

Головач І.В.  
Дорогань О.П.  
Національний університет  
біоресурсів і природокористування  
України  
м. Київ, Україна  
E-mail:nubip1601@gmail.com

ЧИСЛОВИЙ РОЗРАХУНОК МАТЕМАТИЧНОЇ  
МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ  
ОЧИЩЕННЯ ГОЛОВОК КОРЕНЕПЛОДІВ  
ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ ВІД ЗАЛИШКІВ ГИЧКИ

УДК 631.356

*На основі розробленої математичної моделі процесу очищення головок коренеплодів цукрових буряків від залишків гички згідно складеної програми числових розрахунків в системі Mathcad були проведені числові розрахунки кінематичних та конструктивних параметрів еластичною очисної лопаті в залежності від конструктивних параметрів лопатевого очисника, фізико-механічних властивостей гички коренеплодів цукрових буряків та умови не вибивання з трунту коренеплодів буряка при їх очищенні на корені. За результатами цих розрахунків побудовані графічні залежності кутової швидкості  $\omega$  обертального руху еластичної очисної лопаті від зазначених параметрів очисника. До цих параметрів відноситься довжина лопаті  $2l$ , яка повинна бути не меншою ніж  $0,4$  м, швидкість  $V_0$  поступального руху, яку необхідно підтримувати в межах  $2,5 \dots 3,0$  м·с<sup>-1</sup>, радіус  $r$  барабана має бути –  $0,25$  м, маса  $m$  еластичної лопаті –  $0,4$  кг, сила  $Q$  зчісування –  $90 \dots 110$  Н.*

**Ключові слова:** буряки цукрові, гичка, очисник, лопать, сила, диференціальні рівняння, конструктивні параметри, числовий розрахунок.

**Актуальність проблеми.** Незважаючи на те, що сучасні технології збирання гички цукрових буряків досягли належного рівня, недоліки збирання гички наявні і досі. Маємо на увазі низьку якість обрізання головок коренеплодів, засміченість гички ґрунтовими домішками, досить великі її втрати тощо. Наявність залишків гички на головках коренеплодів цукрових буряків знижує якість цукроносною сировини, впливає на тривалість зберігання коренеплодів цукрових буряків на цукрових заводах в очікуванні переробки, що в кінцевому разі знижує якість отриманого продукту. Тому виникає необхідність в дослідженні процесу очищення головок коренеплодів цукрових буряків від залишків гички.

Оскільки найбільш поширеними в наш час є лопатеві очисники, то необхідно ретельно теоретично дослідити взаємодію гнучкої очисної лопаті з головкою коренеплоду цукрового буряка, яка дасть можливість шляхом числового моделювання обґрунтувати раціональні конструктивні і кінематичні параметри лопатевого очисника з метою підвищення якості очищення.

**Аналіз публікацій, присвячених даній проблемі.** Питання видалення залишків гички з головок коренеплодів цукрових буряків після її основного зрізу на корені розглянуто в роботах [1-5, 7] і ін. У них викладено результати теоретичних і експериментальних досліджень очисників головок коренеплодів буряків різних конструкцій. Однак найбільшого застосування у світі знайшли очисники головок коренеплодів лопатевого типу через простоту їх конструкцій і забезпечення необхідної якості роботи в порівняно сприятливих умовах (відсутність значної кількості черешків гички – коротких, зелених і сухих, полеглих, міцно зв'язаних з головками). Слід відмітити, що у більшості з зазначених вищеробіт при теоретичному обґрунтуванні їх конструктивних і кінематичних параметрів недостатньо точно й повно враховані створювані ними зусилля зчісування, розмірні характеристики коренеплодів, напрям і модуль робочої швидкості поступального руху очисника, також недостатньо у деяких працях обґрунтована маса еластичних лопатей (бичів) і ін.

Таким чином, дотепер не створені необхідні математичні моделі, що могли б бути покладені в основу розрахунків і проєктування будь-якого типу очисників головок коренеплодів буряків.

**Мета дослідження.** Підвищення ефективності і якості виконання технологічного процесу очищення головок коренеплодів цукрових буряків від залишків гички шляхом визначення раціональних параметрів лопатевого очисника на підставі числових розрахунків на ПК розробленої математичної моделі зазначеного технологічного процесу.

**Методичний підхід до проведення досліджень.** При проведенні досліджень використані основні положення вищої математики, теоретичної механіки, а також методи складання програм і проведення числових розрахунків на ПК та аналізу отриманих графічних залежностей.

**Результати дослідження.** На підставі розробленої нами математичної моделі технологічного процесу очищення головок коренеплодів цукрових буряків від залишків гички отримано аналітичний вираз для визначення кутової швидкості  $\omega$  обертання гнучкої очисної лопаті навколо своєї осі, який має наступний вигляд:

$$\omega = \frac{Q V_o t_1^2}{2 [I_c + m(r + l)^2] (\varphi_1 - \omega_1 t_1) - Q(r + 2l) t_1^2} + \omega_1 \quad (1)$$

де  $Q$  – сила зчісування залишків гички з головки коренеплоду;  $\omega_1$  – кутова швидкість лопаті відносно шарнірної точки підвісу до барабана після удару об поверхню головки коренеплоду;  $t_1$  – тривалість контакту лопаті головою коренеплоду;  $r$  – радіус барабана;  $m$  – маса лопаті;  $I_c$  – момент інерції лопаті відносно осі обертання, що проходить через центр мас лопаті, паралельно до осі обертання лопаті;  $2l$  – довжина лопаті;  $\varphi_1$  – кут повороту лопаті відносно точки підвісу до барабана за час контакту з головою коренеплоду;  $V_o$  – швидкість поступального руху очисника.

На підставі цієї аналітичної залежності можна обчислити і інші параметри еластичної очисної лопаті, наприклад її масу або довжину.

Для визначення конкретних параметрів технологічного процесу очищення головок коренеплодів цукрових буряків еластичною очисною лопаттю необхідно надалі провести числове моделювання на ПК отриманих теоретичних залежностей. Після складання програми числових розрахунків у системі Mathcad на ПК були проведені числові розрахунки кінематичних і конструктивних параметрів еластичної очисної лопаті залежно від конструктивних параметрів лопатевого очисника, фізико-механічних властивостей гички коренеплодів цукрових буряків і умов невививання з ґрунту коренеплодів при їхньому очищенні на корені.

Дані постійних величин, які були необхідні для проведення цих розрахунків, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення прийнятих постійних величин при числовому моделюванні на ПК

№ з/п	Найменування	Позначення й одиниця виміру	Значення
1.	Геометричні розміри черешка гички цукрового буряка:	$a$ , мм $a_o$ , мм $h$ , мм $h_o$ , мм	5 2 5 2
2.	Кількість залишків черешків гички на головці коренеплоду цукрового буряка	$n$ , шт.	5
3.	Допустимі дотичні напруження зсуву для черешка гички цукрового буряка	$[\tau]$ , Па	$0,94 \dots 1,14 \cdot 10^6$
4.	Допустима ударна сила вививання коренеплоду цукрового буряка з ґрунту	$[P]$ , Н	185...432

У результаті проведення числових розрахунків отримані графічні залежності кінематичних і конструктивних параметрів технологічного процесу видалення залишків гички з головок коренеплодів цукрових буряків еластичною очисною лопаттю, яка установлена на горизонтальному привідному валу. Дані представлені на рис. 1-7.

На рис. 1 наведено графік залежності кутової швидкості  $\omega$  обертання привідного горизонтального вала з установленою на ньому еластичною очисною лопаттю залежно від часу  $t_1$  удару.

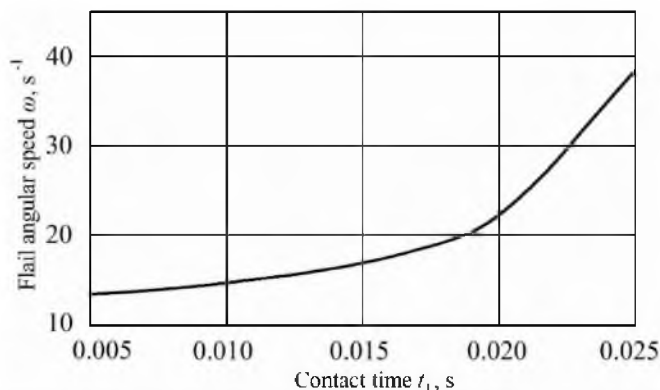


Рис. 1 – Залежність кутової швидкості  $\omega$  обертального руху від часу  $t_1$  ударного контакту еластичної лопаті з головкою коренеплоду буряка

Як видно із представленої графічної залежності при збільшенні часу  $t_1$  ударної взаємодії еластичної очисної лопаті з головкою коренеплоду цукрового буряка, зміна кутової швидкості  $\omega$  її обертального руху має вигляд, близький до експоненти. При цьому зміна часу  $t_1$  контакту від 0.005 до 0.018 с забезпечує найбільш постійне значення кутової швидкості  $\omega$  обертального руху, значенню якого й слід надавати перевагу, тобто кутова швидкість  $\omega$  може бути не більшою ніж 20 с<sup>-1</sup>.

Залежності зміни кутової швидкості  $\omega$  обертального руху від довжини  $2l$  лопаті і радіуса  $r$  її підвісу з урахуванням зміни її маси  $m$  представлені на рис. 2 та рис. 3.

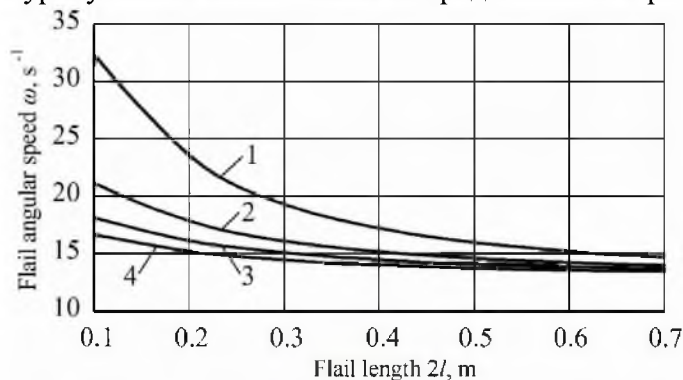


Рис. 2 – Залежність кутової швидкості  $\omega$  від довжини  $2l$  очисної лопаті при різних значеннях її маси:  
 1 –  $m = 0.25$  kg; 2 –  $m = 0.40$  kg; 3 –  $m = 0.55$  kg; 4 –  $m = 0.70$  kg

Представлені графіки свідчать про те, що кутова швидкість  $\omega$  обертального руху еластичної очисної лопаті має залежність від її довжини  $2l$  близьку до експоненціальної. При цьому видно, що в цьому випадку маса  $m$  очисної лопаті при мінімальному її значенні суттєво впливає на кутову швидкість  $\omega$ . При збільшенні маси  $m$  видно, що вона практично не впливає на цю залежність. Однак для поліпшення впливу довжини  $2l$  очисної лопаті на значення кутової швидкості  $\omega$  її обертального руху довжину очисної лопаті слід вибирати близькою до 0.3...0.4 м, що буде забезпечувати мінімальні значення куто-

вої швидкості  $\omega$ , при якій буде забезпечувана висока якість очищення головок коренеплодів цукрового буряка від залишків гички й не відбудеться вибивання тіл коренеплодів із ґрунту.

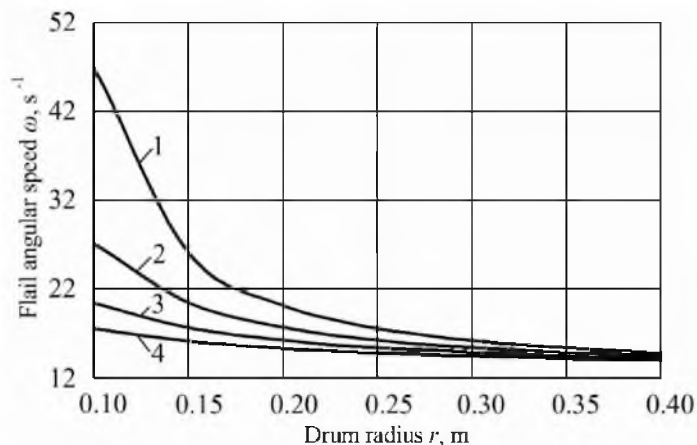


Рис. 3 – Залежність кутової швидкості  $\omega$  від радіуса  $r$  підвісу лопаті при різних значеннях довжини лопаті  $2l$ :  
 1 –  $2l = 0.1$  м; 2 –  $2l = 0.2$  м; 3 –  $2l = 0.3$  м; 4 –  $2l = 0.4$  м

Що стосується залежності кутової швидкості  $\omega$  від радіуса  $r$  підвісу лопаті, то збільшення значення даного конструктивного параметра очисника головок коренеплодів цукрового буряка від залишків гички на корені також буде забезпечувати мінімальні значення кутової швидкості  $\omega$  обертального руху у випадку використання саме цієї довжини  $2l$  ( $2l = 0.3 \dots 0.4$  м) еластичної очисної лопаті. Таким чином, горизонтальний привідний барабан очисника головок коренеплодів цукрового буряка від залишків гички повинен мати радіус  $r$ , не менший  $0.25 \dots 0.3$  м для раціональних значень довжини лопаті  $2l$ .

Залежність кутової швидкості  $\omega$  обертального руху очисної лопаті від швидкості  $V_0$  поступального руху очисника, з урахуванням довжини самої лопаті  $2l$ , представлена на рис. 4, фактично має лінійний характер.

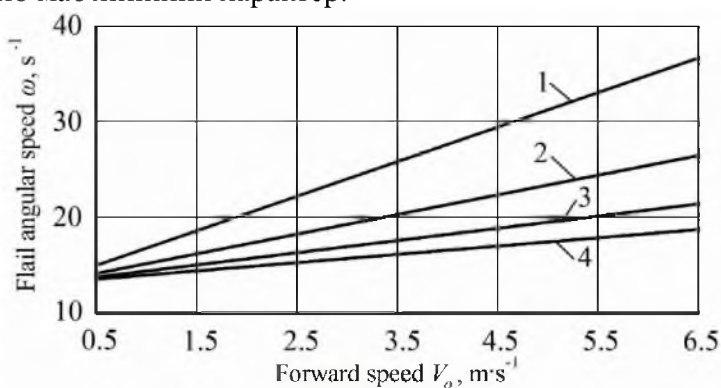


Рис. 4 – Залежність кутової швидкості  $\omega$  від швидкості  $V_0$  поступального руху при різних значеннях довжини лопаті  $2l$ :  
 1 –  $2l = 0.1$  м; 2 –  $2l = 0.2$  м; 3 –  $2l = 0.3$  м; 4 –  $2l = 0.4$  м

При цьому графіки, представлені на даному рисунку, показують, що явно прослідковується вплив довжини  $2l$  лопаті на розглянуту залежність. Так, при збільшенні довжини  $2l$  лопаті значення кутової швидкості  $\omega$  значно знижуються. Однак найбільш раціональною, як видно з графіків, є швидкість  $V_0$  поступального руху очисника, яка не перевищує  $2.5 \dots 4.5$  м·с<sup>-1</sup>. При цьому довжина  $2l$  очисної лопаті також повинна бути не меншою  $0.3 \dots 0.4$  м.

Вплив сили зчісування  $Q$  на кутову швидкість  $\omega$ , як свідчать отримані графіки (рис. 5), також має вигляд, близький до лінійної залежності. При цьому зростання сили  $Q$  зчісування вимагає адекватного збільшення кутової швидкості  $\omega$  обертального руху очисної лопаті. У випадку використання радіусів  $r$  підвісу лопаті мінімальних розмірів

(0.1...0.25 м) зростання кутової швидкості  $\omega$  при збільшенні сили зчісування  $Q$  більш інтенсивні, ніж у випадку, коли величина радіуса  $r$  вибирається близькою до 0.2...0.25 м. Однак, у широкому діапазоні зміни сили зчісування  $Q$ , перевагу слід віддати кутовій швидкості  $\omega$ , що дорівнює  $32.0 \text{ s}^{-1}$ , а радіус  $r$  при цьому повинен бути не більшим, ніж 0.15...0.25 м.

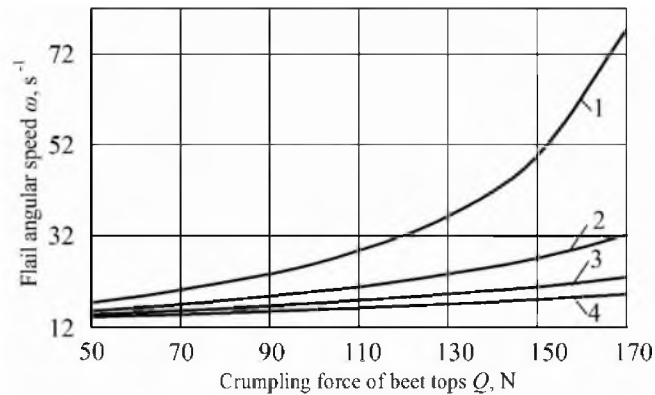


Рис. 5 – Залежність кутової швидкості  $\omega$  від сили зчісування  $Q$  при різних значеннях радіуса  $r$ :  
1 –  $r = 0.1 \text{ m}$ ; 2 –  $r = 0.15 \text{ m}$ ; 3 –  $r = 0.2 \text{ m}$ ; 4 –  $r = 0.25 \text{ m}$

Залежність кутової швидкості  $\omega$  обертального руху очисної лопаті від маси  $m$  самої лопаті представлена на рис. 6.

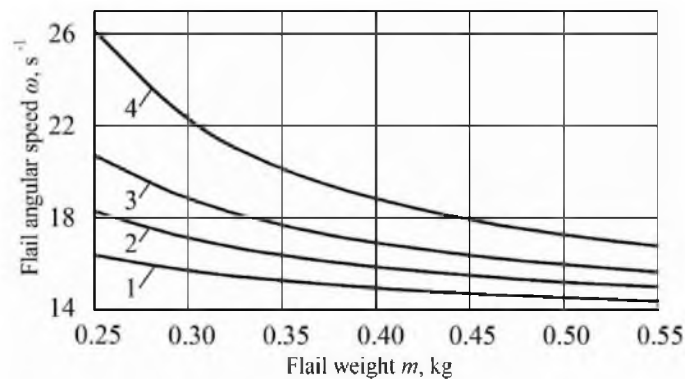


Рис. 6 – Залежність кутової швидкості  $\omega$  від маси  $m$  лопаті при різних значеннях сили  $Q$  зчісування:  
1 –  $Q = 50 \text{ N}$ ; 2 –  $Q = 70 \text{ N}$ ; 3 –  $Q = 90 \text{ N}$ ; 4 –  $Q = 120 \text{ N}$

Як видно із наведених графіків, маса  $m$  еластичної очисної лопаті повинна бути не меншою, ніж 0.3...0.35 кг, яка забезпечить високу якість очищення головок коренеплодів цукрового буряка від залишків гички на корені при середньому значенні сили  $Q$  зчісування. При цьому також не відбудеться вибивання коренеплодів цукрового буряка із ґрунту.

Залежність кутової швидкості  $\omega$  обертального руху лопаті від довжини  $2l$  самої лопаті для різної форми поперечного перерізу еластичної очисної лопаті представлена на рис. 7.

Як видно із представлених графіків, форма поперечного перерізу еластичної очисної лопаті впливає на кутову швидкість  $\omega$  обертального руху самої лопаті тільки при малих значеннях її довжини  $2l$ . У випадку ж використання довжини  $2l$  очисної лопаті, визначеної раніше як раціональної, тобто більшої ніж 0.15...0.3 м, форма поперечного перерізу лопаті має на зазначені параметри, що забезпечують високу якість очищення головок коренеплодів цукрового буряка від залишків гички на корені, мінімальний вплив. Тому при використанні довжини  $2l$  еластичної очисної лопаті, більшої, ніж 0,3 м, форма її поперечного перерізу може не враховуватися, оскільки у цьому випадку є несуттєвим параметром.

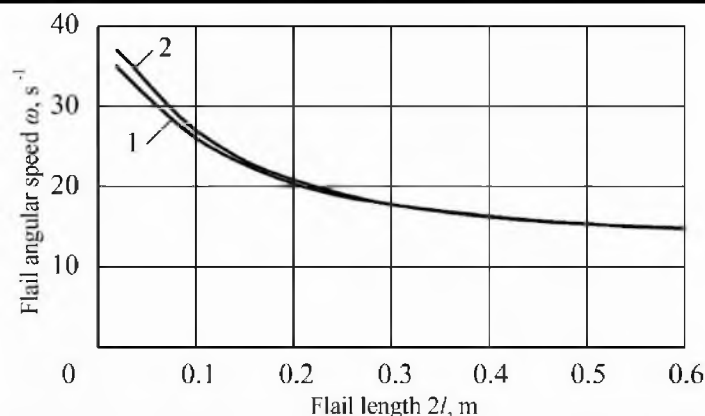


Рис. 7 – Залежність кутової швидкості  $\omega$  від довжини  $2l$  лопаті при різних формах поперечного перерізу лопаті:  
1 – прямокутна; 2 – кругла

Таким чином, на підставі проведеного чисельного моделювання на ПК встановлено, що раціональними кінематичними й конструктивними параметрами очисника головок коренеплодів цукрового буряка від залишків гички на корені еластичною очисною лопаттю, встановленою на привідному горизонтальному валу, з врахуванням не вибивання із ґрунту коренеплодів слід вважати: довжину  $2l$  еластичної очисної лопаті, не меншою 0.3 м, радіус  $r$  барабана, на якому встановлена лопать, не меншим 0.25 м, швидкість  $V_0$  поступального руху очисника не меншою 2.5...3.0 м·с<sup>-1</sup>. При цьому маса  $m$  еластичної очисної лопаті повинна бути не меншою, 0.3...0.35 кг. Для зазначених раціональних параметрів очисника головок коренеплодів цукрового буряка на корені еластичною очисною лопаттю, встановленою на горизонтальному привідному валу, форма поперечного перерізу самої лопаті (прямокутна або кругла) не має істотного впливу.

#### Висновки.

1. Як показали числові розрахунки розробленої математичної моделі процесу очищення головок коренеплодів цукрових буряків від залишків гички кутова швидкість обертання гнучкої очисної лопаті (привідного горизонтального вала) може бути не більшою, ніж 20 с<sup>-1</sup>, а швидкість поступального руху очисника повинна бути не меншою 2.5...3.0 м с<sup>-1</sup>.

2. Раціональними конструктивними параметрами очисника головок коренеплодів цукрового буряка на корені, які забезпечують високі показники якості очищення головок коренеплодів від залишків гички і не вибивання коренеплодів з ґрунту будуть: довжина  $2l$  еластичної очисної лопаті повинна бути не меншою 0.4 м; радіус  $r$  барабана, на якому встановлена лопать, повинен бути також не меншим 0.3 м; маса  $m$  еластичної очисної лопаті повинна бути не меншою 0.3 кг. При цьому форма поперечного перерізу еластичної очисної лопаті (прямокутна або кругла) не має істотного впливу на дані раціональні параметри очисника головок коренеплодів цукрового буряка на корені.

#### Література:

1. Погорілий Л.В., Татянюк Н.В., Брей В.В. та інші. Бурякозбиральні машини. – Київ: Техніка, 1983. – 168 с.
2. Хелемендик М.М. Підвищення механіко-технологічної ефективності трудомістких процесів в буряківництві: Автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. – Тернопіль: ТПІ, 1996. – 48 с.
3. Погорілий Л.В. Дослідження і розробка технологічного процесу відділення гички від коренеплодів цукрових буряків: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Київ: УСГА, 1964. – 24 с.

4. Мішин М.А. Дослідження та обґрунтування параметрів робочих органів для доочищення головок коренеплодів цукрових буряків від залишків гички: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Москва: ВИСХОМ, 1981. – 23 с.
5. Мартиненко В.Я. Розробка конструкції і визначення експлуатаційних параметрів очисників головок коренеплодів: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Тернопіль: ТПСІ, 1992. – 25 с.
6. Бутенін Н.В., Лунц Я.Л., Меркии Д.Р. Курс теоретичної механіки. – Том 2. – Москва: Наука, 1985. – 496 с.
7. Булгаков В.М. Бурякозбиральні машини. Монографія. – Київ: Аграрна наука, 2011. – 351 с.

### Summary

**Golovach I.V., Dorogan O.P.** Numerical calculation of the mathematical model of the technological process of cleaning the sugar beet root crops heads from the remains of the gill

*On the basis of the developed mathematical model of the process of cleansing sugar beet root crops heads from the remains of the hive according to the composite numerical calculations program in the Mathcad system, numerical calculations of the kinematic and structural parameters of the elastic cleansing blade were performed, depending on the structural parameters of the blade cleaner, the physical and mechanical properties of the sugar beet root crop joint and conditions of not knocking out root beet root soil at their cleansing at the root. According to the results of these calculations, the graphic dependences of the angular velocity  $\omega$  of the rotary motion of the elastic cleaning blade on the specified parameters of the cleaner are constructed. These parameters include the length of the blade  $2l$ , which must be not less than 0.4 m, the velocity  $V_0$  of the translational motion, which must be maintained within 2.5 ... 3.0 m / s<sup>-1</sup>, the radius  $r$  of the drum must be 0,25 m, mass  $m$  of elastic shovel – 0.4 kg, power of combing  $Q$  – 90 ... 110 N*

**Keywords:** sugar beet, hitch, purifier, blade, force, differential equations, constructive parameters, numerical calculation.

### References

1. Pogorilij L.V., Tatyanko N.V., Brej V.V. та insh. Buryakozbiralni mashini. – Kiyiv: Tehnika, 1983. – 168 s.
2. Helemendik M.M. Pidvishennya mehaniko-tehnologichnoyi efektyvnosti trudomistkikh procesiv v buryakivnictvi: Avtoref. dis. ... d-ra. tehn. nauk. – Ternopil: TPI, 1996. – 48 s.
3. Pogorilij L.V. Doslidzhennya i rozrobka tehnologichnogo procesu viddilennya gichki vid koreneplodiv cukrovih buryakiv: Avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. – Kiyiv: USGA, 1964. – 24 s.
4. Mishin M.A. Doslidzhennya ta obgruntuvannya parametriv robochih organiv dlya doochishennya golovok koreneplodiv cukrovih buryakiv vid zalishkiv gichki: Avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. - Moskva: VISHOM, 1981. – 23 s.
5. Martinenko V.Ya. Rozrobka konstrukciyi i viznachennya ekspluatacijnih parametriv ochisnikov golovok koreneplodiv: Avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. – Ternopil: TPSI, 1992. – 25 s.
6. Butenin N.V., Lunc Ya.L., Merkin D.R. Kurs teoretichnoyi mehaniki. – Tom 2. – Moskva: Nauka, 1985. – 496 s.
7. Bulgakov V.M. Buryakozbiralni mashini. Monografiya. – Kiyiv: Agrarna nauka, 2011. – 351 s.