

УДК 631.361

Н. Дубчак, канд. техн. наук

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

РЕЗУЛЬТУЮЧА ШВИДКІСТЬ ПРОЦЕСУ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ КОРЕНЕПЛОДІВ

Резюме. Наведено результати аналітично-емпіричних досліджень технологічного процесу контактної взаємодії коренеплодів з витком шнека очисної системи на основі кінематичного аналізу руху коренеплодів по робочих поверхнях очисника, виконаного у вигляді подавального транспортера та встановленого над ним шнека. Отримано аналітичні та емпіричні моделі процесу співудару коренеплодів з витком шнека, які характеризують залежність зміни результуючої швидкості співудару залежно від основних параметрів робочих органів очисника. Визначено раціональні межі основних конструктивно-кінематичних параметрів очисної системи з умови забезпечення мінімальних пошкоджень коренеплодів.

Ключові слова: очисна система, коренеплоди, подавальний транспортер, шнек, результуюча швидкість співудару, частота обертання шнека, діаметр шнека.

N. Dubchak

RESULTANT SPEED OF THE ROOT CROPS INTERACTION

Summary. Results of the analytical – empirical investigation of the technological process of the root crops contact interaction with the screw flight of the cleaning system, basing on the kinematic analysis of the root crops movement on the operating surfaces of the cleaner, constructed as the feeding conveyer and the screw, mounted under it, have been presented. Separation of the root crop tops, which is dug up by the operating members and further fed to its cleaning transporting – technological systems, is one of the most important and complicated technological operations of the root harvesting machine operating. The objective of the scientific investigations is the further development of methods and methodology of optimization of the root crop tops cleaners parameters. The main factors, which characterize the functional process of the root crop tops cleaning are the quantity data of admixtures and root crops damage, which appear while their interacting with the screw flight. The criterion of the root crops damage estimation is the resultant speed the process of the contact interaction with the screw flight, which is limited by the admissible values.

Basing on kinematic analysis of the speed plan graphic plotting of the root crops movement, determinate mathematic model is obtained, which characterizes the dependence of the change of the resultant speed of the root crops contact interaction with the screw flight on the main cleaner parameters.

As the result of this plotting and carrying out multi – factor experiments the empiric models were obtained, which characterize the dependence of the resultant speed change flight, depending on the main cleaner operating members parameters. Effective limits of the main cleaners construction kinematic parameters while providing the root crops minimal damages have been determined. Differences in experimental and theoretical values of the resultant speed of the root crops contact interaction with the screw flight is within 3..8%, that is, analytical mathematic model similar to that of the real experimental process, has been built.

Key words: cleansing system, beet roots, conveyer, screw, resultant speed of collision, frequency of screw rotation, screw diameter.

Умовні позначення:

V_c, V_p, V_k – відповідно сумарна, результуюча та колова швидкість шнека, м/с;

V_{mp} – поступальна швидкість руху транспортера, м/с;
 φ – кут повороту шнека, рад;
 V_o – швидкість переміщення витків уздовж осі обертання шнека, м/с;
 ω, ω_e – кутова швидкість шнека та приводного вала транспортера, рад/с;
 V_{ko} – швидкість переміщення коренеплоду вздовж осі шнека, м/с;
 k_{V_o} – коефіцієнт, який враховує зниження V_n у порівнянні із V_o ;
 T – крок гвинтової лінії витка, м;
 n, n_e – частота обертання шнека та приводного вала транспортера, об/с;
 β – кут підйому гвинтової лінії в точці удару коренеплоду, град.;
 D – діаметр шнека, м;
 D_e – ведучої зірочки транспортера, м;
 φ_k – кут тертя ковзання матеріалу по гвинтовій поверхні, град.

Актуальність питання. Робочі органи для відокремлення домішок від коренеплодів, поряд з викопувальними, є одними з основних значущих вузлів конструвальних схем машин для збирання коренеплодів. Сепарація вороху коренеплодів, який викопується робочими органами коренезбиральної машини (КМ) та в подальшому надходить до її очисних транспортно-технологічних систем (ТТС), є однією з важливих і складних технологічних операцій у процесі роботи КМ [1].

Ефективність і якість роботи машин значною мірою залежить від конструктивно-конструвальної схеми та процесу роботи робочих органів очисників вороху, які повинні відокремити зі складу поступаючого вороху не менше 92 % домішок за вихідними вимогами до КМ, при цьому допустимі пошкодження не повинні перевищувати межу 15 % [2]. Існуючі принципово-функціональні схеми очисників вороху не повною мірою відповідають сучасним вимогам показників якості очищення коренеплодів від рослинних і ґрунтових домішок за рахунок ряду існуючих недоліків. Виробниче застосування очисних робочих органів машин для збирання коренеплодів показало, що показники якості їх роботи не завжди відповідають агротехнічним вимогам, при цьому загальні пошкодження коренеплодів можуть становити до 20...40 % [3, 4].

Розроблення модельних типів очисників вороху та раціональної структури конструвальних схем удосконалених КМ може бути виконано шляхом аналітично-емпіричного моделювання технологічного процесу очищення коренеплодів від домішок на основі сучасних методів теоретичного аналізу функціонування об'єктів дослідження та проведення експериментів.

Аналіз відомих досліджень. Для підвищення ступеня відокремлення домішок від коренеплодів нами запропоновано удосконалений комбінований очисник вороху, який забезпечує мінімальні пошкодження коренеплодів при задовільних показниках якості очищення вороху від домішок [5, 6].

Опубліковані результати досліджень шнекових робочих органів ТТС КМ відносяться як правило до гвинтових конвеєрів, як окремих механізмів відносно невеликого діаметра шнека – у межах 0,15...0,25 м [7, 8, 9].

Запропонована конструкція очисника, окрім шнека діаметром 0,5...0,8 м, має наявні й взаємозв'язані між собою інші технологічні елементи та власні специфічні функціональні властивості, що й зумовило проведення даних досліджень.

Метою наукових досліджень є подальший розвиток методів і методології оптимізації параметрів очисників вороху коренеплодів.

Результати дослідження. У процесі роботи очисника відбувається контактна взаємодія коренеплодів з витком шнека. Основними показниками, які характеризують функціональний процес очищення вороху є кількісні показники відокремлення домішок і пошкодження коренеплодів, які виникають у процесі їх взаємодії з витком шнека. Критерієм оцінювання ступеня пошкодження коренеплодів є результуюча швидкість процесу контактної взаємодії коренеплоду, яка обмежена допустимими значеннями [10].

Нехай коренеплід зі швидкістю подавального транспортера V_{mp} (рис. 1)

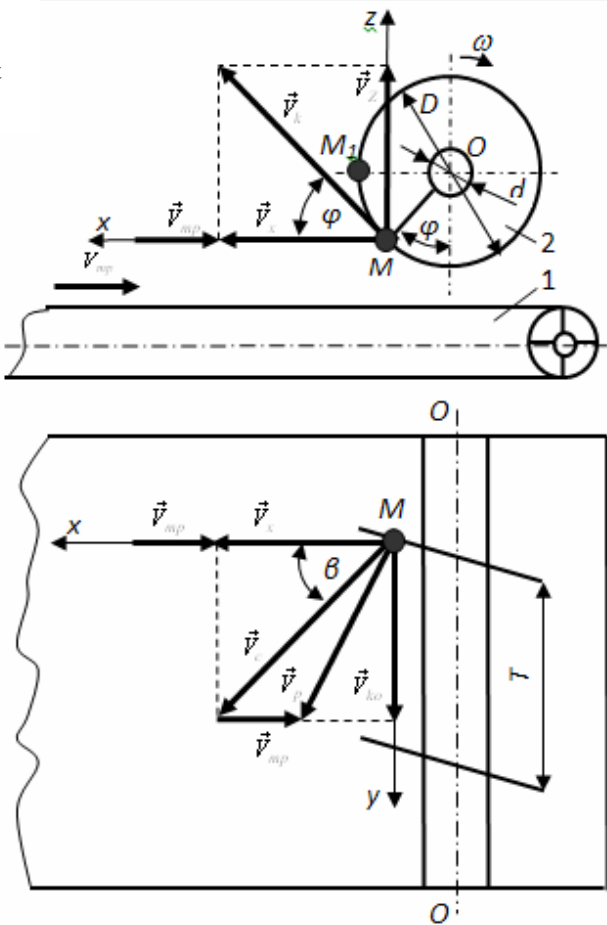


Рисунок 1. Схема до визначення результуючої швидкості: 1 – транспортер; 2 – шнек
 Figure 1. Scheme for determination of the resultant speed: 1 – conveyor; 2 – screw

співударяється з елементом гвинтової поверхні шнека, який при цьому взаємодіє на тіло коренеплоду з сумарною швидкістю V_c , а явище контакту коренеплоду розглядається як деякий стрибкоподібний процес, тривалість якого безкінечно мала. У кінці контакту коренеплід змінює векторний напрямок і рухається від поверхні шнека з результуючою швидкістю V_p .

Для визначення абсолютної величини результуючої швидкості співудару V_p коренеплоду із гвинтовою поверхнею шнека використаємо графічну побудову плану швидкостей контактної взаємодії коренеплодів, яку наведено на рис. 1.

Згідно з аналізом схеми плану швидкостей і теореми косинусів маємо

$$\left. \begin{aligned} V_c &= \sqrt{V_x^2 + V_{ko}^2} = \sqrt{V_k^2 \cos^2 \varphi + V_{ko}^2}; \\ V_p^2 &= V_c^2 + V_{mp}^2 - 2V_c V_{mp} \cos \beta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

або, враховуючи (1),

$$V_p = \sqrt{(V_k^2 \cos^2 \varphi + V_{ko}^2) + V_{mp}^2 - 2V_c V_{mp} \cos \beta} \quad (2)$$

Тому, що $V_k = 0,5D \frac{d\varphi}{dt}$, $V_{ko} = V_o k_{Vo} = T n k_{Vo} = \frac{T k_{Vo}}{2\pi} \frac{d\varphi}{dt}$, $V_{mp} = 0,5D_e \frac{d\varphi_e}{dt}$, і

вписавши значення V_k , V_{ko} , V_{mp} у рівняння (2), отримає

$$V_p = \sqrt{0,25 D^2 \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 \cos^2 \varphi + 0,25 \frac{T^2 k_{Vo}^2}{\pi^2} \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 + 0,25 D_e^2 \left(\frac{d\varphi_e}{dt}\right)^2 - 2 \cdot \sqrt{0,25 D^2 \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 \cos^2 \varphi + 0,25 \frac{T^2 k_{Vo}^2}{\pi^2} \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2} \cdot 0,5 D_e \frac{d\varphi_e}{dt} \cos \beta} \quad (3)$$

Після відповідних перетворень і спрощень (3) формула для визначення скалярної (абсолютної) величини результуючої швидкості співудару коренеплоду з витком шнека буде мати вигляд

$$V_p = 0,5 \sqrt{\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 \left(D^2 \cos^2 \varphi + \frac{T^2 k_{Vo}^2}{\pi^2}\right) + D_e \left(\frac{d\varphi_e}{dt}\right) \times \left[D_e \frac{d\varphi_e}{dt} - 2 \frac{d\varphi}{dt} \cos \beta \sqrt{D^2 \cos^2 \varphi + \frac{T^2 k_{Vo}^2}{\pi^2}}\right]} \quad (4)$$

Для практичного використання отриманої детермінованої математичної моделі (4), яка характеризує взаємозв'язок зміни результуючої швидкості контактної взаємодії коренеплодів з витком шнека очисника, з урахуванням того, що $d\varphi/dt = 2\pi n$, $T = \pi D t g \beta = \pi D t g (\pi/4 - 0,5\varphi_k)$, а раціональна швидкість подавального транспортера V_{mp} згідно з даними [11] обмежена конкретизованими числовими значеннями $V_{mp} = 1,5 \dots 1,6$ м/с, рекомендовано застосовувати залежність

$$V_p = \sqrt{\pi^2 D^2 n^2 \left(\cos^2 \varphi + k_{Vo}^2 t g^2 (\pi/4 - 0,5\varphi_k)\right) + V_{mp}^2 - 2\pi D n V_{mp} \cos (\pi/4 - 0,5\varphi_k) \times \sqrt{\cos^2 \varphi + k_{Vo}^2 t g^2 (\pi/4 - 0,5\varphi_k)}} \quad (5)$$

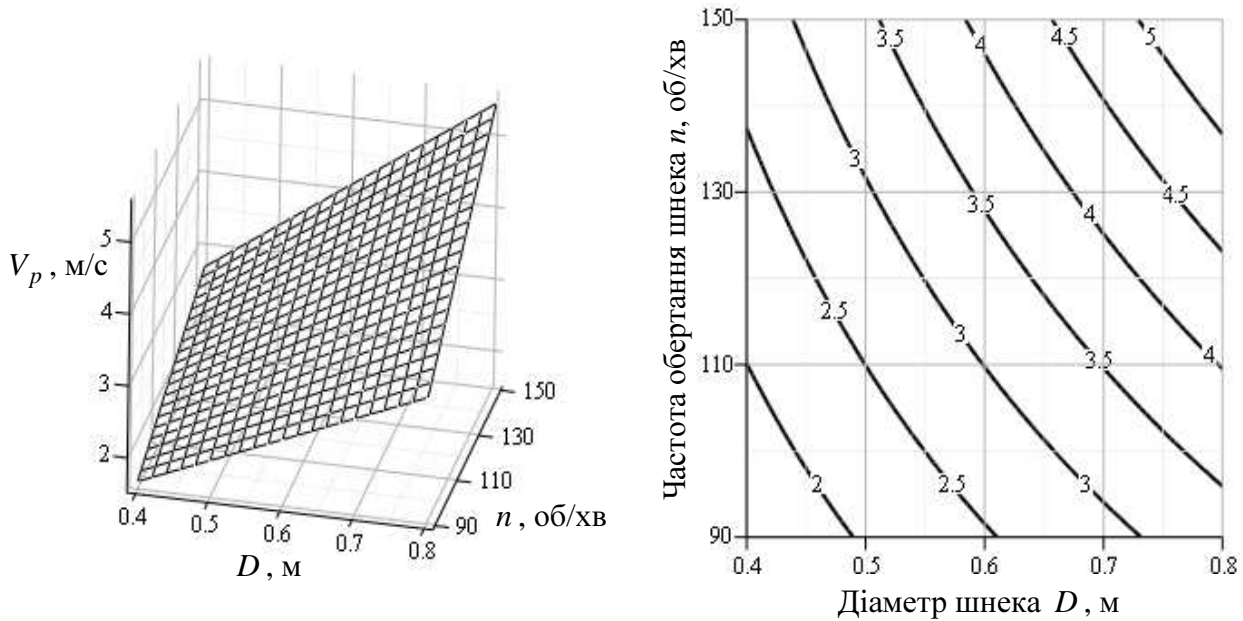


Рисунок 2. Залежність зміни результуючої швидкості контактної взаємодії коренеплодів як функціонал $V_p = f(n, D)$

Figure 2. Dependence of the resultant speed change of the root crops contact interaction as functional $V_p = f(n, D)$

Аналіз наведених графічних побудов (рис. 2) показує, що зміна результуючої швидкості V_p контактної взаємодії коренеплодів з витком шнека очисника має прямопропорційний характер – зі збільшенням частоти обертання n та діаметра D шнека результуюча швидкість V_p також зростає і знаходиться в межах 2...5 (м/с) для $\varphi = \pi/4$ і $\varphi_k = \pi/6$.

Для підтвердження теоретичних закономірностей (5) або зміни результуючої швидкості V_p контактної взаємодії коренеплодів з витком шнека залежно від параметрів очисника було проведено експериментальні дослідження процесу на основі планування та проведення багатофакторних експериментів типу ПФЕ 3^2 .

Для отримання регресійної моделі, яка характеризує зміну результуючої швидкості контактної взаємодії коренеплодів V_p^{ie} від параметрів очисника, вибирали відповідний композиційний план багатофакторного експерименту. При цьому незалежними змінними факторами приймали: частоту обертання шнека n , яку кодували індексом x_1 ; діаметр шнека D , який кодували індексом x_2 . Експерименти провели для трьох груп коренеплодів масою $m_k=1,0; 1,5; 2,0$ (кг) згідно з методикою [11].

Результати кодування змінних факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання під час проведення ПФЕ 3²

Фактори	Позначення		Інтервал варіюв.	Рівні варіювання, натуральні/кодовані		
	Натур.	Код.				
Частота обертання шнека, об/хв	D	x_1	50,0	50,0/-1	100,0/0	150,0/+1
Діаметр шнека, м	n	x_2	0,2	0,4/-1	0,6/0	0,8/+1

У результаті опрацювання експериментального масиву даних було отримано рівняння регресії залежності зміни сумарної швидкості контактної взаємодії коренеплодів кормових буряків з витком шнека очисника як функціонала $V_p^{ie} = f(n, D)$ у вигляді полінома другого степеня:

$$\left. \begin{aligned} V_p^{1.0e} &= 0,48 + 0,009n + 2,43D + 0,012nD + 1,33 \cdot 10^{-5}n^2 - 0,67D^2; \\ V_p^{1.5e} &= 0,44 + 0,009n + 2,33D + 0,012nD + 1,33 \cdot 10^{-5}n^2 - 0,67D^2; \\ V_p^{2.0e} &= 0,42 + 0,009n + 2,28D + 0,012nD + 1,33 \cdot 10^{-5}n^2 - 0,67D^2 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

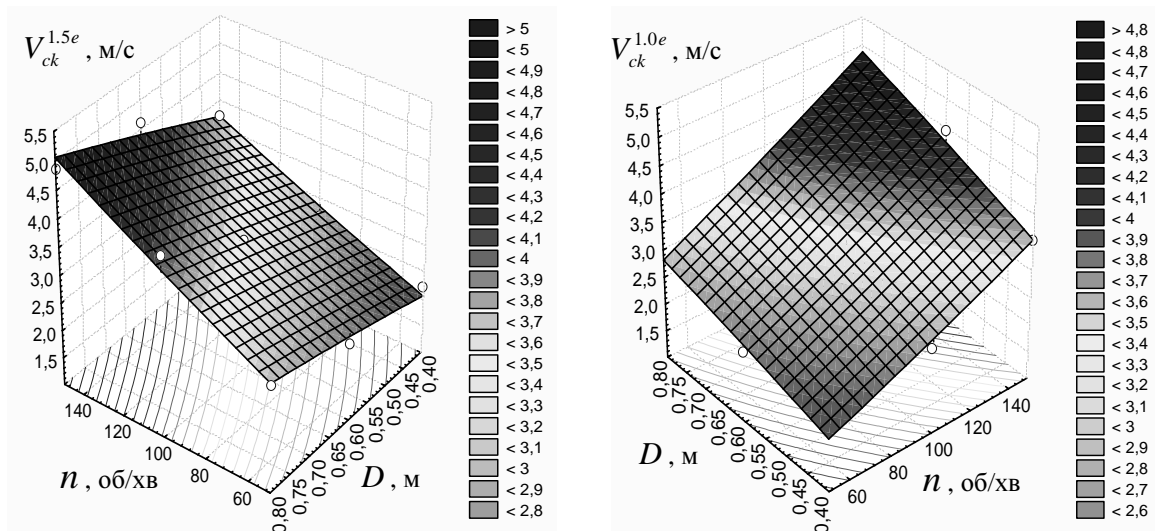


Рисунок 3. Поверхня відгуку залежності зміни результуючої швидкості контактної взаємодії коренеплодів масою 1,0 і 1,5 (кг) з витком шнека очисника як функціонал $V_p^{ie} = f(n, D)$

Figure 3. Respond surface of the resultant speed change dependence of the 1.0 and 1.5 (kg) root crops contact interaction with the cleaner screw flight as functional $V_p^{ie} = f(n, D)$

Аналіз наведених рівнянь регресії (6) та побудованих згідно з ними поверхонь відгуку залежностей $V_p^{ie} = f(n, D)$, які наведено на рис. 3, 4, показує, що зміна V_{ck}^{ie} залежно від маси коренеплодів m_k , які контактують з витком шнека у межах її зміни $1,0 \leq m_k \leq 2,0$ (кг), має несуттєвий характер – відповідний приріст результуючої швидкості співудару становить $\Delta V_p^e \approx 0,2 \dots 0,4$ (м/с). Тобто можна акцентувати, що вплив параметрів робочих органів очисника на величину пошкодження коренеплодів різних масових характеристик є незначним.

Відомо, що допустима швидкість контактної взаємодії коренеплодів кормових буряків з металевою поверхнею обмежена умовою $[V_{p.max}] \leq 3,1$ м/с [10]. Тобто в цьому випадку коренеплоди отримують пошкодження, що не виходять за межі агротехнічних

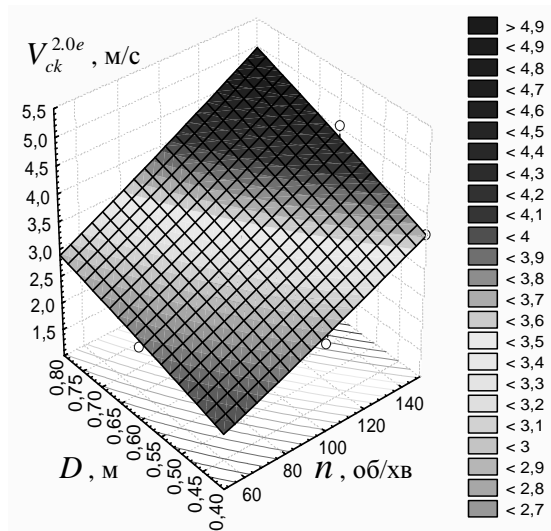


Рисунок 4. Поверхня відгуку залежності зміни результуючої швидкості контактної взаємодії коренеплодів масою 2,0 кг з витком шнека очисника як функціонал $V_p^{ie} = f(n, D)$

Figure 4. Respond surface of the resultant speed change dependence of the 2,0 kg root crops contact interaction with the clean screw flight as the functional $V_p^{ie} = f(n, D)$

вимог до КМ.

Виходячи з даної умови та аналізу наведених графічних залежностей (рис. 2 – 4) можна констатувати, що умова $[V_{p.max}] \leq 3,1$ м/с забезпечується при таких співвідношеннях конструктивно-кінематичних значень параметрів очисника: $D=0,6$ м, $n \leq 80,0$ об/хв.; $D=0,5$ м, $n \leq 100,0$ об/хв.; $D=0,4$ м, $n \leq 140,0$ об/хв. Розбіжність наведених експериментальних $V_{ck}^{1.5e}$ і теоретичних V_{ck} значень результуючої швидкості контактної взаємодії коренеплодів з витком шнека знаходиться у межах 3...8 %. Тобто побудована аналітична детермінована математична модель (4) адекватна реальному експериментальному процесу й вірогідно та повно описує процес контактної взаємодії коренеплодів з витком шнека з урахуванням формалізації об'єкта дослідження.

Висновки. Побудовані теоретична (4) та емпірична (6) математичні моделі процесу контактної взаємодії коренеплодів з витком шнека можуть бути використані для подальшого розвитку методології та методів обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів очисників вороху кормових буряків.

Conclusions. Theoretical and empiric mathematic models of the root crops contact interaction with the screw flight can be used for the further development of the methodology and interpreting methods of the construction – kinematic parameters of the beet root tops cleaners have been built.

Список використаної літератури

1. Погорельый, Л.В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз [Текст] / Л.В. Погорельый, М.В. Татьянко. – К.: Феникс, 2004. – 232 с.
2. ДСТУ 2258-93. Машины бурякозбиральні. – Київ: Держстандарт України, 1993. – 18 с.
3. Барановський, В.М. Основні етапи та сучасні тенденції розвитку коренезбиральних машин [Текст] / В.М. Барановський // Вісник ТДТУ. – Т. 11, № 2. – 2006. – С. 67 – 75.
4. Результати випробувань модернізованої коренезбиральної машини КС-6Б [Текст] / М.О. Гандзюк, В.М. Осуховський, І.Г. Ткаченко, Р.Б. Гевко // Сільськогосподарські машини. зб. наук. ст., вип. 7. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2000. – С. 25 – 30.
5. Пат. 28465 Україна, МКІ⁵ А 01 Д 33/08. Очисна система вороху коренеплодів [Текст] / В.М. Барановський, М.Р. Паньків, Н.А. Дубчак, О.Ф. Олійник; заявник і власник Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. – № у 2007 08888; заявл. 01.12.2007; опубл. 10.12.2007, Бюл. № 20.

6. Барановський, В.М. Очисна система вороху коренеплодів [Текст] / В.М. Барановський, М.Р. Паньків, Н.А. Дубчак // Вісник ХНТУСГ «Механізація с.-г. виробництва». – Т. 1. – Вип. 59. – Харків, 2007. – С. 33 – 36.
7. Гевко, Б.М. Конструктивно-технологічні схеми сепараційних робочих органів бурякозбиральних машин [Текст] / Б.М. Гевко, Н.Є. Вивюрка // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2000.– Т. 5, № 3. – С. 28 – 33.
8. Хелемендик, М.М. Напрями і методи розробки робочих органів сільськогосподарських машин [Текст] / М.М. Хелемендик. – К.: Аграрна наука, 2001. – 280 с.
9. Гевко, Р.Б. Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин: конструювання і розрахунок [Текст] / Р.Б. Гевко. – Тернопіль, 1997. – 120 с.
10. Барановський, В.М. До питання пошкодження коренеплодів очисними робочими органами [Текст] / В.М. Барановський, В.О. Соломка, В.Б. Онищенко // Вісник ТДТУ. – Т. 7, № 2. – 2002. – С. 90 – 94.
11. Шабельник, Б.П. Теорія і практика обґрунтування параметрів робочих органів бурякозбиральних машин [Текст] / Б.П. Шабельник. – Харків, 2001. – 314 с.

Отримано 28.01.2013