

УДК 531/ 631

Ліннік А.Ю.¹

к.т.н., доцент

кафедра машиновикористання і технологій в сільському господарстві

E-mail: Linnik_Andrij@ukr.net**Солтисюк В.І.¹**

к.т.н., доцент

кафедра машиновикористання і технологій в сільському господарстві

E-mail: Vivatam19@gmail.com**Марчук Н.А.²**

к.ф.-м.н., доцент

кафедра математичних дисциплін і моделювання

¹ Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»
Бережани, Україна² Подільський державний аграрно-технічний університет
Кам'янець-Подільський, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНО ДОПУСТИМОГО НАВАНТАЖЕННЯ ОЧИСНИКА НА КОРЕНЕПЛІД ЦУКРОВОГО БУРЯКА

Анотація

Однією з нагальних проблем при збиранні коренів цукрових та кормових буряків є доочищення головок коренеплодів. В цій проблемі важливе місце належить розв'язанню задачі якісного доочищення головок коренеплодів від залишків гички при умові збереження цілісності продуктивної частини кореня. Ефективність роботи очисників головок коренеплодів визначають ступінь відокремлення залишків гички та показник пошкодження головок коренеплодів. Це якісні показники, для визначення яких необхідно дослідити динаміку взаємодії робочих органів очисника з коренеплодом з урахуванням допустимих напружень у тілі кореня, виходячи з критерію його міцності при умові забезпечення максимального відділення залишків гички. Проведено дослідження контактної взаємодії біла робочого органа доочисника головок коренеплодів з умов руйнування залишків гички за умов непошкодження тіла коренеплоду. Визначені межі можливих навантажень з боку біла в залежності від механічних властивостей тіла кореня та залишків гички, а також їх геометричних розмірів.

Ключові слова: поверхня контакту, модуль пружності, критерій руйнування Треска, максимальна та мінімальна сила удару біла.

Вступ. Однією з нагальних проблем при збиранні коренів цукрових та кормових буряків є доочищення головок коренеплодів. В цій проблемі важливе місце належить розв'язанню задачі якісного доочищення головок коренеплодів від залишків гички при умові збереження цілісності продуктивної частини кореня.

Аналіз останніх досліджень. При розробці робочих органів та визначенню їх кінематичних та динамічних параметрів часто не зовсім адекватно формулюється задачі. Внаслідок цього досі не існує чіткої теоретично обґрунтованої методики визначення кінематичних та динамічних параметрів та режимів роботи таких робочих органів, які б дозволили враховувати механічні властивості та геометричні параметри коренів та залишків гички на них.

Мета. Метою даної роботи є визначення динамічних показників роботи доочисника коренеплодів в залежності від механічних властивостей тіла головки коренеплоду та залишків гички, а також їх геометричних розмірів.

Методологія досліджень. В процесі виконання операції доочищення коренеплодів відбувається взаємодія бил з головою коренеплоду. За рахунок динамічної взаємодії цих елементів робочих органів у залишках гички та головках коренеплодів виникають внутрішні сили, які є реакцією на ці динамічні навантаження. В залежності від величин внутрішніх сил відбувається руйнування залишків гички або головки кореня. При формалізації процесу взаємодії робочих органів з коренем та залишками гички приймемо припущення, що матеріали кореня та гички, а також робочі органи являють собою тверді деформівні тіла, що характеризуються пружними властивостями. Аналіз напружено-деформованого стану кореня та залишків гички можна провести в умовах плоского напруженого стану. При цьому, при розв'язанні плоскої задачі взаємодії з достатньою точністю може бути використаний критерій міцності найбільших зсувних напружень, а саме [1, 2]:

$$\tau_{\max} = \sigma_1 - \sigma_2 \leq \tau, \quad (1)$$

де τ_{\max} – максимальне зсувне напруження,

σ_1, σ_2 – максимальне та мінімальне головні напруження,

τ – граничне напруження руйнування матеріалу за критерієм Треска.

Слід відзначити, що для визначення напружень у головці коренеплоду та залишках гички необхідно розв'язати задачу контакту: поверхня робочого органу–корінь (залишок гички). При цьому умовою якісного та повного доочищення кореня є різниця у величинах напружень, що виникають у залишках гички та тілі кореня. Ці напруження, в свою чергу, є результатом зовнішнього навантаження і суттєво залежать від механічних властивостей як залишків гички, так і кореня. Крім того, величини та розподіл компонентів напружень суттєво залежать від геометричних форм (параметрів) та режимів роботи робочих органів, що контактують з цими матеріалами, а також від механічних властивостей самих матеріалів, з яких виготовлені робочі органи.

Крім динамічних параметрів, що впливають на створення напружено-деформованого стану матеріалів кореня та гички, на якість виконання процесу впливають і кінематичні режими роботи доочисника разом з їх геометричними параметрами, оскільки від цього залежить забезпечення доочищення головок без пропусків і усунення зайвих динамічних дій, які призводять до зростання енергетичних витрат і зайвого пошкодження коренів [3,4].

Для визначення меж допустимого навантаження з боку робочого органу очисника (била) на головку коренеплоду з умов непошкодження кореня, але руйнування залишків гички доцільно розглянути контактну задачу поверхня била-головка коренеплоду (залишок гички).

В загальному випадку взаємодію била з коренеплодом (залишком гички) можна представити схемою, що наведена на рис. 1., тобто у вигляді плоскої задачі контакту двох тіл форми поверхонь обертаня.

В процесі взаємодії два тіла било та корінь (в загальному випадку з радіусами кривизни R_δ та R_κ (R_κ)) контактують по довжині прямолінійної частини довжини $2a$. При цьому їх центри наближаються на осі на величину $\delta = \delta_\delta + \delta_\kappa$ (рис. 1).

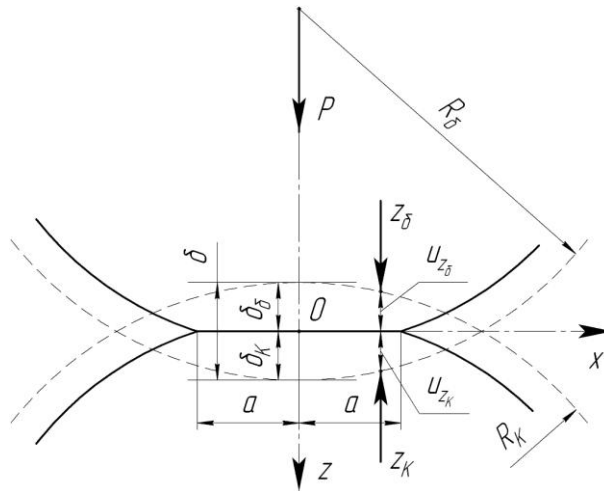


Рис. 1. Схема до визначення контакту біла з голівкою коренеплоду (залишком гички)

Необхідно визначити: розміри плям контакту $2a$, зближення $u_{z_\delta} + u_{z_k} = \delta = \delta_\delta + \delta_k$; середній нормальний тиск P_m і максимальний тиск P_o .

Якщо точки S_k, S_δ поверхонь прийшли у дотик, то

$$u_{z_\delta} + u_{z_k} + h = \delta_\delta + \delta_k = \delta. \quad (2)$$

Співвідношення між переміщеннями та геометрією контактуючих тіл [1] можуть бути подані у вигляді:

$$\left(\frac{u_{z_\delta}(0) - u_{z_k}(x)}{a} \right) + \left(\frac{u_{z_\delta}(0) - u_{z_k}(x)}{a} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_\delta} + \frac{1}{R_k} \right) x^2. \quad (3)$$

Покладемо, що $x = a$ та введемо позначення $u_z(0) - u_z(a) = d$, тоді (3) прийме вигляд:

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

Враховуючи, що розмір зони контакту $a \ll d$ отримуємо, що 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:

$$\frac{P_m}{E_\delta} + \frac{P_m}{E_k} : a \left(\frac{1}{R_\delta} + \frac{1}{R_k} \right), \text{ звідки:} \quad (4)$$

$$P_m : \frac{a \left(\frac{1}{R_\delta} + \frac{1}{R_k} \right)}{\frac{1}{E_\delta} + \frac{1}{E_k}},$$

де P_m - середній контактний тиск;

E_δ, E_k - модулі пружності тіл, що контактують (била та кореня).

Головка кореня буряка має поверхню тіла обертання з конусом R_k , поверхня біла має радіус кривизни $R \rightarrow \infty$, тоді відносна кривизна $\frac{1}{R} = \left(\frac{1}{R_k} + \frac{1}{\infty} \right) = \frac{1}{R_k}$, для простоти

будемо писати $\frac{1}{R}$, згідно [5] сумарне переміщення в будь якій точці зони контакту, якщо

контакт відбувається по області:

$$u_{z\delta} + u_{zk} = \delta - \frac{r^2}{(2R)}, \quad (5)$$

де r - відстань від центру контакту до місця, в якому визначається зближення δ . Розподіл тиску в зоні контакту кругової області [3]:

$$P = P_0 \sqrt{1 - r^2/a^2}$$

зумовлює нормальні зміщення:

$$u_z(r) = \frac{1 - \nu^2}{\pi E} \frac{P_0}{a} \int_0^{2\pi} \frac{\pi}{4} (a^2 - r^2 + r^2 \cos^2 \varphi) R d\varphi = \text{, при } r \leq a, \quad (6)$$

$$= \frac{1 - \nu^2}{E} \frac{\pi P_0}{4a} (2a^2 - r^2)$$

де φ - кут повороту в зоні контакту для полярних координат представлення кругової зони контакту.

Тиск, що діє з боку біла, дорівнює тиску на корінь [6]. Введемо в розгляд приведений модуль пружності E' :

$$\frac{1}{E'} = \frac{1 - \nu_k^2}{E_k} + \frac{1 - \nu_\delta^2}{E_\delta}. \quad (7)$$

Перепишемо (5) з урахуванням (7) та (6):

$$2 \frac{1}{E'} \frac{\pi P_0}{4a} (2a^2 - r^2) = \delta - \frac{r^2}{2R}. \quad (8)$$

В центрі зони контакту $u_{z\delta} + u_{zk} = \delta$, а границі зони контакту відповідає значення $r = a$, тому з (8) маємо:

$$a = \frac{\pi P_0 R}{4 E'}. \quad (9)$$

Зближення тіл (сумарні зміщення) $u_{z\delta}(0) + u_{zk}(0) = \delta$ знаходяться при умові, що $r = 0$, тоді з (8):

$$\delta = \frac{\pi a P_0}{2 E'}. \quad (10)$$

З урахуванням властивостей кореня та біла вирази (9) та (10) переписуться у вигляді:

$$a = \frac{\pi P_0 R_k}{2} \left(\frac{1 - \nu_\delta^2}{E_\delta} + \frac{1 - \nu_k^2}{E_k} \right); \delta = \frac{\pi a P_0}{2} \left(\frac{1 - \nu_\delta^2}{E_\delta} + \frac{1 - \nu_k^2}{E_k} \right). \quad (11)$$

Повне навантаження, що стискає било та корінь:

$$P = \int_0^a P(r) 2a r dr = \frac{2}{3} P_0 \pi a^2. \quad (12)$$

З виразу (12): $P_0 = \frac{3P}{2\pi a^2}$.

Максимальний тиск у зоні контакту від дії повного навантаження в залежності від властивостей кореня та біла виражаться як:

$$P_0 = \frac{\sqrt[3]{6} E_\delta^{2/3} E_k^{2/3} P^{1/3}}{\pi R^2 E_k (\nu_\delta^2 - 1) + E_\delta (\nu_k^2 - 1)^{2/3}}. \quad (13)$$

Максимальні значення напруження будуть знаходитись на осі OZ , а їх значення згідно [7,8]:

$$\sigma_x = -\frac{P_0}{a} \left[a^2 + 2z^2 \quad a^2 + z^2 \quad \frac{1}{2} - 2z \right];$$

$$\sigma_z = -P_0 a \quad a^2 + z^2 \quad \frac{1}{2}; \quad (14)$$

$$\tau_{xz} = P_0 a \left[z - z^2 \quad a^2 + z^2 \quad \frac{1}{2} \right].$$

Умова руйнування кореня може бути прийнята за Треском у вигляді $\tau_{\max} \leq \tau$.

Знайдемо екстремум функції τ_{xz} з умови $\frac{d\tau_{xz}}{dz} = 0$;

звідки $z|_{\tau_{xz}=\max} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sqrt{5}-1)\sqrt{a^2}} \approx 0.78a$.

При цьому $\tau_{xz\max} = 0.3P_0$. З виразів (13) та (14) можна знайти максимальне значення сили, що може діяти на корінь, яка не завдасть йому руйнівних напружень:

$$P_{\max} \leq \frac{\pi(R^2(E_k(\nu_\delta^2 - 1) + E_\delta(\nu_k^2 - 1))^2}{6E_\delta^2 E_k^2} \tau_k^3. \quad (15)$$

З другого боку, при дії на залишок гички на коренеплоді у виразі (15) сила P повинна перевищувати значення, необхідне для руйнування залишка гички:

$$P_{\min} \geq \frac{\pi R^2(E_c(\nu_\delta^2 - 1) + E_\delta(\nu_r^2 - 1))^2}{6E_\delta^2 E_c^2} \tau_c^3. \quad (16)$$

Такими є співвідношення, що визначають значення межі сили, що повинна діяти

на коренеплід для забезпечення руйнування залишків гички без пошкодження тіла коренеплоду.

При цьому випадок, коли сила P є дотичною до залишку гички може не розглядатися, оскільки в цьому випадку P_{\min} забезпечить злам залишку.

Висновки і перспективи. На основі проведеного аналізу встановлені граничні значення сили, що може діяти на головку коренеплоду в залежності від його геометричних розмірів та розмірів залишку гички, а також їх механічних властивостей (модулів пружності та коефіцієнтів Пуассона) для забезпечення руйнування залишків гички без пошкодження тіла коренеплоду.

Список використаних джерел

1. Василенко П.М. О методике механико-математических изысканий при разработке проблем сельскохозяйственной техники. Москва : БТИ ГОСНИТИ, 1962. 230 с.
2. Денисенко И.И. Исследование физико-механических свойств сахарной свеклы и механизированных операций ее уборки : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва». Киев, 1965. 18 с.
3. Василенко П.М. Об уравнениях динамики систем с неголономными связями. *Земледельческая механика. Сборник трудов.* 1968. Т. 2. С. 26-34.
4. Тимошенко С.П. Статические и динамические проблемы теории упругости / под ред. Э.И. Григолока. Киев : Наукова думка, 1975. 564 с
5. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. Москва : Мир, 1989. 510 с.
6. Галин Л.А. Контактные задачи теории упру гости и вязкоупругости. Москва : Наука, 1980. 304 с.
7. Беляев Н.М. Соппротивление материалов. Москва, 1951. 856 с.
8. Войтюк Д.Г., Барановський В.М., Булгаков В.М. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.

*Дата надходження статті до редакції : 06.10.2017
Рецензування 05.11.2017 Прийняття в друк : 14.12.2017*

Linnik A.Yu.¹

*PhD (Technics), Associate Professor
Department of Machine Usage and Technologies in Agriculture
E-mail: Linnik_Andrij@ukr.net*

Soltysjuk V.I.¹

*PhD (Technics), Associate Professor
Department of Machine Usage and Technologies in Agriculture
E-mail: Vivatam19@gmail.com*

Marchuk N.I.²

*PhD (Math.), Associate Professor
Department of Physics, Mathematics and General Technical Sciences
E-mail: marchuk@gmail.com*

¹ Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences
of Ukraine Berezhanıy Agrotechnical institute
² State Agrarian and Engineering University in Podilya
Kamianets-Podilskyi, Ukraine

DEFINITION OF A MAXIMUM LOAD WORKING BODY OF A CLEANER OF ROOT CROPS

Abstract

The study reports on after-cleaning beet roots in the process of harvesting sugar beet crops is the proper preparation of the root crops for their digging. Preparation of root crops includes such operations as cutting of the main part of beet tops, after cleaning of the head of the root crop, etc. The solution of this issue is possible by solving the problem of high-quality after cleaning of root crop heads from the remnants of the root crops while saving the integrity of the productive part of the root. The efficiency of the work of the head cleaners of root crops determines the degree of separation of the beet tops remnants and the index of damage of the root crops. These are qualitative indicators and for their determination the dynamics of the interaction of working bodies of the cleanser with root crop should be done, taking into consideration the permissible stresses in the body of the root, based on the criterion of its strength, provided that the maximum separation of the remains of the beet tops. The research of the contact interaction of after cleaner's of the working part of root crops with the conditions of the destruction of the remains of root tops under conditions of not damaging of the roots was carried out. The boundaries of allowed loads from are determined depending on the mechanical properties of the body of the root and the remnants of the beet tops, as well as their geometric dimensions.

Keywords: contact spot, modulus of elasticity, Tresk's destruction criterion, maximal and minimal impulsive force.

References

1. Vasilenko, P.M. (1962). O metodike mehaniko-matematicheskikh izyskanij pri razrabotke problem sel'skohozjajstvennoj tehniki [On the technique of mechanical and mathematical research in the development of problems of agricultural machinery]. Moskow : BTI GOSNITI. [in Russ.]
2. Denisenko, I.I. (1965). Issledovanie fiziko-mehaničeskikh svojstv saharnoj svekly i mehanizirovannyh operacij ee uborki : avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk: spec. 05.05.11 «Mashini i zasobi mehanizacii sil'skogospodars'kogo virobništva» [Investigation of the physical and mechanical properties of sugar beet and mechanized operations for its harvesting (Unpubl masters thesis)]. Kyiv. [in Russ.]
3. Vasilenko, P.M. (1968). Ob uravnenijah dinamiki sistem s negolonomnymi svjazjami [On equations of dynamics of systems with non-holonomic constraints]. *Zemledel'českaja mehanika. Sbornik trudov*, 2, 26-34. [in Russ.]
4. Grigoljuk, Je.I. (Ed.) (1975). Sticheskie i dinamicheskie problemy teorii uprugosti [Static and dynamic problems of the theory of elasticity]. Kyiv : Naukova dumka [in Russ.]
5. Dzhonson, K. (1989). Mehanika kontaktnogo vzaimodejstvija [The mechanics of contact interaction]. Moskow : Mir. [in Russ.]
6. Galin, L.A. (1980). Kontaktnye zadachi teorii upru gosti i vjazkouprugosti [Contact problems of the theory of elasticity of guests and viscoelasticity]. Moskow : Nauka. [in Russ.]
7. Beljaev, N.M. (1951). Soprotivlenie materialov [Strength of materials.]. Moskow : Nauka
8. Voitiuk, D.H., Baranovskyi, V.M., & Bulhakov, V.M. (2005). Silskohospodarski mashyny. Osnovy teorii ta rozrakhunku [Agricultural machinery. Fundamentals of theory and calculation]. Kyiv : Vyscha osvita [in Ukr.]

Received: October 06, 2017

Revision: November 05, 2017 Accepted: December 14, 2017