія вже буде

нежорсткою, якщо брати до уваги пружні і демпфувальні властивості залишків гички.

Складемо еквівалентну схему взаємодії плоского пасивного копіра з головкою коренеплоду буряків цукрових. Копір установлений під кутом α нахилу до горизонту, рухається поступально зі швидкістю \vec{V}_p і, наїжджаючи на головку коренеплоду буряків цукрових, спочатку починає контактувати з пружними залишками гички, розташованими на бічній сферичній поверхні головки коренеплоду (рис. 1).

При цьому коренеплід буряків цукрових моделюється у вигляді жорстко закріпленої в ґрунті конічної частини, а верхня його частина — головка, виступає на деяку висоту над рівнем поверхні ґрунту й умовно вважається в повздовжньо-вертикальній площині окружністю радіуса R . Центр головки коренеплоду позначено точкою O .

Пружні й демпфувальні властивості залишків гички на головці коренеплоду буряку на еквівалентній схемі показано у вигляді пружно-демпфувальної моделі, що має відповідні коефіцієнти s жорсткості та μ демпфірування. Взаємодія плоского копіра із зазначеною моделлю коренеплоду й залишками гички на його головці здійснюється в точці A .

Проведемо через точку A систему прямокутних натуральних координат $\bar{\tau}\bar{A}\bar{n}$, у якій вісь $\bar{\tau}$ проходить через площину копіра по дотичній до головки коренеплоду в точці контакту, а вісь \bar{n} спрямована по нормалі до головки коренеплоду вгору.

Позначимо всі сили, які діють на копір під час контакту з головкою коренеплоду буряку. Це насамперед рушійна горизонтальна сила \vec{F}_{st} ; додаткова сила пружини \vec{F}_{sp} , передбачена конструкцією обрізувача; сила \vec{F}_{sr} , що враховує тертя в шарнірах паралелограмного механізму обрізувача. Зазначені 3 сили прикладені в точці A — точці контакту пасивного копіра з пучком залишків гички, причому сили \vec{F}_{sp} й \vec{F}_{sr} прикладені до пасивного плоского копіра по нормалі, тобто розташовані уздовж осі \bar{n} . До точки A прикладено також силу \vec{G} ваги копіра, спрямовану вертикально вниз. Крім того, у точці A вздовж нормалі \bar{n} прикладено сили пружності гички \vec{F}_c і в'язкого опору \vec{F}_μ . Уздовж дотичної $\bar{\tau}$ прикладено силу тертя \vec{F}_{tp} ,

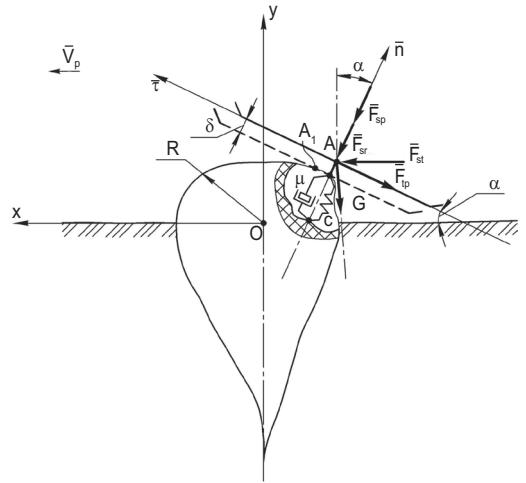


Рис. 1. Еквівалентна схема взаємодії пасивного копіра і головки коренеплоду буряків цукрових

що виникає внаслідок переміщення копіра по головці коренеплоду буряку.

З урахуванням отриманої схеми сил на підставі основного закону динаміки матеріальної точки запишемо диференціальне рівняння руху плоского копіра по головці коренеплоду буряку у векторній формі:

$$m\vec{a} = \vec{F}_{st} + \vec{F}_{sr} + \vec{F}_{sp} + \vec{F}_c + \vec{F}_\mu + \vec{F}_{tp} + \vec{G}, \quad (1)$$

де \vec{a} — прискорення переміщення плоского копіра по головці коренеплоду буряку; m — маса плоского копіра.

Рух копіра розглядатимемо в абсолютній нерухомій системі декартових координат xOy , де вісь Ox спрямована горизонтально в бік руху копіра, а вісь Oy — вертикально вгору, початок координат (точка O) розташований у центрі окружності, верхня частина якої моделює форму поверхні головки коренеплоду.

Визначимо значення всіх сил, що входять у векторне рівняння (1). Сили пружності \vec{F}_c і в'язкого опору (демпфірування) \vec{F}_μ вважатимемо такими, що виникають у результаті деформації γ та швидкості деформації $\dot{\gamma}$ пружних залишків (черешків) гички і діють у напрямі нормалі n до поверхні головки коренеплоду буряку. Причому деформація пружних залишків гички багато в чому залежить від розміщення черешків на головці коренеплоду перед початком

контакту з поверхнею копіра. Так, на початку контакту одні черешки можуть піддаватися деформації стиску, другі — вигину, а треті — стиску й вигину одночасно. Однак, як тільки черешки будуть притиснутими плоскою поверхнею копіра до головки коренеплоду, можна вважати, що цей пучок зігнутих черешків надалі піддаватиметься деформації стиску аж до часткового зминання. Тому саме цей пучок стиснутих черешків залишків гички і створюватиме пружно-в'язкий опір безпосередньому контакту плоского копіра зі сферичною поверхнею головки коренеплоду буряку, захищаючи її від ушкоджень. Очевидно, що в загальному випадку величина деформації γ і швидкість цієї деформації $\dot{\gamma}$ можуть залежати від координат x, y положення копіра, швидкості V переміщення копіра по головці коренеплоду й часу t цього переміщення. Тому значення цих сил доцільно визначати згідно з такими виразами:

$$\begin{aligned} F_c &= c \cdot \gamma(x, y, V, t), \\ F_\mu &= \mu \cdot \dot{\gamma}(x, y, V, t), \end{aligned} \quad (2)$$

де $\gamma(x, y, V, t)$, $\dot{\gamma}(x, y, V, t)$ — відповідно величина деформації і швидкість деформації пучка залишків (черешків) гички, що перебувають одночасно в контакті з поверхнею копіра; c — коефіцієнт пружної деформації пучка залишків (черешків) гички, $\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$; μ — коефіцієнт в'язкого опору (демпфірування) пучка залишків (черешків) гички, $\text{H} \cdot \text{c} \cdot \text{m}^{-1}$.

Виразимо величину деформації γ і швидкість деформації $\dot{\gamma}$ коротких залишків гички через координати положення копіра під час його руху по головці коренеплоду буряку в довільний момент часу.

Нехай на початку контакту, коли вже всі черешки пучка залишків гички, що потрапили в площу контакту, притиснуто плоскою поверхнею копіра до головки коренеплоду, товщина утвореного шару із залишків гички дорівнюватиме δ_0 . За подальшого руху копіра по головці коренеплоду зазначений шар залишків гички починає стискуватися. Нехай у довільний момент часу товщина шару стиснутих залишків гички стане рівною δ , тоді деформація γ зазначеного шару в цей момент часу дорівнює:

$$\gamma = \delta - \delta_0. \quad (3)$$

Оскільки копір рухається по головці коренеплоду безвідривно, то в довільний момент часу, коли копір перебуває в точці $A(x, y)$, товщина шару δ , виражена через координати точки A , дорівнюватиме:

$$\delta = \sqrt{x^2 + y^2} - R, \quad (4)$$

де R — радіус головки коренеплоду буряку.

З урахуванням виразу (3) деформація шару залишків гички в довільній точці A визначатиметься таким виразом:

$$\gamma = \sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_0. \quad (5)$$

Диференціюючи вираз (5) за часом t , одержимо швидкість зазначеної деформації в довільний момент часу. Маємо:

$$\dot{\gamma} = \frac{x\dot{x} + y\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}}. \quad (6)$$

З огляду на вираз (2) та вирази (5) і (6) одержуємо значення сили пружності деформації стиснутого пучка залишків гички в такому вигляді:

$$F_c = c \left(\sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_0 \right) \quad (7)$$

і сили в'язкого опору (демпфірування):

$$F_\mu = \mu \left(\frac{x\dot{x} + y\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right). \quad (8)$$

За силовою схемою (рис. 1), величина сили тертя дорівнюватиме:

$$\begin{aligned} F_{\text{tp}} &= f [F_{\text{sp}} + F_{\text{sr}} - F_c - F_\mu - F_{\text{st}} \times \\ &\times \cos(\hat{x}, \hat{n}) + G \cdot \cos(\hat{y}, \hat{n})], \end{aligned} \quad (9)$$

де f — коефіцієнт тертя поверхні залишків (черешків) гички об поверхню плоского пасивного копіра.

У проєкціях на осях Ox і Oy координат векторне рівняння (1) запишеться у вигляді системи диференціальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= F_{\text{st}} - F_{\text{sr}} \cos(\hat{x}, \hat{n}) - F_{\text{sp}} \cos(\hat{x}, \hat{n}) + \\ &+ F_c \cos(\hat{x}, \hat{n}) + F_\mu \cos(\hat{x}, \hat{n}) - \\ &- F_{\text{tp}} \cos(\hat{x}, \hat{V}), \\ m\ddot{y} &= -F_{\text{sr}} \cos(\hat{y}, \hat{n}) - F_{\text{sp}} \cos(\hat{y}, \hat{n}) + \\ &+ F_c \cos(\hat{y}, \hat{n}) + F_\mu \cos(\hat{y}, \hat{n}) - \\ &- F_{\text{tp}} \cos(\hat{y}, \hat{V}) - G, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

де $\cos(\hat{x}, \hat{n})$, $\cos(\hat{y}, \hat{n})$ — напрямні косинуси вектора нормалі \hat{n} до осей Ox і Oy відповідно; $\cos(\hat{x}, \hat{V})$, $\cos(\hat{y}, \hat{V})$ — напрямні косинуси вектора швидкості \hat{V} до осей Ox і Oy відповідно; \hat{x} , \hat{y} — проєкції вектора швидкості \hat{V} на осі Ox й Oy відповідно.

Далі згідно з роботою [13], визначивши напрямні косинуси і враховуючи, що головка коренеплоду буряків цукрових має сферичну форму, визначимо модулі градієнта функції і швидкості точки:

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}, \quad (11)$$

$$V = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}. \quad (12)$$

Підставляючи у вираз (10) отримані значення, і після певних перетворень отримуємо таку систему диференціальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} = & \frac{F_{st}}{m} - \frac{x}{mR} \left[c(\sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_0) + \right. \\ & + \mu \left(\frac{x\dot{x} + y\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) - F_{sr} - F_{sp} \left. \right] - \\ & - \frac{\dot{x}f}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} \left[F_{sr} + F_{sp} - c(\sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_0) \right] - \\ & - \mu \left(\frac{x\dot{x} + y\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \left[-\frac{x}{R} F_{st} + \frac{y}{R} G \right], \\ \ddot{y} = & -\frac{y}{mR} \left[c(\sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_0) + \right. \\ & + \mu \left(\frac{x\dot{x} + y\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) - F_{sr} - F_{sp} \left. \right] - \\ & - \frac{\dot{y}f}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} \left[F_{sr} + F_{sp} - c(\sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_0) \right] - \\ & - \mu \left(\frac{x\dot{x} + y\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \left[-\frac{x}{R} F_{st} + \frac{y}{R} G \right] - g. \end{aligned} \right\} (13)$$

Ця система диференціальних рівнянь (13) являє собою розрахункову математичну модель безвідривного руху плоского копіра саме в тій частині головки коренеплоду буряку, де найімовірніше

був можливий твердий удар, що завжди призводить до ушкодження верхньої частини коренеплоду буряку або до вибивання всього коренеплоду з ґрунту. Крім того, отримана система (13) — це система диференціальних рівнянь другого порядку, яку можна розв'язати чисельними методами з використанням ПК і для окремого випадку, скажімо, коли зусилля, що діють під час роботи цієї динамічної системи, мають постійні і максимальні значення.

Початковими умовами для розв'язання системи диференціальних рівнянь (13) будуть такі умови:

$$\text{при } t=0: x = x_0, y = y_0, \dot{x} = V_p, \dot{y} = 0. \quad (14)$$

На початку контакту копіра з головкою коренеплоду бічні черешки максимально деформуються, створюючи максимальні пружні $F_{c \max}$ і демпфувальні $F_{\mu \max}$ зусилля, що пом'якшують ударне навантаження, замінюючи його більш плавною контактною взаємодією.

З урахуванням цих зауважень розглянемо рух копіра по головці коренеплоду на самому початку його контакту з коренеплодом. Тоді для цієї початкової ділянки контакту система диференціальних рівнянь (13) значно спрощується і в кінцевому випадку остаточно отримуємо:

• закон зміни швидкості переміщення копіра по головці коренеплоду на початку контакту:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} = & \frac{F_{st}}{m} t + (F_{sr} + F_{sp} - F_{c \max} - F_{\mu \max}) \frac{\sin \alpha}{m} t - \\ & - (F_{sp} + F_{sr} - F_{c \max} - F_{\mu \max} + F_{st} \sin \alpha + \\ & + G \cos \alpha) \frac{f \cos \alpha}{m} t + V_p, \\ \dot{y} = & (F_{c \max} + F_{\mu \max} - F_{sr} - F_{sp}) \frac{\cos \alpha}{m} t - \\ & - (F_{sp} + F_{sr} - F_{c \max} - F_{\mu \max} + \\ & + F_{st} \sin \alpha + G \cos \alpha) \frac{f \sin \alpha}{m} t - gt. \end{aligned} \right\} (15)$$

• закон переміщення копіра по головці коренеплоду на початку контакту:

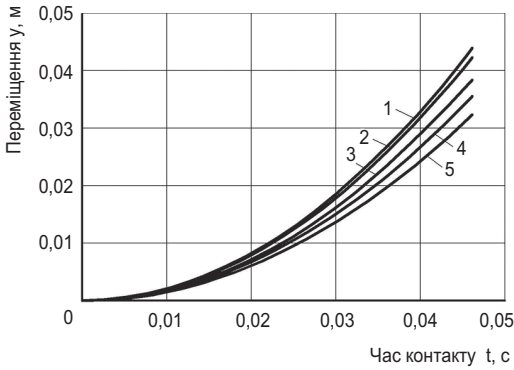


Рис. 2. Залежності переміщення у копіра по головці коренеплоду від часу контакту t за кута нахилу α : 1 – $\alpha=5^\circ$; 2 – $\alpha=15^\circ$; 3 – $\alpha=25^\circ$; 4 – $\alpha=30^\circ$; 5 – $\alpha=35^\circ$

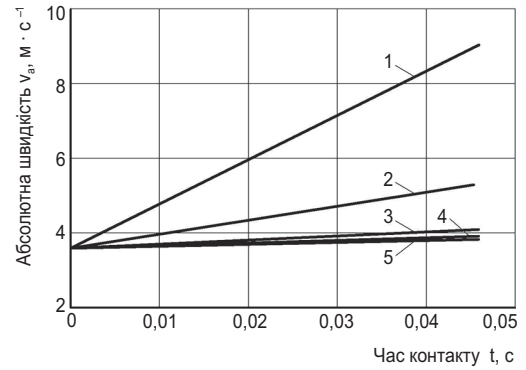


Рис. 3. Залежності абсолютної швидкості V_a копіра від часу контакту t за кута нахилу $\alpha=5^\circ$ для різної маси: 1 – $m=1$ кг; 2 – $m=3$ кг; 3 – $m=10$ кг; 4 – $m=15$ кг; 5 – $m=20$ кг

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{F_{st}}{2m} t^2 + (F_{sr} + F_{sp} - F_{c\max} - F_{\mu\max}) \times \\ &\times \frac{\sin \alpha}{2m} t^2 - (F_{sp} + F_{sr} - F_{c\max} - F_{\mu\max} + \\ &+ F_{st} \sin \alpha + G \cos \alpha) \frac{f \cos \alpha}{2m} t^2 + V_p t + x_0, \\ y &= (F_{c\max} + F_{\mu\max} - F_{sr} - F_{sp}) \frac{\cos \alpha}{2m} t^2 - \\ &- (F_{sp} + F_{sr} - F_{c\max} - F_{\mu\max} + \\ &+ F_{st} \sin \alpha + G \cos \alpha) \frac{f \sin \alpha}{2m} t^2 - \frac{gt^2}{2} + y_0. \end{aligned} \right\} (16)$$

Для того, щоб коренеплід не був вибитий із ґрунту під час удару плоского пасивного копіра по його головці, потрібно забезпечити умову невибивання коренеплоду буряку з ґрунту:

$$\begin{aligned} &F_{st} + (F_{sr} + F_{sp} - F_{c\max} - F_{\mu\max}) \sin \alpha - \\ &- f(F_{sr} + F_{sp} - F_{c\max} - F_{\mu\max} + F_{st} \sin \alpha + \\ &+ G \cos \alpha) \cos \alpha < [P_g]. \end{aligned} \quad (17)$$

Ця нерівність є перевіркою для будь-якого набору сил, що входять у його ліву частину.

Залежності переміщення плоского копіра у вертикальній площині по головці коренеплоду на початку контакту наведено на рис. 2.

Аналізуючи рис. 2, можна зробити висновок, що переміщення у інтенсивно зростає впродовж контакту плоского копіра з коренеплодом буряків цукрових, а збільшення кута нахилу α призводить до зменшення значення переміщення у.

Результати чисельного моделювання отриманої системи рівнянь для визначення параметрів копіра під час його руху по головці коренеплоду за поступальної швидкості $V=1$ км·год⁻¹ наведено на рис. 3.

Враховуючи те, що за поступальної швидкості руху $V=3,6$ м·с⁻¹ значення абсолютної швидкості V_a на початку контакту плоского копіра з коренеплодом буряків цукрових може перевищувати її в 2–2,5 рази і стрімко зростає за дуже короткий проміжок часу, обрати конструктивні параметри копіра та його системи підвісу без наведених вище залежностей і розробленої математичної моделі не є можливим. Аналіз залежностей свідчить про те, що збільшення маси m копіра до 10 кг зумовлює значне зменшення його абсолютної швидкості, а отже, і вертикальних коливань.

Висновки

Створено нову теорію процесу взаємодії пасивного копіра з головною коренеплоду буряків цукрових. Для цього розроблено еквівалентну схему взаємодії пасивного копіра й сферичної

поверхні головки коренеплоду буряку. При цьому контактні враховують пружно-демпфувальні властивості залишків гички (черешків), представлені у вигляді моделі з пружними

і в'язкими властивостями. У точках контакту на зазначених схемах прикладені всі діючі при цьому сили. З використанням основного закону динаміки складено нову систему диференціальних рівнянь, що описує рух плоского пасивного копіра по сферичній поверхні головки коренеплоду буряків цукрових, на якій містяться залишки гички. Після подвійного інтегрування отримано закони зміни швидкості переміщення й самого переміщення плоского

пасивного копіра по головці коренеплоду на початку контакту. При цьому враховано умову невививання тіл коренеплодів буряку з ґрунту. Використання отриманих нових аналітичних залежностей і результатів конкретних чисельних розрахунків на ПК під час розробки й проектування бурякозбиральних машин забезпечить істотне поліпшення якості гички і коренеплодів буряків цукрових під час їхнього механізованого збирання.

Бібліографія

1. *Bulgakov V.* Study on the interaction of feeler and roots within the topping process of sugar beet. — Bulletin of the Transylvanian University of Braşov. — V. 9 (44) — New Series. Series A, 2002. — P. 79–84.
2. *Свеклоборочные машины.* Конструирование и расчет/Л.В. Погорельый, Н.В. Татьяна, В.В. Брей и др.; под ред. Л.В. Погорелого. — К.: Техніка, 1983. — 168 с.
3. *Хелемендик М.М.* Напрями і методи розробки нових робочих органів сільськогосподарських машин/М.М. Хелемендик. — К.: Аграр. наука, 2001. — 280 с.
4. *Бендера І.М.* Обґрунтування способу та конструкції машини для відокремлення гички від коренеплодів цукрових буряків/І.М. Бендера, М.М. Борис, А.М. Борис//Вісн. Львів. НАУ: агроінженерні дослідження. — Львів: НАУ, 2008. — № 12(2). — 762 с.
5. *Ліннік А.* Визначення динамічних параметрів жорсткого очисника при взаємодії з коренеплодом/А. Ліннік//Вісн. ТНТУ. — 2014. — Т. 73. — № 1. — С. 165–171.
6. *Борис А.М.* Моделювання технологічного процесу видалення гички комбінованим способом/А.М. Борис//Вісн. аграр. науки. — 2011. — № 7. — С. 66–68.
7. *Smith L.* The effect of defoliator flail configuration, speed and crown removal on sugarbeet yield, quality and profitability/L. Smith//Sugarbeet Research and Extension Reports. — 1991. — V. 22. — P. 222–227.
8. *Мартыненко В.Я.* Обоснование конструктивных параметров очистителей головок коренеплодов/В.Я. Мартыненко//Проблемы и перспективы создания свеклоборочной техники: материалы междунар. науч.-практ. конф. — Винница, 1996. — С. 41–44.
9. *Гурченко А.П.* Механизация уборки ботвы сахарной свеклы/А.П. Гурченко, Я.В. Савченко//Техника в сельском хозяйстве. — М.: Урожай, 1986. — № 9. — С. 15–17.
10. *Ігнат'єв Є.І.* Розробка нової конструктивно-технологічної схеми збирання гички цукрового буряку з використанням орно-просапного трактора/Є.І. Ігнат'єв//Вісн. аграр. науки. — 2016. — № 8. — С. 67–71.
11. *Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: учебник для вузов сельскохозяйственного назначения/Е.С. Босой, О.В. Верняев, И.И. Смирнов, Е.Г. Султан-Шах; под ред. Е.С. Босого.* — 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1978. — 568 с.
12. *Бутенин Н.В.* Курс теоретической механики/Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркин. — М.: Наука, 1985. — Т. 2. — 496 с.
13. *Василенко П.М.* Введение в сельскохозяйственную механику/П.М. Василенко. — К.: Сельхозобразование, 1996. — 252 с.
14. *Погорельый Л.В.* Свеклоборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз/Л.В. Погорельый, Н.В. Татьяна. — К.: Феникс, 2004. — 232 с.
15. *Булгаков В.М.* Бурякозбиральні машини: моногр./В.М. Булгаков. — К.: Аграр. наука, 2011. — 351 с.

Надійшла 30.05.2017.