

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ОЧИЩЕННЯ
КОРЕНЕПЛОДІВ ПРИ ЇХ ПАДІННІ НА РОБОЧУ ПОВЕРХНЮ****Ткаченко І.Г., к.т.н.; Вивюрка Н.Є., асп.***Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя*

Розроблено математичну модель процесу очищення коренеплодів при падінні на робочу поверхню в технологічному ланцюгу коренезбиральної машини. Наведено практичні рекомендації щодо раціональних режимів роботи очисних систем машин.

Якісне очищення коренеплодів при їх збиранні є важливою проблемою, оскільки дозволяє зменшити вивезення з полів плодородного шару ґрунту.

При вирішенні цього завдання стикаємося з технічним протиріччям, яке полягає у тому, що інтенсивність механічного впливу на коренеплід обмежена припустимим рівнем його пошкоджень. Крім того, коренеплід з налиплим ґрунтом являє собою систему, складові якої мають різні механічні характеристики [1]. Промоделювати імпульсний вплив і оцінити його інтенсивність зручно при падінні коренеплоду з певної висоти на різні види робочих поверхонь, що характерні для робочих органів збиральних машин [2].

Метою даної статті є створення математичної моделі процесу очищення коренеплодів при їх падінні на робочу поверхню.

У загальному випадку ґрунт, який зчеплений з коренеплодом, на початковому етапі практично повністю огортає поверхню останнього. Тому перший етап характерний падінням на м'яку ґрунтову підкладку, що є між коренеплодом та робочою поверхнею. При цьому відбувається значна пластична деформація ґрунту, що сприяє його струшуванню із коренеплоду.

На наступному етапі очищення кількість ґрунту на коренеплоді є відносно малою і його удар відбувається більш жорстко. При цьому основну роль у процесі очищення відіграють сили інерції, що виникають при гальмуванні коренеплоду і сприяють струшуванню ґрунту з його бокової поверхні.

Узагальнена розрахункова схема для моделювання процесу падіння коренеплоду на робочу поверхню представлена на рис. 1.

Розглянемо процес очищення коренеплоду при падінні на робочу поверхню у вигляді пруткового транспортера, оскільки він застосовується у конструкції більшості коренезбиральних машин.

Перший етап очищення можна умовно розділити на дві основні стадії: пружне деформування транспортера та ґрунту до моменту настання пластичної деформації ґрунту; сумісне пластичне деформування ґрунту та пружне деформування транспортера.

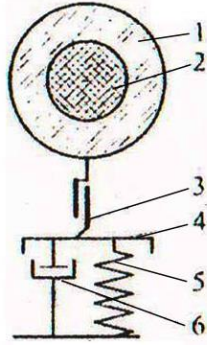


Рис.1 – Розрахункова схема для моделювання процесу очищення коренеплоду при його падінні на робочу поверхню:

1 – ґрунт зчеплений з коренеплодом; 2 – коренеплід; 3 – пластичні зв'язки ґрунту; 4 – робоча поверхня; 5 – зведена пружність компонентів в системі; 6 – зведена в'язкість системи.

За певних припущень зусилля пластичного деформування ґрунту можна описати такою залежністю:

$$P_p = \sigma_p S(1 + K_p x), \quad (1)$$

де: σ_p – початкові напруження пластичної деформації;
 S – площа контакту при ударі;
 K_p – коефіцієнт зростання зусилля пластичної деформації за рахунок стиснення ґрунту;
 x – деформація ґрунту.

Друга стадія описується рівнянням:

$$M\ddot{x} = -cx - \beta\dot{x}, \quad (2)$$

де: M – сумарна маса коренеплоду і ґрунту;
 c – зведена жорсткість транспортера, ґрунту та коренеплоду;
 β – зведена в'язкість в системі.

Розв'язок рівняння (2) має вигляд:

$$x = (A_1 \sin \gamma + B_1 \cos \gamma)e^{rt}, \quad (3)$$

де: A_1 і B_1 – сталі інтегрування; $r = -\frac{\beta}{2M}$; $\gamma = \frac{\sqrt{4M_c - \beta^2}}{2M}$.

Швидкість гальмування при цьому дорівнюватиме:

$$\dot{x} = ((A_1 r - B_1 \gamma) \sin \gamma + (A_1 \gamma + B_1 r) \cos \gamma) e^{rt}. \quad (4)$$

Зусилля, які виникають під час удару коренеплоду об транспортер, визначається за формулою:

$$F_1 = cx + \beta \dot{x} = \sqrt{\frac{2Mgh}{c - \frac{\beta^2}{4M}}} [(c + \beta r) \sin \eta + \beta \gamma \cos \eta] e^{\eta} \quad (5)$$

Перша стадія етапу завершиться, коли настане умова:

$$F_1 > P_p, \quad (6)$$

тобто зусилля перевищить межу пластичності. Решта енергії удару перетвориться на енергію пластичного деформування.

Енергія, яку поглинатиме ґрунт за рахунок пластичного деформування дорівнює різниці енергії падіння та енергії пружної деформації $A_p = Mgh - \frac{cx^2}{2}$.

Енергію пружної деформації можна визначити через початкове зусилля пластичного деформування ($F_1 = \sigma_p S$), звідки $x = \frac{\sigma_p S}{c}$, $cx^2 = \frac{(\sigma_p S)^2}{c}$.

Тоді:

$$A_p = Mgh - \frac{(\sigma_p S)^2}{2c} \quad (7)$$

Для визначення питомих характеристик процесу пластичного деформування запишемо залежності маси коренеплоду та площі контакту при падінні на прутковий транспортер від радіуса R_k коренеплоду та діаметра d_n прутка транспортера:

$$\begin{aligned} M &= K_M R_k^3 \\ S &= K_S R_k d_n^2 \end{aligned} \quad (8)$$

де: K_M і K_S - коефіцієнти пропорційності для обчислення маси коренеплоду і площі контакту відповідно. Коефіцієнт K_S приймається за умови $R_k \gg \frac{d_n}{2}$.

Питома енергія пластичної деформації на одиницю площі контакту з урахуванням (7) і (8) виразиться залежністю:

$$\frac{A_p}{S} = \frac{K_M R_k^2 gh}{K_S d_n} - \frac{\sigma_p^2 K_S R_k d_n}{2c} \quad (9)$$

Прирівнявши рівняння (9) до нуля отримаємо умову виникнення пластичного деформування, тобто визначимо мінімально необхідну висоту падіння коренеплоду, яка може забезпечити процес очищення на першому етапі:

$$h > \frac{K_S^2 d_n^2 \sigma_p^2}{2K_M R_k gc} \quad (10)$$

Рух коренеплоду на другому етапі очищення можна описати у вигляді моделі пластичного деформування:

$$M\ddot{x}_p = -\sigma_p S(1 + K_p x_p). \quad (11)$$

де: x_p – пластична деформація ґрунту.

При малих товщинах ґрунту, що характерно для другого етапу, коефіцієнт K_p має набагато більші значення, ніж на першому. Це призводить до значно більших динамічних навантажень, а величина σ_p суттєво не змінюється.

Розв'язок рівняння (11) має вигляд:

$$x_p = A_2 \sin \sqrt{\frac{\sigma_p SK_p}{M}} t + B_2 \cos \sqrt{\frac{\sigma_p SK_p}{M}} t - \frac{1}{K_p}, \quad (12)$$

Прискорення гальмування при ударі знайдемо шляхом подвійного диференціювання залежності (12):

$$\ddot{x}_p = -\frac{\sigma_p SK_p}{M} \left(\sqrt{\frac{2A_p}{\sigma_p SK_p}} \sin \sqrt{\frac{\sigma_p SK_p}{M}} t + \frac{1}{K_p} \cos \sqrt{\frac{\sigma_p SK_p}{M}} t \right).$$

Амплітуда прискорення, з урахуванням (7) відповідно, визначається:

$$\ddot{x}_{pmax} = \frac{\sigma_p SK_p}{M} \sqrt{\frac{2A_p K_p + \sigma_p S}{\sigma_p SK_p^2}} = \frac{\sqrt{\left[2K_p \left(Mgh - \frac{(\sigma_p S)^2}{2c} \right) + \sigma_p S \right] \sigma_p S}{M}}. \quad (13)$$

Сила, яка струшує ґрунт із бокової поверхні коренеплоду, визначається за формулою:

$$F_c = m\ddot{x}_{pmax}, \quad (14)$$

де: m – маса частки ґрунту.

На останньому етапі очищення можна вважати, що удар здійснюється жорстко без наявності проміжного шару ґрунту. Рівняння, яке описує гальмування коренеплоду аналогічне (2), тому амплітуда прискорення гальмування визначається подвійним диференціюванням (3):

$$\ddot{x}_{max} = \sqrt{\frac{2ghc}{M}}. \quad (15)$$

Аналіз приведених вище залежностей та розрахунки з їх використанням дозволяють зробити наступні висновки:

1. Очищення коренеплодів на першому етапі відбувається за рахунок пластичного деформування ґрунту, для відділення основної маси якого

- необхідно 1–2 імпульси.
2. Для струшування невеликих часточок ґрунту на другому етапі очищення необхідно 2–3 імпульси.
 3. Для остаточного очищення від ґрунту необхідний інтенсивний ударний вплив на коренеплід, що може викликати його недопустимі пошкодження.

Перспективними, на наш погляд, є дослідження у напрямку обґрунтування і створення технологічних схем машин, що забезпечують поступове зменшення величини імпульсних навантажень на коренеплід та збільшення інтенсивності м'якого очищення по мірі його проходження технологічним руслом машини.

Список літератури

1. Ковалев Н.Г., Хайлис Г.А., Ковалев М.М.. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства). – М.: ИК “Родник”, Журнал “Аграрная наука”, 1998. – 208с.
2. Ткаченко І.Г., Вивюрка Н.Є. Результати експериментальних досліджень з визначення ступеня відділення ґрунту від коренеплодів при їх імпульсному навантаженні // Вісник аграрної науки причорномор'я. Спеціальний випуск 4 (18). Том II. “Сучасні проблеми землеробської механіки”. - Миколаїв: МДАУ, 2002. С. 133-138.

Аннотація

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОЧИСТКИ КОРНЕПЛОДОВ ПРИ ИХ ПАДЕНИИ НА РАБОЧУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Ткаченко И.Г.; Вивюрка Н.Е.

Разработана математическая модель процесса очистки корнеплодов при падении на рабочую поверхность в технологической цепочке корнеуборочной машины. Приведены практические рекомендации для рациональных режимов работы очистных систем машин.

Abstract

THE MATHEMATICS MODELS OF THE PROCESS OF BEET-ROOTS CLEANING FROM SOIL UNDER THEIR IMPACT LOADING IN THE TECHNOLOGICAL CHAIN

I. Tkachenko; N. Vuvirka

Mathematics model of the process of beet-roots cleaning from soil under their impact loading in the technological chain of the beet-harvesting machine, is developed. Practical recommendation as to the efficient operating regime of the machine cleaning systems, are presented.