

## Математична модель динамічної взаємодії робочого елемента відокремлювача гички з головою коренеплоду

Розроблено математичну модель взаємодії робочого елемента з головою коренеплоду цукрових буряків при його складному русі. Отримані аналітичні залежності нормальної реакції, яку створює робочий елемент на коренеплід, від конструкційних параметрів відокремлювача гички та його режимів роботи. За допомогою даної моделі досліджено рух робочого елемента по головці коренеплоду та отримані залежності зміни складових нормальної реакції від часу. Значення складових нормальної реакції були використані у подальшому для силового аналізу вказаної взаємодії.

**математична модель, гичка, коренеплід, головка коренеплоду, робочий елемент, точка контакту, силова взаємодія**

**Постановка проблеми.** Відокремлення гички цукрових буряків є важливою операцією технологічного процесу збирання цукрових буряків, так як незначна кількість гички при цукроварінні приводить до зв'язування цукрів та зниження їх загального виходу. У процесі відокремлення гички одними із основних проблем є недостатня якість кінцевого вороху коренеплодів для гичковідокремлювальних апаратів суцільного зрізу та низька продуктивність апаратів копінного типу. Тому, обґрунтування параметрів нового копінно-роторного відокремлювача гички є актуальним науково-технічним завданням.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** 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. Татянка [1, 2, 3].

**Постановка завдання.** Аналітичне визначення зусиль, які виникають в точці контакту робочого елемента відокремлювача гички з головою коренеплоду.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для визначення зусиль, що виникають при взаємодії робочого елемента з головою коренеплоду нами насамперед побудована еквівалентна схема (рис. 1), на якій робочий елемент при обертальному русі, а також поступальному переміщенні контактує з головою коренеплоду.

В точці  $K$  контакту робочого елемента з головою 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.

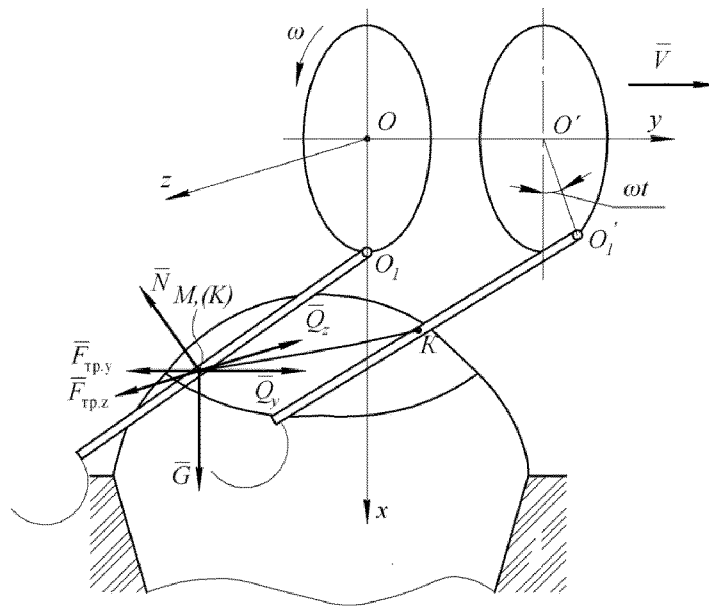


Рисунок 1 – Еквівалентна схема взаємодії робочого елемента з головкою коренеплоду

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

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

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  $\varphi$  та його кутового прискорення  $\ddot{\varphi}$  від часу.

Визначено нормальну реакцію на коренеплід цукрових буряків при дії на нього одного робочого елемента:

$$N = \frac{\gamma s l \omega^2 \left( \frac{1}{2} r_0 \sin \varphi + \frac{l^2}{6} \sin 2\varphi \right)}{OK} + \frac{J \ddot{\varphi}}{OK}, \quad (3)$$

де  $\gamma$  – густина робочого елемента;

$s$  – площа поперечного перерізу робочого елемента;

$\omega$  – кутова швидкість ротора;

$r_0$  – радіус осі підвісу робочого елемента;

$\varphi$  – кут повороту робочого елемента відносно площини обертання ротора;

$OK$  – плече нормальної реакції  $N$  відносно осі підвісу 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. Складова нормальної реакції  $N_z$  спричинює вибивання коренеплодів в поперечному напрямі, а  $N_y$  у поздовжньому напрямі відносно рядка. Вертикальна ж складова нормальної реакції  $N_x$  забезпечує необхідне зусилля в контакті головки коренеплоду-робочий елемент. Ці сили впливають на такі показники якості процесу відокремлення гички, як пошкодження та вибивання головок коренеплодів. За результатами чисельного моделювання на ПЕОМ були побудовані графічні залежності (рис.2-4) вказаних складових сил від часу. Як бачимо з графіків максимальні значення вказаних складових нормальної реакції складають  $N_{x\max} = 65$  Н,  $N_{y\max} = 55$  Н,  $N_{z\max} = 15$  Н. Ці значення були у подальшому використані при моделюванні силової взаємодії очисного елемента з головкою коренеплоду цукрового буряку.

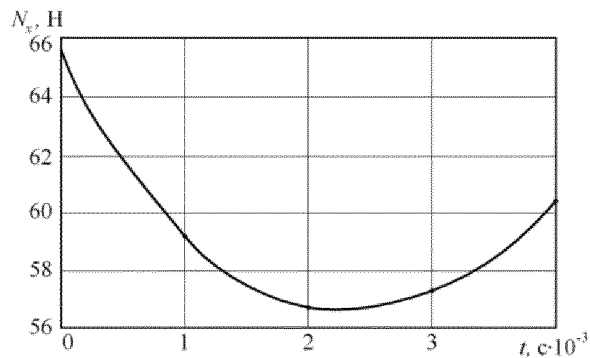


Рисунок 2 – Залежність вертикальної  $N_x$  складової нормальної реакції від часу

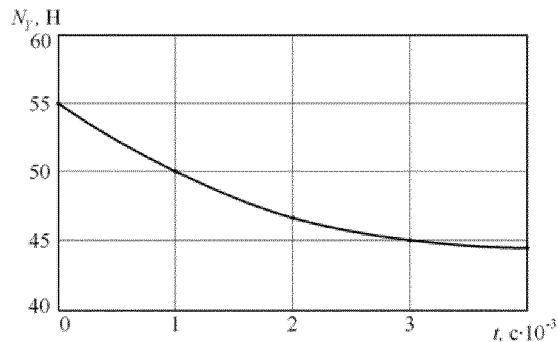


Рисунок 3 – Залежність поздовжньо-горизонтальної  $N_y$  складової нормальної реакції від часу

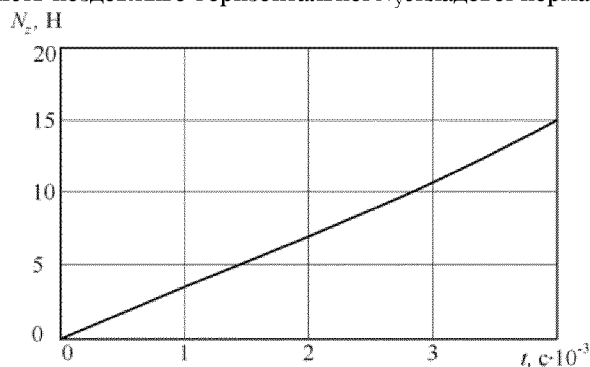


Рисунок 4 – Залежність поперечно-горизонтальної  $N_z$  складової нормальної реакції від часу

#### 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,  $N_{x\max} = 65 \text{ Н}$ ,  $N_{y\max} = 55 \text{ Н}$ ,  $N_{z\max} = 15 \text{ Н}$ .

## Список літератури

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

*В. Булгаков, А. Борис*

### **Математическая модель динамического взаимодействия рабочего элемента отделителя ботвы с головкой коренеплода**

Разработана математическая модель взаимодействия рабочего элемента с головкой коренеплода сахарной свеклы, при его сложном движении. Получены аналитические зависимости нормальной реакции, которую создает рабочий элемент на корнеплод, от конструктивных параметров отделителя ботвы и его режимов работы. С помощью данной модели исследованы движение рабочего элемента по головке коренеплода и получены зависимости изменения составляющих нормальной реакции от времени. Значения составляющих нормальной реакции были использованы в дальнейшем для силового анализа указанного взаимодействия.

*V. Bulgakov, A. Borys*

### **Mathematical model of dynamic interaction of the working element separator topper head root crops**

The mathematical model of interaction between the working element of bolt root of sugar beet, with its complex motion. The analytical dependence of the normal reaction that creates a working element to the root, from the structural parameters of separator tops and its modes of operation. With this model the movement of the working element in the head and root dependences change part of the normal reaction times. The value of the normal components of the reaction were used in the future for power analysis indicated interaction.

Одержано 10.10.12