

*The article deals with the development of model of structural-scheme synthesis of cutting tools. It gives the possibility to create the multivariant structure for machining of different surfaces of machine parts. The basic rectangle is proposed as an integrated model of synthesis. The rectangle is crossed by different forming lines and it is given as well as linear moving as stable or discrete rotating along the 3-D Decart system.*

### Література

1. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов: Учебник, - К.: Выща шк., 1990. - 424 с.
2. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов. - М.: Машиностроение, 1984. - 272 с.
3. Филиппов Г.В. Режущий инструмент. - Л.: Машиностроение, 1982. - 446 с.
4. Сахаров Г.Н. Обкаточные инструменты. - М.: Машиностроение, 1983. - 232 с.
5. Кирсанов Г.Н. Проектирование инструментов. Кинематические методы. - М.: Мосстанкин, 1978. - 70 с.

*Одержано 16.04.01 р.*

УДК 631.335

**Р.Гевко, доктор техн.наук; І.Ткаченко, канд.техн.наук**

*Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя*

**О.Павелчак**

*Тернопільська академія народного господарства*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ПОВЕРХОНЬ КОРЕНЕПЛОДІВ З РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ОЧИСНИКІВ**

*Запропоновані методи визначення ймовірності взаємодії різних поверхонь коренеплодів з робочими органами очисників коренезбиральних машин з урахуванням налиплого ґрунту, центральних і бокових ударів, та характеру руху коренеплодів.*

### **Умовні позначення**

$S_k$  - повна площа поверхні коренеплоду, м<sup>2</sup>;

$P_1$  - ймовірність взаємодії сферичної поверхні коренеплоду з робочим органом;

$P_2$  - ймовірність взаємодії конічної поверхні коренеплоду з робочим органом;

$P_3$  - ймовірність взаємодії хвостової частини коренеплоду з робочим органом;

$R$  - радіус основи кола та півкулі поверхні коренеплоду, м;

$L$  - твірна конуса поверхні коренеплоду, м;

$L_3$  - довжина твірної зрізаного конуса поверхні коренеплоду, м;

$r$  - радіус меншої основи зрізаного конуса поверхні коренеплоду, м;

$l$  - твірна конуса хвостової частини коренеплоду.

Для досягнення максимального сепаруючого ефекту робочими органами бурякозбиральних машин при допустимому рівні пошкоджень коренеплодів першочерговим є питання виявлення їх найбільш травмонебезпечних зон. У зв'язку з цим необхідно визначити ймовірність взаємодії різних поверхонь коренеплодів з робочими органами очисників з урахуванням налиплого ґрунту, центральних і бокових ударів та характеру руху коренеплодів.

З аналізу літературних джерел [1,2] відомо, що основними факторами впливу на рівень пошкодження коренеплодів є швидкість їх ударної взаємодії з робочим органом, площа контакту коренеплід - очисник, жорсткість основи та сепаруючої поверхні робочого органу. При цьому вибір оптимальних параметрів очисників має забезпечити високу сепаруючу здатність коренеплодів, сильні механічні пошкодження яких згідно з агровимогами [3] не повинні перевищувати 5%. Однак при певних режимах роботи і заданих конструктивно-кінематичних параметрах очисника його взаємодія з хвостовою

частиною коренеплоду може призвести до глибоких пошкоджень або руйнувань тіла цукрового буряка, але ймовірність такої взаємодії може бути незначною. Отже, параметри робочих органів необхідно вибирати як з урахуванням фізико-механічних властивостей коренеплодів, так і мінімальної ймовірності такої взаємодії, при якій глибина пошкодження тіла коренеплоду не перевищує величини, встановленої агрономіями.

Ймовірність взаємодії коренеплодів з рифовими поверхнями робочих органів визначатимемо як добуток ймовірностей від контакту окремих поверхонь коренеплоду, центральних і бокових ударів, налиплого ґрунту на тіло буряка та його кутової швидкості обертання.

При розрахунку прийняті наступні припущення:

- коренеплід є ідеальним ізотропним тілом, що складається з півсфери та конуса;
- налиплий ґрунт знаходиться тільки на конусній частині коренеплоду;
- дотичними взаємодіями робочого органу на коренеплід нехтуємо, оскільки пошкодження від таких контактів є незначними;
- взаємодією коренеплодів між собою в процесі очищення, їх ударами до захисних еластичних фартухів нехтуємо, оскільки параметри жорсткості ударів від таких взаємодій є незначними, а площі контактів суттєво перевищують активні площі рифових поверхонь очисників.

При розрахунках коренеплід цукрового буряка умовно поділимо на три частини: голівка коренеплоду (I), бокове конусне тіло (II) і хвостова частина (III). Ця схема із зображенням варіантів розподілу сил ударних взаємодій від робочого органу подана на рис. 1.

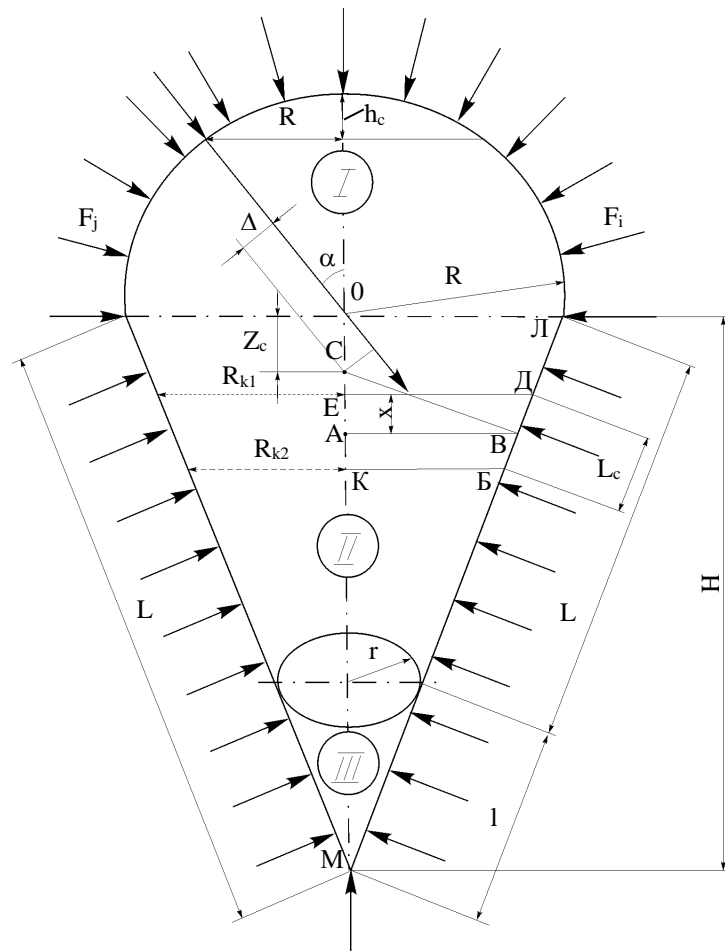


Рис. 1. Схема для визначення ймовірності взаємодії окремих поверхонь коренеплоду з робочими органами.

Попередньо визначимо ймовірність взаємодії частин коренеплоду з очисником залежно від площі їх бокових поверхонь.

Повна площа  $S_k$  поверхні коренеплоду, що складається з конуса та півсфери, дорівнює

$$S_k = \pi RL + 2\pi R^2 = \pi R(L + 2R). \quad (1)$$

Відповідно ймовірність взаємодії повної площі зовнішньої поверхні коренеплоду з очисним робочим органом дорівнює 1.

Бокові поверхні трьох частин коренеплоду відповідно визначаються так:

I - площа поверхні голівки коренеплоду;

$$S_1 = 2\pi R^2, \quad (2)$$

II - площа основного тіла конусної частини коренеплоду;

$$S_2 = \pi L_3 (R + r), \quad (3)$$

III - площа хвостової частини коренеплоду

$$S_3 = \pi rl. \quad (4)$$

Згідно з розподілом трьох частин поверхонь коренеплоду ймовірність  $P_1$  його взаємодії з робочим органом сферичною поверхнею становитиме:

$$P_1 = \frac{S_1}{S_k} = \frac{2\pi R^2}{\pi R(L + 2R)} = \frac{2R}{L + 2R}. \quad (5)$$

Ймовірність взаємодії конусною поверхнею визначається:

$$P_2 = \frac{S_2}{S_k} = \frac{\pi L_3 (R + r)}{\pi R(L + 2R)} = \frac{L_3 (R + r)}{R(L + 2R)}. \quad (6)$$

Ймовірність взаємодії хвостовою частиною становить:

$$P_3 = \frac{S_3}{S_k} = \frac{\pi rl}{\pi R(L + 2R)} = \frac{rl}{R(L + 2R)}. \quad (7)$$

На основі аналізу відомих досліджень системи ґрунт-коренеплід [2], що складається з ґрунту і випадково розміщених в ній коренеплідів, а також характеру утворених у процесі їх вегетаційного періоду ущільнених зон, можна умовно прийняти, що  $L=3l$ . Це пояснюється тим, що щільність ґрунту біля коренеплоду на глибині 120...160 мм є максимальною, а далі починає спадати у бік хвостової частини. З іншого боку пошкодження хвостика коренеплідів у процесі їх сепарації не призводить до суттєвих втрат цукрової сировини.

Для визначення числових значень ймовірності взаємодії вищевказаних зон коренеплоду з робочим органом звернімося до розмірних і масових характеристик коренеплідів цукрових буряків. Згідно з [2] математичне сподівання діаметра  $D_k$  і довжини конусної частини  $H$  коренеплідів відповідно становлять  $D_k=70...120$  мм і  $H=210...240$  мм.

Користуючись відомими регресійними залежностями [1], ми визначили геометричні параметри для кондиційних коренеплідів: 1 - дрібні; 2 - середні; 3 - великі:

$$1 - R=20\text{мм}; H=80\text{мм}; L=82\text{мм}; L_3=61,5\text{мм}; r=5\text{мм}; l=20,5\text{мм}.$$

$$2 - R=45\text{мм}; H=155\text{мм}; L=161\text{мм}; L_3=121\text{мм}; r=11,25\text{мм}; l=40\text{мм}.$$

$$3 - R=70\text{мм}; H=230\text{мм}; L=240\text{мм}; L_3=180\text{мм}; r=17,5\text{мм}; l=60\text{мм}.$$

Таким чином, розрахунки за залежностями (5); (6) і (7) дозволили встановити наступний розподіл ймовірностей:

$$P_1^1 = 0,328; \quad P_2^1 = 0,630; \quad P_3^1 = 0,042;$$

$$P_1^2 = 0,358; \quad P_2^2 = 0,602; \quad P_3^2 = 0,040;$$

$$P_1^3 = 0,368; \quad P_2^3 = 0,592; \quad P_3^3 = 0,039.$$

Нижній індекс у позначенні ймовірності вказує на зону тіла коренеплоду, а верхній - на його розмір.

Наступним етапом розрахунків було визначення розподілу ймовірностей взаємодії при центральних і бокових ударах коренеплодів з боку очисних робочих органів.

З аналізу досліджень [1] відомо, що найбільше тіла коренеплодів пошкоджуються в результаті їх ударних взаємодій з поверхнями очисних робочих органів при виникненні центральних ударів, коли напрям зусилля спрямований у зону центру мас коренеплоду цукрового буряка. При визначенні ймовірності виникнення центральних і бокових ударів умовно вважатимемо, що центральним буде удар, коли напрямок зусилля відхилиться від об'єданого центру мас коренеплоду не більше, ніж на 6% від його максимального габаритного розміру  $R+H$  (рис.1) для удару в голівку коренеплоду і на 4% для удару в його конусну частину. Дане числове значення отримане на основі багатократного кидання гумового імітатора коренеплоду з незначної висоти (у межах 50мм) на ребро металевої пластини [4]. При цьому позначками відзначалися граничні межі, при яких спостерігалось чітке провертання коренеплоду після ударної взаємодії, як у бік хвостової частини, так і його голівки.

Для визначення розташування центру мас  $Z_c$  (рис.1) коренеплоду цукрового буряка відносно його голівки скористаємося відомою аналітичною залежністю [5]:

$$Z_c = \frac{H^2 - 3R^2}{4(2R + H)}.$$

З розрахунків випливає, що значення  $Z_c$  збільшується при зростанні габаритних розмірів коренеплодів, і його абсолютна величина для трьох вищевказаних варіантів розподілу геометричних параметрів становить:  $Z_c^1 = 10,8$  мм;  $Z_c^2 = 18,3$  мм;  $Z_c^3 = 25,8$  мм.

Щоб визначити плече  $\Delta$  між напрямком зусилля удару в напівсферичну голівку коренеплоду і його об'єднаним центром мас звернімося до рис.1. Нехай напрям зусилля розташований під певним кутом  $\alpha$  до поздовжньої вісі коренеплоду. Враховуючи те, що для голівки коренеплоду відстань  $\Delta$  не повинна перевищувати  $0,06(R+H)$ , радіус  $R_c$  її сегментної поверхні визначаємо з подібності трикутників:

$$R_c = R \frac{\Delta}{Z_c} = 0,06R \frac{(R+H)}{Z_c}. \quad (8)$$

Висота  $h_c$  сегментної частини голівки коренеплоду

$$h_c = R - \sqrt{R^2 - R_c^2} = R \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{(0,06(R+H))^2}{Z_c^2}} \right). \quad (9)$$

Використовуючи відому залежність для визначення сегментної поверхні  $S_{сегм} = 2\pi R_c h_c$ , а також враховуючи залежності (8) і (9), кінцево площа поверхні голівки коренеплоду, при взаємодії з якою удар буде центральним, визначається

$$S_{сегм} = 2\pi R^2 \frac{0,06(R+H)}{Z_c} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{(0,06(R+H))^2}{Z_c^2}} \right). \quad (10)$$

Тоді залежність для визначення ймовірності виникнення центрального удару в сферичну поверхню виглядатиме так:

$$P_1 = \frac{0,06(R+H)}{Z_c} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{(0,06(R+H))^2}{Z_c^2}} \right). \quad (11)$$

Для розгляду трьох варіантів з урахуванням визначених значень  $Z_c$  розрахункові числові значення  $P_1$  дорівнюватимуть:  $P_1^1 = 0,094$ ;  $P_1^2 = 0,161$ ;  $P_1^3 = 0,198$ .

Насправді ймовірність виникнення центральних ударів у голівку коренеплоду більша, оскільки її поверхня не має форми ідеальної півсфери. Також при виникненні бокових ударів величина кута тертя в парі робочий орган-коренеплід переважає кут, що виникатиме між напрямком ударного зусилля та лінією, що з'єднує точку удару з центром мас коренеплоду, а даний фактор гальмуватиме процес його провертання. Однак наявність залишків гички на голівці коренеплоду частково демпфуватиме ударне навантаження, що зменшить ймовірність виникнення контакту між тілом буряка і робочим органом.

Враховуючи те, що найбільше коренеплоди травмуються при їх взаємодії з робочими органами, що мають відносно гострі елементи поверхонь, розрахунки виконані для точкового контакту.

Остаточні висновки та рекомендації можна подати після комплексу експериментальних досліджень у лабораторних умовах з реальними коренеплодами та їх імітаторами. Для визначення ймовірності виникнення центральних ударів навантажень в основу конусної частини коренеплоду визначимо площу її бокової поверхні. Аналогічно (3) вона становить:

$$S_{бок} = \pi L_c (R_{к1} + R_{к2}).$$

Виведемо залежності для визначення  $L_c$ ,  $R_{к1}$ ,  $R_{к2}$ . Згідно з вищевикладеними обґрунтуваннями довжина твірної зрізаного конуса становить  $L_c = 0,08(R + H)$ .

Радіуси більшої  $R_{к1}$  та меншої  $R_{к2}$  основ зрізаного конуса становлять:

$$R_{к1,к2} = \frac{\frac{R}{L}(H - Z_c) \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}} \cdot \left( H - Z_c - \frac{R^2 \cdot (H - Z_c)}{L^2} \right) \pm 0,02 \frac{H \cdot (R + H)}{L}}{H - Z_c - \frac{R^2}{L^2} \cdot (H - Z_c)}. \quad (12)$$

Таким чином, залежність для визначення бокової поверхні конусної частини коренеплоду виглядає так:

$$S_{бок} = 0,16\pi \frac{R}{L} (R + H) (H - Z_c) \cdot \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}}. \quad (13)$$

Враховуючи, що площа основного тіла конусної частини коренеплоду дорівнює  $S_n = \pi L_3 (R + r)$ , ймовірність виникнення центрального удару в його бокову поверхню визначається із залежності:

$$P_2 = \frac{S_{бок}}{S_n} = \frac{0,16R(R + H)(H - Z_c) \cdot \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}}}{L \cdot L_3 (R + r)}. \quad (14)$$

На довжині твірної від 0 до  $3L/4$  залежність (14) виглядає так:

$$P_2 = \frac{0,16R(r + H)(H - Z_c) \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}}}{L \cdot \frac{3L}{4} \left( R + \frac{R}{4} \right)} = \frac{0,17(R + H)(H - Z_c) \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}}}{L^2}. \quad (15)$$

З аналізу розмірних характеристик коренеплодів і можливих зон виникнення центральних ударів встановлено, що такі удари можуть виникати лише на конусній поверхні тіла коренеплоду на довжині твірної від 0 до  $L/4$ . Тоді на даній поверхні ймовірність виникнення центрального удару з урахуванням (14) визначається як

$$P_2 = \frac{0,36(R+H)(H-Z_c)\sqrt{1-\frac{R^2}{H^2}}}{L^2}. \quad (16)$$

На основі розрахунків для трьох варіантів розмірних характеристик коренеплодів за залежністю (15) встановлено

$$P_2^1 = 0,169; \quad P_2^2 = 0,172; \quad P_2^3 = 0,173,$$

а за залежністю (16)

$$P_2^1 = 0,359; \quad P_2^2 = 0,365; \quad P_2^3 = 0,366.$$

Ймовірність виникнення центральних ударів у хвостову частину коренеплоду практично дорівнює нулю.

У процесі взаємодії коренеплоду з робочими органами досить важливим фактором, що впливає на глибину пошкоджень тіла буряків, є наявність на їх поверхні налиплого ґрунту, що виконує функцію так званого демпферу в процесі ударної взаємодії. Розподіл налиплого ґрунту, а також наявність на голівці коренеплодів залишків гички, аналітичній оцінці не підлягає, а тому визначимо його на основі відомих досліджень, а також візуальних спостережень розподілу налиплого ґрунту на коренеплодах виконаних і очищених бурякозбиральними машинами. При проведенні даної оцінки необхідно виявити найбільш незахищені (чисті від налиплого ґрунту і залишків гички) зони поверхонь коренеплодів, що взаємодіють з робочими органами.

З попереднього аналізу встановлено, що центральний удар у сферичну голівку коренеплоду виникає на його вершині, висота сегментної частини якої визначається із залежності (9). З попередніх досліджень відомо, що для різних розмірних характеристик коренеплодів математичне очікування товщини розташування залишків гички, що захищають поверхню коренеплодів від безпосередньої взаємодії з робочими органами, знаходиться в межах 8,0... 21,4 мм. Застосовуючи залежність (9) для різних геометричних параметрів коренеплодів, визначимо висоту  $h_c$  їх сегментної частини, при взаємодії з якою удар буде центральним:

$$\text{дрібні: } R=20\text{мм}; H=80\text{мм}; Z_c = 10,8\text{мм} \rightarrow h_c^1 = 3,37\text{мм};$$

$$\text{середні: } R=45\text{мм}; H=155\text{мм}; Z_c = 18,3\text{мм} \rightarrow h_c^2 = 11,02\text{мм};$$

$$\text{великі: } R=70\text{мм}; H=230\text{мм}; Z_c = 25,8\text{мм} \rightarrow h_c^3 = 19,85\text{мм}.$$

З аналізу можна констатувати, що в зоні виникнення центральних ударів на голівці коренеплодів їх чиста поверхня з робочими органами безпосередньо не взаємодітиме. Налиплий ґрунт захищає голівки коренеплодів приблизно на 40%, оскільки навіть при їх розташуванні у ґрунті (безгербіцидна технологія вирощування цукрових буряків) у період вегетації щільність ґрунту біля поверхні голівки буде незначною порівняно з конусною частиною тіла буряка. Саме даний фактор визначає кількість налиплого ґрунту на поверхні коренеплоду при його очищенні [2].

Щодо конусної частини коренеплоду, то, як показали візуальні спостереження очищених коренеплодів, що переміщуються в технологічному руслі скребоквих транспортерів, розподіл налиплого ґрунту на боковому конусному тілі буряка (II, рис. 1) є нерівномірним. Це підтверджує і щільність розподілу ґрунту по глибині росту коренеплоду. Аналізом встановлено, що на висоті від голівки коренеплоду, тобто від 0 до  $L/4$ , щільність ґрунту в середньому в 2 рази менша, ніж щільність ґрунту на висоті від  $L/4$  до  $3L/4$ . Таким чином, можна припустити, що на конусній частині коренеплоду від 0 до  $L/4$  чиста поверхня тіла буряка знаходиться в межах 70%, а на довжині від  $L/4$  до  $3L/4$  – 40%. Чиста поверхня хвостової частини знаходиться в межах 60%.

Оскільки налиплий ґрунт на конусній частині коренеплоду розташовується нерівномірно, то при визначенні ймовірностей взаємодії частин буряка з робочими

органами поділимо основне конусне тіло ще на дві частини відповідно з довжинами твірних від 0 до  $L/4$ .

При визначенні ймовірності взаємодії окремих частин різних кондиційних коренеплодів з робочими органами встановимо виникнення на їх поверхні центральних і бокових ударів (див. табл. 1).

При аналізі результатів досліджень нас в першу чергу цікавить ймовірність виникнення центральних ударів у чисту поверхню коренеплоду, оскільки такі удари викликають найбільші пошкодження тіла цукрового буряка. З таблиці 1 видно, що центральних ударів у півсферичну поверхню голівки коренеплоду та його хвостову частину практично нема. Також відсутні центральні удари в нижню конусну частину коренеплоду. Ймовірність виникнення центрального удару у верхню конусну частину на відстані від 0 до  $L/4$  близька до 0,07. Отже, у процесі очищення коренеплоду його взаємодія з робочим органом характеризується 7% ударних контактів чистою поверхнею, на якій відбуватимуться центральні удари, що найбільш небезпечно з точки зору виникнення сильних механічних пошкоджень цукрових буряків.

Отже, обмеження за сильними механічними пошкодженнями цукрових буряків (до 5%) потребують вибору таких конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів, які забезпечили б мінімальні пошкодження коренеплодів при їх взаємодії верхньою конусною частиною із сепаруючими поверхнями. Розробляючи методики для експериментального дослідження ступеня пошкодження коренеплодів, необхідно орієнтуватися на найбільш травмонебезпечні зони цукрових буряків і для них вибирати параметри робочих органів.

Таблиця 1. Ймовірність взаємодії частин тіла коренеплоду з робочими органами

Зона контакту			Розміри коренеплодів		
			дрібні	середні	Великі
Півсфера	Центральний удар	В чисту поверхню	0	0	0
		В захищену поверхню	0,031	0,058	0,073
	Боковий удар	В чисту поверхню	0,178	0,180	0,177
		В захищену поверхню	0,119	0,120	0,118
Конус $0 - L/4$	Центральний удар	В чисту поверхню	0,075	0,072	0,072
		В захищену поверхню	0,032	0,031	0,031
	Боковий удар	В чисту поверхню	0,133	0,126	0,124
		В захищену поверхню	0,057	0,054	0,053
Конус $L/4 - 3L/4$	Центральний удар	В чисту поверхню	0	0	0
		В захищену поверхню	0	0	0
	Боковий удар	В чисту поверхню	0,133	0,127	0,125
		В захищену поверхню	0,200	0,191	0,187
Хвостова частина	Центральний удар	В чисту поверхню	0	0	0
		В захищену поверхню	0	0	0
	Боковий удар	В чисту поверхню	0,025	0,024	0,024
		В захищену поверхню	0,017	0,016	0,016

### Висновки

Визначення ймовірності взаємодії різних поверхонь коренеплодів з робочими органами очисників з урахуванням налиплого ґрунту, центральних і бокових ударів та характеру руху коренеплодів дозволять підвищити якісні показники роботи бурякозбиральних машин.

*The determination methods of interaction probability of different roots surfaces with the working cleaner members of root-harvesting machines taking into account the stuck ground, central and side impacts and the character of roots movement are proposed in this article.*

### **Література**

1. Гевко Р.Б. Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин: Конструювання і розрахунок. - Тернопіль: Поліграфіст, 1997. -120с.
2. Свеклоуборочные машины: (Конструирование и расчет) / Л.В.Погорельий, Н.В.Татьянко, В.В.Брей и др.; Под общ. ред. Л.В.Погорелого. - К.: Техніка, 1983. -168 с.
3. ДСТУ 2258-93. Машини бурякозбиральні. –К.: Держстандарт України, 1993. –18 с.
4. Булгаков В.М., Павелчак О.Б., Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г. Методика оцінки ступеня пошкодження коренеплодів коренезбиральною машиною // Збірник наукових праць національного аграрного університету. Том 7 "Механізація сільськогосподарського виробництва".-К. : НАУ, 2000 С. 14-19.
5. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки / Р.Б.Гевко, І.Г.Ткаченко, С.В.Синій, В.М.Булгаков, Р.М.Рогатинський, О.В.Павелчак. - Луцьк: ЛДТУ, 1999. – 168 с.

*Одержано 25.01.01 р.*