

УДК 531/631

А. Ліннік, канд. техн. наук

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЖОРСТКОГО ОЧИСНИКА ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З КОРЕНЕПЛОДОМ

Резюме. Проведено дослідження контактної взаємодії жорсткого робочого органу, встановленого на пружній підвісці роторного доочисника голівок коренеплодів, розміщеного перпендикулярно до осі рядків посівів, виходячи з умов повного руйнування залишків гички за умови непошкодження тіла коренеплоду. Визначено межі можливих навантажень, що діють з боку робочого органу залежно від механічних властивостей тіла коренеплоду та залишків гички, а також їх геометричних розмірів.

Ключові слова: пляма контакту, модуль пружності, критерій руйнування Треска, максимальна та мінімальна сили удару робочого органу.

A. Linnik

DETERMINATION OF DYNAMIC PARAMETERS OF RIGID CLEANERS IN INTERACTION WITH ROOT

Summary. High quality operation for cleaning sugar beet roots occupies a significant place in the technological process of harvesting root crops, as the decrease in the remains of sugar beet tops in raw material provides higher economic benefit by means of reducing the cost of transportation, storage and processing raw material. The study of the existing designs of the working bodies used for cleaning the remains of sugar beet tops gave the opportunity to state that the most effective cleaning of the remains of sugar beet tops can be done with the help of a hard working body of a circular cut installed on an elastic suspension bracket, which compensates for the excess of the applied force that can damage sugar beet roots and which is a negative parameter of the quality of the work of cleaning machines. Thus, this research is a theoretical substantiation of the process of cleaning from sugar beet tops with the help of a spring loaded hard working body of a cleaning machine with the determination of the dynamic parameters of the cleaner.

In this case the interaction of a rod and a root is represented in the form of a plane contact problem of the two body forms of the surfaces of rotation. In the process of interaction, the two bodies, namely the rod and the root, contact along the length of the straight-line part of the root while their centers are close to the axis. The size of the contact spot, the approaching of the contacting bodies to each other, the average, normal and the maximum pressure on the root were determined, which allowed to set limits of the allowable loads on the root from the rod, considering the geometrical and the mechanical characteristics of the working body of the device and the head of the root crop in order to ensure a complete breaking of the remains of sugar beet tops and no damage caused to the productive part of the root and in order to knock it out of the line. The results of changing the kinematical parameters of the cleaner are shown with the help of visual aids.

Analytical dependences make it possible to optimize the parameters of the technological process of cleaning from sugar beet tops on the basis of the further analysis of the dynamic and kinematical components of the existing modeling system «machine-working body-root crop».

Key words. Contact patch, elastic modulus, fracture criterion Treska, maximum and minimum impact force of the working body.

Умовні позначення:

R_{np} – радіус прутка, мм;

R_k – радіус коренеплоду, мм;

a – довжина плями контакту, мм;

δ – сумарне наближення контактуючих тіл, мм;

δ_{np} – наближення прутка, мм;

δ_k – наближення коренеплоду, мм;

u_{znp} – зближення прутка, мм;

u_{zk} – зближення коренеплоду, мм;
 P_m – середній нормальний тиск, Па;
 P_o – максимальний тиск, Па;
 d_k – діаметр коренеплоду, мм;
 d_{np} – діаметр прутка, мм;
 E_k – модуль пружності тіла коренеплоду, Па;
 E_{np} – модуль пружності матеріалу прутка, Па;
 E' – приведений модуль пружності, Па;
 x – відстань від центру контакту до місця, в якому визначається зближення, мм;
 φ – кут повороту в зоні контакту;
 ν_k – коефіцієнт Пуассона тіла коренеплоду;
 ν_{np} – коефіцієнт Пуассона матеріалу прутка;
 τ_k – умова руйнування коренеплоду за Треском;
 τ_k – умова руйнування гички за Треском.

Постановка проблеми. Однією з нагальних проблем при збиранні коренів цукрових та кормових буряків є доочищення голівок коренеплодів. У цій проблемі важливе місце належить розв'язанню задачі якісного доочищення головок коренеплодів від залишків гички за умови збереження цілісності продуктивної частини кореня.

Аналіз останніх досліджень. При розробленні робочих органів та визначенні їх кінематичних і динамічних параметрів часто не зовсім правильно формулюються задачі. Як наслідок, до цього часу не існує чіткої теоретично обґрунтованої методики визначення кінематичних та динамічних параметрів і режимів роботи таких робочих органів, які б дозволили враховувати механічні властивості й геометричні параметри коренів та залишків гички.

Метою даної роботи є визначення динамічних показників роботи доочисника коренеплодів з жорстким підпружиненим робочим органом залежно від механічних властивостей тіла головки коренеплоду та залишків гички, а також їх геометричних розмірів.

Результати дослідження. Для визначення меж допустимого навантаження з боку робочого органу очисника (жорсткого підпружиненого прутка, далі – прутка) на голівку коренеплоду з умов непошкодження кореня, але руйнування залишків гички доцільно розглянути контактну задачу: поверхня прутка-голівка коренеплоду (залишків гички).

В загальному взаємодії прутка з коренеплодом (залишком гички) можна представити схемою, наведеною на рис.1. Тобто у вигляді плоскої задачі контакту двох тіл форми поверхонь обертання.

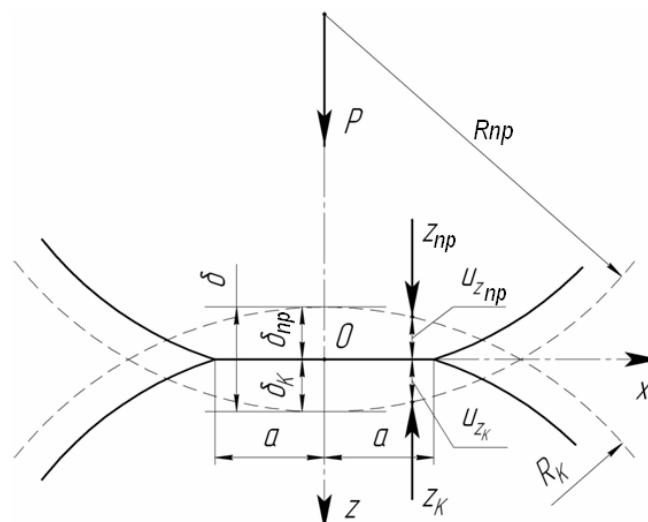


Рисунок1. Схема до визначення контакту прутка з голівкою коренеплоду (залишком гички)

Figure 1. Scheme to determine the contact rod with head of root crop (residue tops)

В процесі взаємодії – два тіла прутки та корінь (в загальному випадку з радіусами кривизни R_{np} (поперечного перетину) та R_k контактують по довжині прямолінійної частини довжини $2a$. При цьому їх центри наближуються на осі на величину $\delta = \delta_{np} + \delta_k$.

Необхідно визначити: розміри плям контакту $2a$, зближення $u_{znp} + u_{zk} = \delta = \delta_{np} + \delta_k$; середній нормальний тиск P_m і максимальний тиск P_o . Тут u_{znp} аналогічне u_{zk} , що на рис.1.

Якщо точки S_k, S_{np} поверхонь прийшли у дотик, то

$$u_{znp} + u_{zk} + h = \delta_{np} + \delta_k = \delta. \quad (1)$$

Співвідношення між переміщеннями та геометрією контактуючих тіл [1] можна записати у вигляді

$$\left(\frac{u_{znp}(0)}{a} - \frac{u_{znp}(x)}{a} \right) + \left(\frac{u_{zk}(0)}{a} - \frac{u_{zk}(x)}{a} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_{np}} + \frac{1}{R_k} \right) \frac{x^2}{a}. \quad (2)$$

Покладемо, що $x = a$ та введемо позначення $u_{zk}(0) - u_{zk}(a) = d_k$, $u_{znp}(0) - u_{znp}(a) = d_{np}$, тоді (2) набуде вигляду

$$\frac{d_{np}}{a} + \frac{d_k}{a} = \frac{a}{2} \left(\frac{1}{R_{np}} + \frac{1}{R_k} \right). \quad (3)$$

Враховуючи, що розмір зони контакту $a \gg d$ отримуємо, коли деформування кожного тіла характеризується відношенням сумарної деформації до напіврозміру зони контакту d/a . З другого боку, величина деформації пропорційна контактному тиску, віднесеному до модуля пружності

$$\frac{P_m}{E_{np}} + \frac{P_m}{E_k} \gg a \left(\frac{1}{R_{np}} + \frac{1}{R_k} \right), \quad (4)$$

звідки

$$P_m \gg \frac{a \left(\frac{1}{R_{np}} + \frac{1}{R_k} \right)}{\frac{1}{E_{np}} + \frac{1}{E_k}}. \quad (5)$$

Головка кореня буряка має поверхню тіла обертання з конусом R_k , поверхня прутка має радіус кривизни R_{np} , тоді кривизна $\frac{1}{R} = \left(\frac{1}{R_k} + \frac{1}{R_{np}} \right)$. Враховуючи, що $R_k \gg R_{np}$, останній вираз матиме вигляд $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{np}}$. Згідно з [2] сумарне переміщення в

будь-якій точці зони контакту, якщо контакт відбувається по області,

$$u_{znp} + u_{zk} = \delta - \frac{x^2}{2R_{np}}. \quad (6)$$

Розподіл тиску в зоні контакту кругової області

$$P = P_0 \left(1 - x^2/a^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

зумовлює нормальні зміщення

$$\begin{aligned} u_z(r) &= \frac{1-\nu^2}{\pi E} \frac{P_0}{a} \int_0^{2\pi} \frac{\pi}{4} (a^2 - x^2 + x^2 \cos^2 \varphi) d\varphi = \\ &= \frac{1-\nu^2}{E} \frac{\pi P_0}{4a} (2a^2 - x^2), \quad \text{при } x \leq a. \end{aligned} \quad (8)$$

Тиск, що діє з боку прутка, дорівнює тиску на корінь. Введемо в розгляд приведений модуль пружності E'

$$\frac{1}{E'} = \frac{1-\nu_k^2}{E_k} + \frac{1-\nu_{np}^2}{E_{np}}. \quad (9)$$

Враховуючи, що модуль пружності E_{np} прутка на кілька (5–6) порядків вище за модуль пружності E_k кореня, а коефіцієнти Пуассона ν_k, ν_{np} мають значення одного порядку, то другий доданок виразу (8) можна прийняти рівним 0. Тоді приведений модуль пружності $E' = \frac{E_k}{1-\nu_k^2}$.

Перепишемо (8) з урахуванням (6) та (9)

$$2 \frac{1}{E'} \frac{\pi P_0}{4a} (2a^2 - x^2) = \delta - \frac{x^2}{2R_{np}}. \quad (10)$$

У центрі зони контакту $u_{zб} + u_{zk} = \delta$, а границі зони контакту відповідає значення $x = a$, тому з (10) отримаємо

$$a = \frac{\pi P_0 R_{np}}{4 E'}. \quad (11)$$

Зближення тіл (сумарні зміщення) $u_{znp}(0) + u_{zk}(0) = \delta$ знаходимо за умови, що $x = 0$. Тоді з (10)

$$\delta = \frac{\pi a P_0}{2 E'} \quad (12)$$

З урахуванням властивостей кореня та прутка вирази (11) та (12) перепишемо у вигляді

$$a = \frac{\pi P_0 R_{np}}{2 E_k} (1 - v_k^2); \delta = \frac{\pi a P_0}{2 E_k} (1 - v_k^2). \quad (13)$$

Повне навантаження, що стискає корінь,

$$P = \int_0^a P(x) 2 a x dx = \frac{2}{3} P_0 \pi a^2. \quad (14)$$

З виразу (14)

$$P_0 = \frac{3P}{2\pi a^2}. \quad (15)$$

Максимальний тиск у зоні контакту від дії повного навантаження залежно від властивостей кореня виразиться як

$$P_0 = \frac{\sqrt[3]{6} E_k^{2/3} P^{1/3}}{\pi R_{np}^2 (v_{np}^2 - 1)^{4/3}}. \quad (16)$$

З виразів (16) та (18) можна знайти максимальне значення сили, що може діяти на корінь, яка не завдасть йому руйнівних напружень:

$$P_{\max} \leq \frac{\pi^3 R_{np}^2 E_\delta (v_k - 1)^4}{2 E_k^2} \tau_k^3. \quad (18)$$

З другого боку, при дії на залишок гички на коренеплоді у виразі (18) сила P повинна перевищувати значення, необхідне для руйнування залишку гички,

$$P_{\min} \geq \frac{\pi^3 R_{np}^2 E_\delta (v_z - 1)^4}{2 E_z^2} \tau_z^3. \quad (19)$$

Такими є співвідношення, що визначають значення межі сили, яка повинна діяти на коренеплід для забезпечення руйнування залишків гички без пошкодження тіла коренеплоду. При цьому випадок, коли сила P є дотичною до залишку гички, можна не розглядати, оскільки в цьому випадку P_{\min} забезпечить злам залишку.

Оптимальні умови роботи доочисника будуть забезпечуватися, коли режим його роботи знаходитиметься в межах $P_{\min} \dots P_{\max}$. Для візуалізації отриманих результатів проводимо побудову графіків теоретичного протікання робочого процесу залежно від

зміни частоти обертання робочих органів і відповідно прикладеного зусилля при різній поступальній швидкості машини (рис.2). На отриманому графіку відзначено межі оптимального зусилля дії очисного елемента на головку кореня, за яких буде відбуватися руйнування гички, а не коренеплоду. Ці межі становлять 1210...4800 Н. При швидкості руху машини 1,0 м/с (крива 3) спостерігається ширший діапазон оптимальної частоти обертання робочих органів ($37...65 \text{ c}^{-1}$), ніж для швидкості 2,0 м/с ($26...48 \text{ c}^{-1}$). З результатів, отриманих на графіку залежностей, вибираємо необхідні оптимальні параметри роботи до очисника.

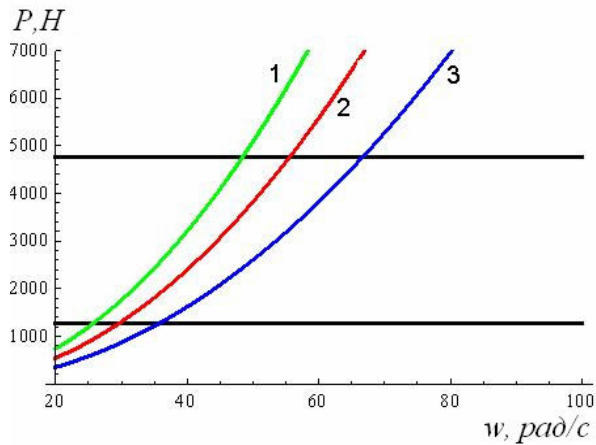


Рисунок 2. Залежність діючої на корінь сили з боку прутка залежно від кутової швидкості вала при різній поступальній швидкості машини: 1 – 2,0 м/с, 2 – 1,5 м/с, 3 – 1,0 м/с

Figure 2. The dependence of the current on the root of force by the rod, depending on the angular velocity shaft for different translational speed machine: 1 – 2.0 m/s 2 – 1.5 m/s, 3 – 1.0 m/s

Висновки. Визначено розміри плями контакту, зближення контактуючих тіл, середній нормальний і максимальний тиск на коренеплід, що дозволило встановити межі допустимих навантажень на коренеплід з боку прутка з урахуванням геометричних та механічних властивостей робочого органу та тіла голівки коренеплоду для забезпечення умов повного обламування залишків гички та відсутності пошкоджень завданих продуктивній частині коренеплоду та вибивання його із рядка.

Conclusions. The size of the contact spot, the approaching of the contacting bodies to each other, the average, normal and the maximum pressure on the root were determined, which allowed to set limits of the allowable loads on the root from the rod, considering the geometrical and the mechanical characteristics of the working body of the device and the head of the root crop in order to ensure a complete breaking of the remains of sugar beet tops and no damage caused to the productive part of the root and in order to knock it out of the line.

Список використаної літератури

1. Хелемендик, М.М. Напрями і методи розробки робочих органів сільськогосподарських машин [Текст] / М.М. Хелемендик. – К.: Аграрна наука, 2001. – 280 с.
2. Джонсон, К. Механика контактного взаємодія [Текст] / К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
3. Погорельий, Л.В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз [Текст] / Л.В. Погорельий, Н.В. Татьянко. – К.: Феникс, 2004. – 232 с.
4. Галин, Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости [Текст] / Л.А. Галин. – М.: Наука, 1980. – 304 с.

Отримано 10.02.2014