



УДК 631.356.02

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ НА ПЕОМ ЗУСИЛЬ, ЩО ДІЮТЬ В ТОЧЦІ КОНТАКТУ НОВОГО ВІДОКРЕМЛЮВАЧА ГИЧКИ З ГОЛОВКОЮ КОРЕНЕПЛОДУ

Борис А. М.

Національний університет біоресурсів і природокористування України
Тел.. (044) 267-82-26

Анотація – На підставі побудованої математичної моделі руху очисного елемента нового відокремлювача гички по головці коренеплоду цукрових буряків та розв'язку отриманих виразів на ПЕОМ отримані аналітичні залежності зусиль у вказаній точці контакту. Були, також, побудовані графічні залежності зміни складових нормальної реакції в точці контакту робочого елемента з головкою коренеплоду. Значення складових нормальної реакції були використані у подальшому для силового аналізу вказаної взаємодії.

Ключові слова – математична модель, гичка, коренеплід, головка коренеплоду, робочий елемент, точка контакту, силова взаємодія.

Постановка проблеми. Цукрові буряки у світі є стратегічною культурою, оскільки цукор, жом та зелена маса гички є корисними продуктами для людей та тварин. Ключовим питанням при вирощування цукрових буряків є їх збирання. Особливої уваги заслуговує операція відокремлення гички з головок на корені. 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, відокремлення гички з головок коренеплодів є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз останніх досліджень. Питаннями теоретичних та експериментальних досліджень відокремлення гички з головок коренеплодів присвячені чисельні праці П. М. Василенка, В. М. Булгакова, Л. В. Погорілого, П. В. Савича, М. В. Татьянка [1, 2, 3, 4].

Формулювання мети статті. Аналітичне визначення зусиль, які виникають в точці контакту робочого елемента відокремлювача гички з головкою коренеплоду.

Основна частина. Для визначення зусиль, що виникають при взаємодії робочого елемента з головкою коренеплоду нами насамперед побудована еквівалентна схема (рис. 1), на якій робочий елемент при обертальному русі, а також поступальному переміщені контактує з головкою коренеплоду.

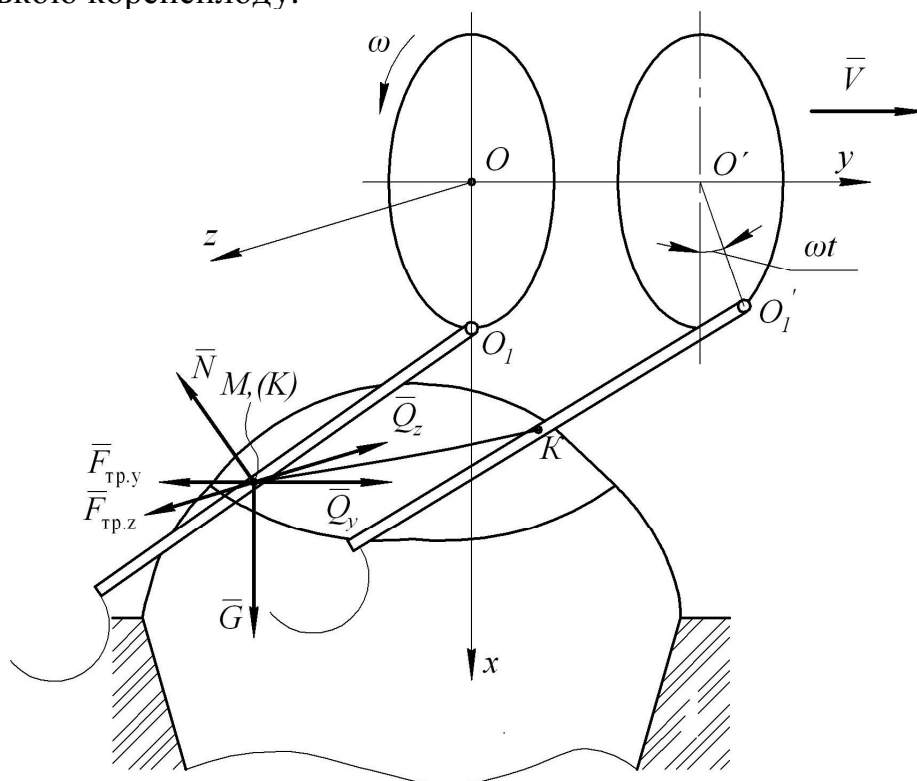


Рис. 1. Еквівалентна схема взаємодії робочого елемента з головкою коренеплоду.

В точці K контакту робочого елемента з головкою коренеплоду будуть діяти наступні сили: \bar{Q} – сила зчісування гички, яка напрямлена по дотичній до поверхні головки коренеплоду, в бік вектора абсолютної швидкості точки M робочого елемента; \bar{N} – нормальна реакція з боку головки коренеплоду, напрямлена вздовж нормалі \bar{n} до головки коренеплоду, проведеної крізь дане положення точки контакту; $\bar{F}_{тр}$ – сила тертя, що виникає при русі робочого елемента по головці коренеплоду, напрямлена в бік, протилежний напрямку вектора абсолютної швидкості точки M робочого елемента, яка співпадає з точкою контакту K , яка представлена у вигляді складових на осі x та y ; \bar{G} – сила ваги робочого елемента.

Диференціальне рівняння руху точки контакту K по головці коренеплоду у векторній формі матиме такий вигляд:

$$m\bar{a} = \bar{Q} + \bar{N} + \bar{F}_{тр} + \bar{G}, \quad (1)$$

де \bar{a} – абсолютне прискорення руху точки контакту K по головці коренеплоду;

m – маса робочого елемента, зведена до точки контакту.

Після підстановки в (1) необхідних величин і проведених перетворень отримано систему нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку відносно невідомих функцій $x(t)$, $y(t)$ і $z(t)$ та невідомої нормальної реакції N :

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= Q \frac{\dot{x}}{V} + N \frac{x}{R} - f \frac{\dot{x}}{V} N + mg, \\ m\ddot{y} &= Q \frac{\dot{y}}{V} + N \frac{y}{R} - f \frac{\dot{y}}{V} N, \\ m\ddot{z} &= Q \frac{\dot{z}}{V} + N \frac{z}{R} - f \frac{\dot{z}}{V} N, \\ x^2 + y^2 + z^2 - R^2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Таким чином, отримана система нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку відносно невідомих функцій $x(t)$, $y(t)$ і $z(t)$ та невідомої нормальної реакції N . Систему диференціальних рівнянь (2) можна розв'язати лише чисельними методами з використанням комп'ютерних програм при заданих початкових умовах. Оскільки, в систему диференціальних рівнянь (2) входить невідомий силовий фактор нормальна реакція N , то для її визначення було проведено дослідження кінематики взаємодії робочого елемента з головкою коренеплоду. В результаті цього дослідження отримана залежність кута відхилення робочого елемента φ та його кутового прискорення $\ddot{\varphi}$ від часу.

Розв'язавши системи рівнянь (2) відносно невідомих функцій $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ ми фактично отримуємо рівняння траєкторії руху точки контакту K по головці коренеплоду в параметричній формі:

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t), \\ y &= y(t), \\ z &= z(t). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Це рівняння просторової кривої, довжину якої можна виразити з наступним виразом [5]:

$$L = \int_0^{t_1} \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} dt, \quad (4)$$

де t_1 – час контакту копірної частини робочого елемента з головкою коренеплоду.

На підставі цього можна обчислити площу зчісування $S_{зч}$, за час контакту робочого елемента з головкою коренеплоду. Дійсно, якщо відома ширина захвату копірної частини робочого елемента (фактично це її ширина), то площа зчісування гички за час контакту робочого елемента з головкою коренеплоду буде дорівнювати:

$$S_{зч} = Lb. \quad (5)$$

Таким чином, аналітично знайдений вираз площі зчісування нового відокремлювача гички.

Для визначення нормальної реакції N використаємо розрахункову схему рис. 1), звідки:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{-\operatorname{tg} \varphi_0 \left(\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2} - \left(\frac{b}{2}\right)^2 - r_0 \right) - Vt}{\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2} \sin \left[\omega t - \arccos \left(\frac{b}{2\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2}} \right) \right] - r_0} \right), \quad (6)$$

$$\ddot{\varphi} = - \frac{[-V[\rho \sin(\alpha_0 + \omega t) - r_0]] + [(y_1 - Vt)\omega \rho \cos(\alpha_0 + \omega t)]}{\left[(\rho \sin(\alpha_0 + \omega t) - r_0)^2 + (y_1 - Vt)^2 \right]^2} \times$$

$$\times \frac{[2[\rho \sin(\alpha_0 + \omega t) - r_0] \cos(\alpha_0 + \omega t) \rho \omega + 2(y_1 - Vt)(-V)]}{\left[(\rho \sin(\alpha_0 + \omega t) - r_0)^2 + (y_1 - Vt)^2 \right]^2} \quad (7)$$

З врахуванням припущень про те, що головка коренеплоду є абсолютно тверде тіло, а робочий елемент безвідривно контактує з коренеплодом, а також використовуючи отриману залежність (7), було складене диференціальне рівняння обертового руху робочого елемента навколо власної осі підвісу, при його взаємодії з головкою коренеплоду [6]:

$$J\ddot{\varphi} + \sum M = 0, \quad (8)$$

Оскільки, робочий елемент обертається внаслідок дії моменту відцентрових сил інерції та моменту сили нормальної реакції, перепишемо рівняння у наступному вигляді:

$$J\ddot{\varphi} + M_R + M_N = 0, \quad (9)$$

де M_R – момент відцентрової сили; M_N – момент нормальної реакції коренеплоду на робочий елемент відносно осі підвісу лопаті.

Визначимо значення M_N . Воно буде дорівнювати:

$$M_N = -NOK, \quad (10)$$

де OK - плече нормальної реакції відносно осі підвісу, яке визначається наступним чином:

$$OK = \sqrt{x_k^2 + y_k^2}, \quad (11)$$

або

$$OK = \sqrt{[\rho \sin(\alpha_0 + \omega t)]^2 + \left(-tg\varphi_0 \left(\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2} - r_0 \right) - Vt \right)^2}. \quad (12)$$

З рівняння (9), використовуючи вирази (10)-(12) та провівши алгебраїчні перетворення, визначено його нормальну реакцію на коренеплід цукрових буряків при дії на нього системи з двох робочих елементів

$$N = \frac{J\ddot{\varphi} + M_R - \frac{J\ddot{\varphi}_2 + M_{R2} \sqrt{\sin^2 \varphi_2 \cos^2 \alpha + \cos^2 \varphi_2} m_{21}}{\sqrt{\left[(r_0 + l_{mn} \cos \varphi_2) \cos \alpha - \frac{b}{2} \sin \alpha \right]^2 + \left[(r_0 + l_{mn} \cos \varphi_2) \sin \alpha - \frac{b}{2} \cos \alpha \right]^2}}}{\sqrt{[\rho \sin(\alpha_0 + \omega t)]^2 + \left[-tg\varphi_0 \left(\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2} - r_0 \right) - Vt \right]^2}}, \quad (13)$$

- де δ – відхилення осі ротора від умовної осьової лінії рядка;
- b – конструктивна ширина робочого елемента;
- M_R та M_{R2} – моменти відцентрових сил інерції попереднього та наступного робочих елементів відносно їх осей підвісу;
- m_{21} – плече нормальної реакції дії наступного робочого елемента на попередній відносно його осі підвісу;
- φ_2 – кут відхилення наступного робочого елемента від площини обертання;
- α – кут повороту вала ротора;
- ρ – відстань від осі ротора до вершини головки коренеплоду;
- d – відстань від осі ротора до основи ґрунту;
- r_0 – радіус осі підвісу робочого елемента;
- l_{mn} – довжина копірної частини робочого елемента.

Рухаючись по головці коренеплоду, робочий елемент може діяти на неї у поздовжньому напрямі рядка та в поперечному, а також він стискає головку коренеплоду в вертикальному напрямі. Це зумовлено наявністю силових факторів, які являють собою проекції загальної нормальної реакції на вказані напрямки. Зокрема, складова нормальної реакції N_z спричинює вибивання коренеплодів в поперечному напрямі, а N_y у поздовжньому напрямі відносно рядка. Вертикальна ж складова нормальної реакції N_x , який забезпечує необхідне зусилля в контактні головки коренеплоду-робочий елемент. Ці сили впливають на такі показники якості процесу відокремлення гички, як пошкодження та вибивання головок коренеплодів. Вони мають наступні значення:

$$N_x = \left[\frac{\gamma sl \omega^2 \left(\frac{1}{2} r_0 \sin \varphi + \frac{l^2}{6} \sin 2\varphi \right)}{OK} + \frac{\ddot{\varphi}}{OK} \right] \cos \omega t \times \sin \left[\varphi_0 + \right. \\ \left. + \operatorname{arccctg} \left[\frac{-\operatorname{tg} \varphi_0 \left(\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2} - \left(\frac{b}{2} \right)^2 - r_0 \right) - Vt}{\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2} \sin \left[\omega t - \arccos \left(\frac{b}{2\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2}} \right) \right] - r_0} \right] \right], \quad (14)$$

$$N_y = \left[\frac{\gamma sl \omega^2 \left(\frac{1}{2} r_0 \sin \varphi + \frac{l^2}{6} \sin 2\varphi \right)}{OK} + \frac{\ddot{\varphi}}{OK} \right] \times \cos \left[\varphi_0 + \right. \\ \left. + \operatorname{arccctg} \left[\frac{-\operatorname{tg} \varphi_0 \left(\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2} - \left(\frac{b}{2} \right)^2 - r_0 \right) - Vt}{\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2} \sin \left[\omega t - \arccos \left(\frac{b}{2\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2}} \right) \right] - r_0} \right] \right], \quad (15)$$

$$N_z = \left[\frac{\gamma sl \omega^2 \left(\frac{1}{2} r_0 \sin \varphi + \frac{l^2}{6} \sin 2\varphi \right)}{OK} + \frac{\ddot{\varphi}}{OK} \right] \times \sin \left[\varphi_0 + \right. \\ \left. + \operatorname{arccctg} \left[\frac{-\operatorname{tg} \varphi_0 \left(\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2} - \left(\frac{b}{2} \right)^2 - r_0 \right) - Vt}{\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2} \sin \left[\omega t - \arccos \left(\frac{b}{2\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2}} \right) \right] - r_0} \right] \right], \quad (16)$$

де N_x – вертикальна складова нормальної реакції, яка буде деформувати головку і притискати коренеплід в глиб ґрунту;

N_y – горизонтальна складова нормальної реакції, що буде вивалювати коренеплід у напрямку руху машини;

N_z – горизонтальна складова нормальної реакції, яка буде вибивати коренеплід у напрямку перпендикулярному осі ротора.

За результатами чисельного моделювання на ПЕОМ були побудовані графічні залежності (рис. 2) вказаних складових сил від часу.

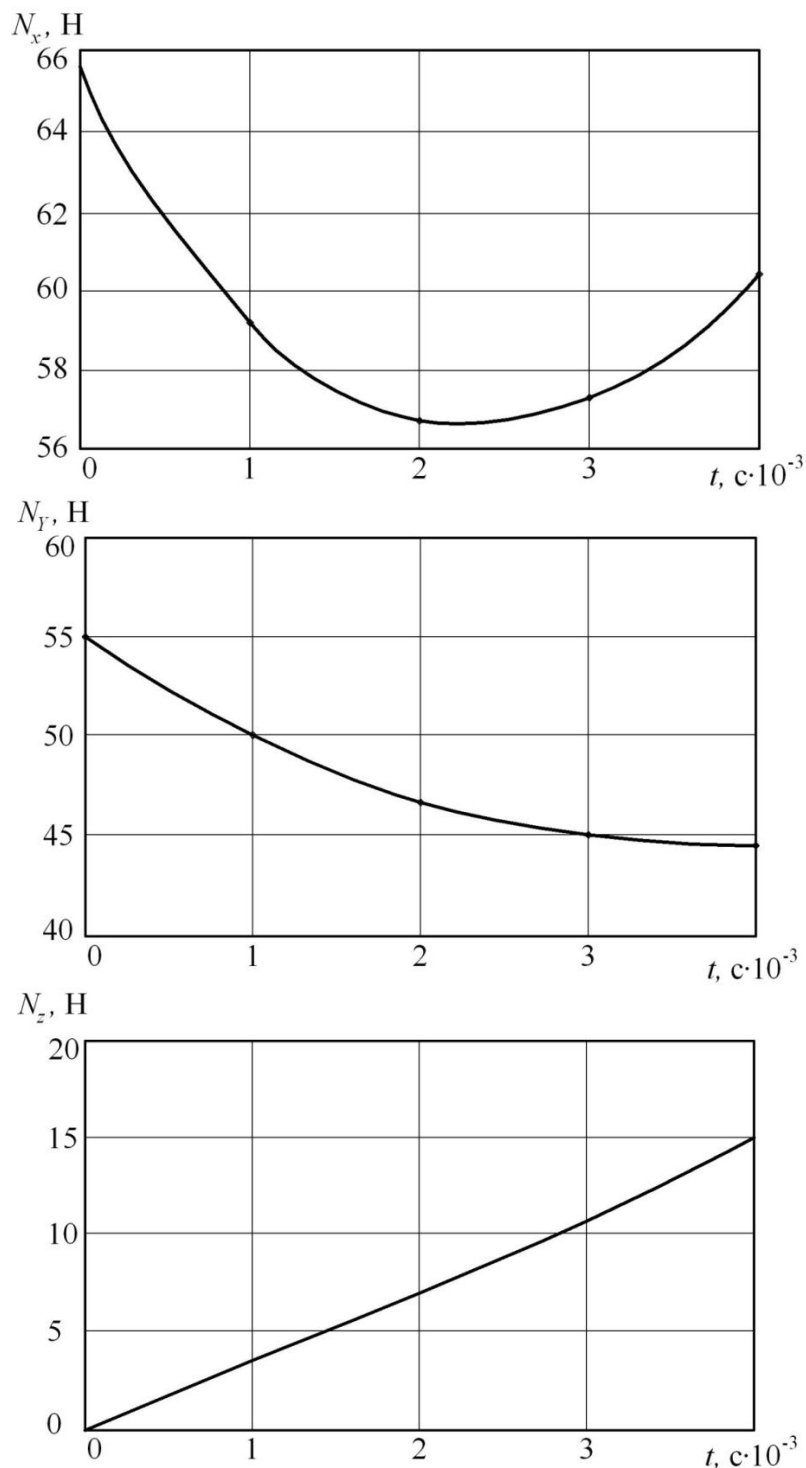


Рис. 2. Залежність вертикальної N_x , поздовжньо-горизонтальної N_y та поперечно-горизонтальної N_z складових нормальної реакції від часу.

Як бачимо з графіків (рис. 2) максимальні значення вказаних складових нормальної реакції складають $N_{x\max} = 65 \text{ H}$, $N_{y\max} = 55 \text{ H}$, $N_{z\max} = 15 \text{ H}$. Ці значення були у подальшому використані при моделюванні силової взаємодії очисного елемента з головкою коренеплоду цукрового буряку.

Висновки:

1. Складена система диференційних рівнянь другого порядку, яка описує рух точки контакту робочого елемента по головці нерухомо закріпленого у ґрунті коренеплоду цукрових буряків.
2. В результаті розв'язку отриманої системи рівнянь знайдено аналітичний вираз для визначення площі зчесаної поверхні з головки коренеплоду одним робочим елементом.
3. В результаті розв'язку диференціального рівняння обертового руху робочого елемента знайдено аналітичний вираз нормальної реакції головки коренеплоду на робочий елемент.
4. Таким чином, на підставі математичного моделювання одержані значення нормальних реакцій, що діють в точці контакту робочого елемента з головкою коренеплоду. А саме, $N_{x\max} = 65$ Н, $N_{y\max} = 55$ Н, $N_{z\max} = 15$ Н.

Література.

1. Булгаков В.М. Теорія бурякозбиральних машин. Монографія. / В.М. Булгаков – Київ: Видавничий центр НАУ, 2005. – 245 с.
2. Василенко П. М., Погорельий Л. В. Основы научных исследований (Механизация сельскохозяйственного производства). / П. М. Василенко, Л. В. Погорельий – К.: Вища школа, 1984. – 266 с.
3. Комплексная механизация производства сахарной свеклы / [А.А. Василенко, П. Т. Бабий, П. В. Савич и др.]. – К., 1962. – 243 с.
4. Погорельий Л.В., Татьяна Н.В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз. / Л.В. Погорельий, Н.В. Татьяна – К.: Феникс, 2004. – 232 с.
5. Фильчаков П. Ф. Справочник по высшей математике / П. Ф. Фильчаков – К.: Наукова думка, 1974 – 743 с.
6. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики: учебн. [для высш. технич. заведений] / С.М. Тарг – М.: Высш. шк., 1986. – 416 с.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ НА ПЭВМ УСИЛИЙ, КОТОРЫЕ
ДЕЙСТВУЮТ В ТОЧКЕ КОНТАКТА НОВОГО ОТДЕЛИТЕЛЯ
БОТВЫ С ГОЛОВКОЙ КОРНЕПЛОДА**

Борис А.Н.

Аннотация – на основании построенной математической модели движения элемента нового отделителя ботвы по головке коренеплода сахарной свеклы и решения полученных выражений **ПВМ** получены аналитические зависимости усилий в указанной точке контакта. Были, также, построены графические зависимости изменения составляющих нормальной реакции в точке контакта рабочего элемента с головкой коренеплода. Значения составляющих нормальной реакции были использованы в дальнейшем для силового анализа указанного взаимодействия.

**MATHEMATICAL MODELLING AND ANALYSIS OF EFFORTS
TO PC THAT APPLY AT THE CONTACT POINTS NEW HEAD
SEPARATOR PLANT WITH ROOTS**

A. Borys

Summary

Based on the mathematical model of motion cleaning element of the new separator tops on the head sugar beet roots and the solution obtained expressions for PC obtained analytical dependences of effort in that point of contact. Were also constructed image depending on changes in components of the normal reaction at the point of contact of the working element of bolt root. The value of the normal components of the reaction were used in the future for power analysis indicated interaction.