

УДК 631.356.2

Герасимчук Г.*(Луцький національний технічний університет)***Барановський В.****Паньків М.***(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)***Кравченко І.***(Вінницький національний аграрний університет)*

ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОГО ОДНОДИСКОВОГО КОПАЧА КОРЕНЕПЛОДІВ

Изложены результаты теоретического анализа технологического процесса выкапывания кормовой свеклы комбинированным однодисковым копачем, обоснованы основные конструктивно-кинематические параметры рабочего органа при условии обеспечения полноты выкапывания корнеплодов и допустимой угловой скорости вращения очистительного вала.

The results of theoretical analysis of technological process of excavation of feed beet combined onedisk dig are expounded, the basic structurally-kinematics parameters of working organ are reasonable on condition of providing of plenitude of excavation of root crops and possible angular of rotation of cleansing billow.

Вступ

Кормові буряки як важлива культура є цінною складовою для відгодівлі молочного поголів'я рогатої худоби. На даний час в агропромисловому комплексі країни спостерігається зниження посівних площ кормових буряків внаслідок недосконалості коренезбиральних машин (КМ) та невідповідності показників якості їх роботи агротехнічним вимогам [1, 2].

Одним із резервів підвищення технологічних показників якості роботи КМ є удосконалення технологічного процесу викопування вороху коренеплодів шляхом застосування комбінованих робочих органів, які поєднують у собі систему пасивного однодискового сферичного копача та встановлених спеціальних очисних елементів. Інтенсифікація процесу викопування кормових буряків відбувається за рахунок специфіки кінематичних і динамічних факторів, що виникають внаслідок одночасної взаємодії очисних елементів з головою коренеплоду і ворохом коренеплодів [3].

Аналіз відомих досліджень

Теоретичний аналіз секундної подачі складових компонентів вороху при викопуванні коренеплодів комбінованим копачем було розглянуто та проаналізовано у працях [4, 5]. У праці [6] наведено результати процесу взаємодії очисної лопати з головою коренеплодів на основі дослідження умови невибивання та непошкодження кормових буряків. Відсутність подальших положень технологічної ефективності використання комбінованого однодискового копача з умови забезпечення повноти викопування коренеплодів і допустимої кутової швидкості обертання очисного вала зумовило проведення даних досліджень.

Мета досліджень

Метою досліджень є подальше удосконалення методів оптимізації конструктивно-кінематичних і технологічних параметрів процесу функціонування адаптованих КМ.

Результати досліджень

Основними конструктивно-кінематичними параметрами викопуючого пристрою (рис. 1), які регламентують технологічний процес викопування кормових буряків із одночасним видаленням залишків гички з головок коренеплодів 1 є поступальна швидкість руху V_k

копача 2, кутова швидкість обертання ω_o горизонтального вала 5 з очисними лопатями 9, кут β встановлення осей 8 очисних лопатей 9 відносно осі O_o очисного вала 5, діаметр D_o очисного вала 5 (довжина l очисних елементів 9) і координати (H_o, b_o) розміщення осі O_o очисного вала 5 відносно положення осі O (позиція 3) вільного обертання диска 2 діаметром D , який встановлений під кутом α відносно осі рядка коренеплодів 1 кормових буряків з глибиною ходу h .

Поступальна швидкість руху V_k копача регламентована вихідними вимогами до КМ та технічним завданням на проектування робочих органів та КМ в цілому. Сучасні вимоги передбачають швидкість руху КМ для збирання кормових буряків у межах 1,5...1,8 м/с.

Для усунення втрат коренеплодів, тобто забезпечення повноти викопування кормових буряків, необхідно виконання умови, рис. 1

$$b_e \geq 2\Delta s_{max} + 2\Delta z_{max} + 2r_k, \quad (1)$$

де Δs_{max} - максимальне поперечне відхилення копача під час його руху відносно осі рядка, м; Δz_{max} - максимальне поперечне відхилення центра коренеплоду відносно осі рядка, м; r_k - усереднений радіус головки кормових буряків, м.

Згідно [7] та враховуючи (1) можна записати

$$b_c = 2\sqrt{2hR - h^2}; b_e = b_c \sin \alpha; 2 \sin \alpha \sqrt{h(D - h)} \geq 2\Delta s_{max} + 2\Delta z_{max} + 2r_k, \quad (2)$$

або

$$\alpha \geq \arcsin \frac{2(\Delta s_{max} + \Delta z_{max}) + d_k}{2\sqrt{h(D - h)}}. \quad (3)$$

Залежність (3) характеризує умови зміни кута встановлення сферичного викопуючого диска α відносно поздовжньої осі розташування кормових буряків залежно від основних параметрів диска та діаметра головок коренеплодів з умови забезпечення їх повноти викопування або усунення втрат.

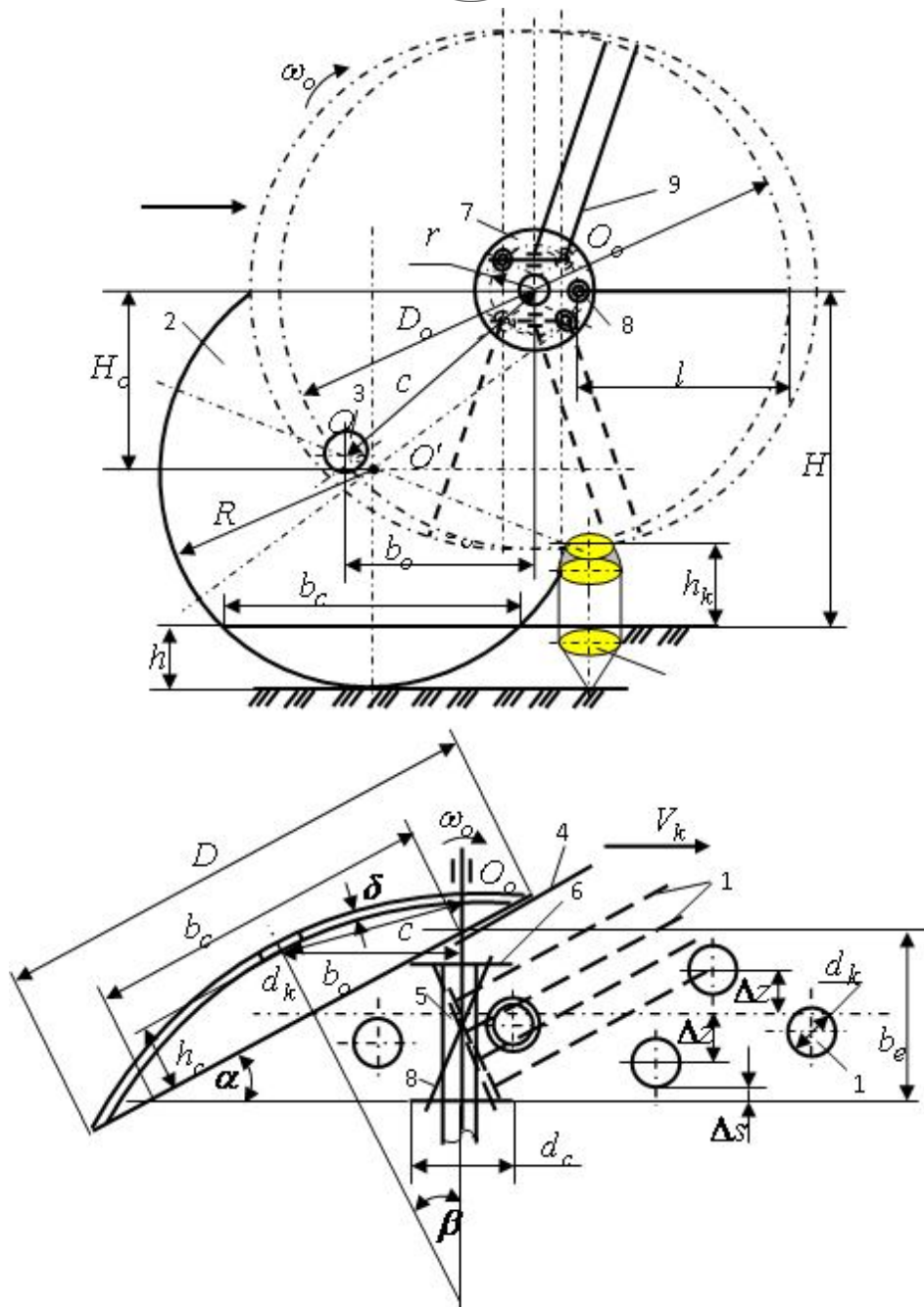
На рис. 2 наведено графічні відтворення зміни кута α , побудовані згідно залежності (3) при $\Delta s_{max} = 3$ см, $\Delta z_{max} = 5$ см, які можуть бути використані в якості номограми для визначення основних параметрів диска, залежно від розмірних характеристик коренеплодів.

Використовують номограму наступним чином.

Для домінуючих на даному полі інтервально-середнього діаметра коренеплодів, наприклад $d_k = 12...15$ см (рис. 2, а) та вибраних стандартних діаметрів односторонніх сферичних дисків, наприклад $D = 40$ і 45 см, визначаємо межі зміни кута α встановлення диска відносно поздовжньої осі розташування кормових буряків, який задовольняє умову залежності (3): при діаметрі диска $D = 40$ см $0,61 \leq \alpha \leq 0,7$ рад., або $34^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$, а при діаметрі $D = 45$ см $0,57 \leq \alpha \leq 0,66$ рад., або $32^\circ \leq \alpha \leq 37^\circ$.

Тоді при визначених межах зміни кута встановлення диска $0,61 \leq \alpha \leq 0,7$ рад. і $0,57 \leq \alpha \leq 0,66$ рад. відносно поздовжньої осі розташування коренеплодів, для діаметра $d_k = 12...15$ см (рис. 2, б) знаходимо глибину ходу диска h , яка задовольняє умову (3) та становить $h \geq 7,8$ та $h \geq 8,6$ см.

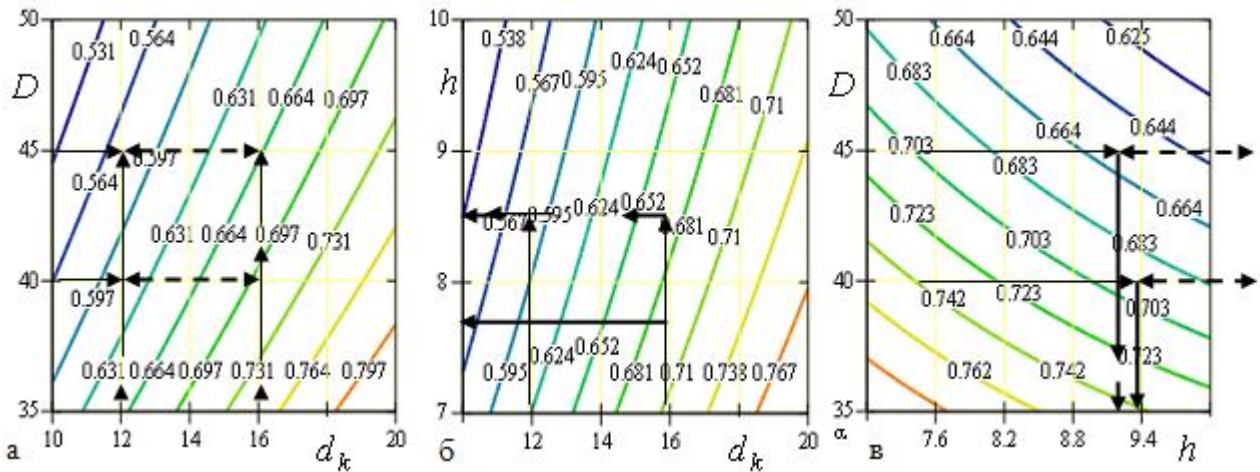
Крім того, для діаметра сферичного диска $D = 45$ см і умови $\alpha \leq 0,66$ рад. (рис. 2, в) глибина ходу диска $h \geq 8,6$ см, а для діаметра $D = 40$ см і умови $\alpha \leq 0,7$ рад. – $h \geq 9,0$ см.



1 – коренеплід; 2 – односторонній сферичний диск; 3 – вісь обертання диска;
4 – корененаправляч; 5 – горизонтальний приводний вал; 6 – фланець; 7 – барабан; 8 – вісь;
9 – очисна лопать; 10 – бітер

Рис. 1. - Схема до обґрунтування параметрів комбінованого однодискового сферичного копача кормових буряків

Приймаючи до уваги технологічні міркування, що раціональна (технологічна) ефективність роботи очисного вала забезпечується при умові, коли площина обертання лопаті, або площина контакту (удару) лопаті по головці коренеплоду знаходиться під прямим (або близьким до нього) кутом відносно площини, яка проходить через зовнішню ріжучу крайку сферичного диска, можна записати, що кут β , який характеризує конструктивне встановлення осей, на яких розміщені очисні лопаті відносно осі очисного вала, буде дорівнювати куту атаки α диска або близьким до нього, тобто $\beta \cong \alpha$.



$$a - \alpha \geq f(d_k, D); \quad b - \alpha \geq f(d_k, h); \quad v - \alpha \geq f(h, D)$$

Рис. 1. - Залежності зміни кута α (рад.) встановлення викопуючого диска:

Виходячи з конструктивних (технологічних) міркувань та рис. 1 можна записати, що відстань $OO_o = c \cong \sqrt{h_c^2 + R^2} + \Delta k \cos \alpha + 0,5d_n \cos \alpha$, де h_c - глибина сферичного диска, м; Δk - технологічний зазор між зовнішнім торцем ріжучої крайки сферичного диска та зовнішньою поверхнею очисного вала, м; $0,5d_n$ - діаметр очисного вала, м, який вибирається шляхом розрахунку умови міцності його роботи.

Тоді, горизонтальна координата розміщення центра O_o очисного вала визначається за формулою:

$$b_o \cong c \cos \alpha \cong \left[\sqrt{h_c^2 + 0,25D^2} + (\Delta k + 0,5d_n) \cos \alpha \right] \cos \alpha. \quad (4)$$

Відстань H та H_o , які визначають вертикальну координату розміщення центра O_o очисного вала, визначається за формулою:

$$H = r + l + h_k; \quad H_o = [R_o + (\Delta k' + r_n) \sin \alpha] \sin \alpha, \quad (5)$$

Оптимізацію динамічних параметрів очисного вала комбінованого однодискового сферичного копача проведемо наступним чином.

Знаючи, що $\frac{d\omega_o}{dt} = \varepsilon_o = \frac{a_o}{\rho} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{dV_k}{dt} \right)$, де ε_o - кутове прискорення, $1/c^2$, запишемо залежності (22-25), які опубліковані у праці [6] в наступному вигляді:

$$\frac{m\omega_o(a^2 + l^2)}{3V_k \rho \sin \beta \cos \varphi} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + \frac{m\rho\omega_o \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi}{V_k} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + m \operatorname{ctg} \beta \cos \beta \left(\frac{dV_k}{dt} \right) - [P_n] \leq 0; \quad (6)$$

$$\frac{m\omega_o \left(\frac{l^2}{3} + R_n^2 \right)}{4V_k \rho \sin \beta \cos \varphi} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + \frac{m\rho\omega_o \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi}{V_k} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + m \operatorname{ctg} \beta \cos \beta \left(\frac{dV_k}{dt} \right) - [P_n] \leq 0; \quad (7)$$

$$\frac{m\omega_o(a^2 + l^2)}{3S_k V_k \rho \sin \beta \cos \varphi} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + \frac{m\rho\omega_o \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi}{S_k V_k} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + \frac{m \operatorname{ctg} \beta \cos \beta}{S_k} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) - [\sigma_{cm}] \leq 0; \quad (8)$$

$$\frac{m\omega_o \left(\frac{l^2}{3} + R_n^2 \right)}{4S_k V_k \rho \sin \beta \cos \varphi} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + \frac{m\rho\omega_o \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi}{S_k V_k} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) + \frac{m \operatorname{ctg} \beta \cos \beta}{S_k} \left(\frac{dV_k}{dt} \right) - [\sigma_{cm}] \leq 0. \quad (9)$$

Відповідно, критична кутова швидкість обертання лопаті ω_o^{kp} горизонтального очисного вала, при якій забезпечується раціональна робота комбінованого односферичного копача кормових буряків визначається за формулою:

- для умови невивалювання коренеплодів лопатями очисного вала, які виконані, відповідно, у формі прямокутного паралелепіпеда та прямого круглого циліндра:

$$\omega_{o.n}^{kp} \leq V_k \frac{\left([P_n] / m \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \right) - \operatorname{ctg} \beta \cos \beta}{\left[\frac{(a^2 + l^2)}{3\rho \sin \beta \cos \varphi} + \rho \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi \right]}; \quad (10)$$

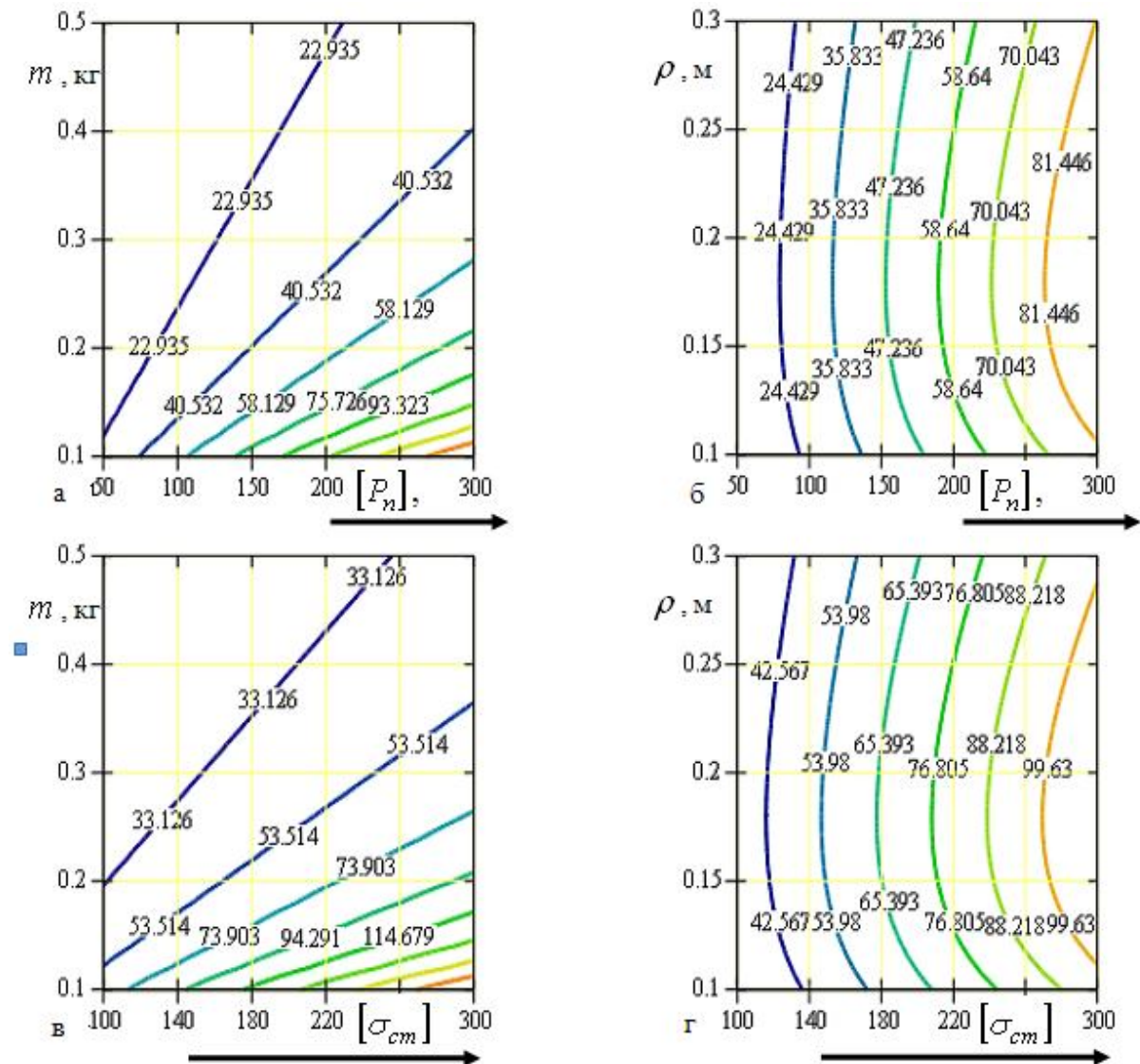
$$\omega_{o.k}^{kp} \leq V_k \frac{\left([P_n] / m \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \right) - \operatorname{ctg} \beta \cos \beta}{\left[\frac{(l^2 / 3 + R_n^2)}{4\rho \sin \beta \cos \varphi} + \rho \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi \right]}; \quad (11)$$

- для умови непошкодження тіла коренеплодів лопатями очисного вала, які виконані, відповідно, у формі прямокутного паралелепіпеда та прямого круглого циліндра:

$$\omega_{o.n}^{kp} \leq V_k \frac{\left((S_k [\sigma_{cm}]) / m \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \right) - \operatorname{ctg} \beta \cos \beta}{\left[\frac{(a^2 + l^2)}{3\rho \sin \beta \cos \varphi} + \rho \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi \right]}; \quad (12)$$

$$\omega_{o.k}^{kp} \leq V_k \frac{\left((S_k [\sigma_{cm}]) / m \left(\frac{dV_k}{dt} \right) \right) - \operatorname{ctg} \beta \cos \beta}{\left[\frac{(l^2 / 3 + R_n^2)}{4\rho \sin \beta \cos \varphi} + \rho \operatorname{ctg} \beta \cos \varphi \right]}. \quad (13)$$

Згідно залежностей (10) і (12) побудовано графічні відтворення зміни критичної кутової швидкості обертання лопаті, виконаної у формі прямокутного паралелепіпеда $\omega_{o.n}^{kp} = f([P_n], m)$, (рис. 3, а), $\omega_{o.n}^{kp} = f([P_n], \rho)$, (рис. 3, б) та $\omega_{o.n}^{kp} = f([\sigma_{cm}], m)$, (рис. 3, в), $\omega_{o.n}^{kp} = f([\sigma_{cm}], \rho)$, (рис. 3, г).



$$\begin{aligned}
 a - \omega_{o.n}^{kp} &= f([P_n], m); & б - \omega_{o.n}^{kp} &= f([P_n], \rho); \\
 в - \omega_{o.n}^{kp} &= f([\sigma_{cm}], m); & г - \omega_{o.n}^{kp} &= f([\sigma_{cm}], \rho)
 \end{aligned}$$

Рис. 3. - Залежності зміни критичної кутової швидкості обертання лопаті приводного вала копача

За даними одержаних результатів експериментальних досліджень [8, 9] сила вивалювання коренеплодів з ґрунту, залежно від висоти розташування коренеплодів над поверхнею ґрунту h_k , діаметра коренеплоду d_k і глибини його залягання у ґрунті h , знаходиться у межах $[P_n] = 0,15 \dots 0,4$ кН, а допустимі напруження стиснення становлять $[\sigma_{cm}] = 140 \dots 300$ Н/м².

Тоді значення критичної кутової швидкості обертання лопаті, при роботі якої виконується умова невибивання коренеплодів з ґрунту при поступальній швидкості руху копача $V_k = 1,5$ м/с, залежно від зміни маси лопаті $m = 0,1 \dots 0,5$ кг, буде знаходитися у межах $\omega_{o.n}^{kp} = 23 \dots 100$ рад/с при значенні радіуса описаного кола контакту лопаті з голівкою коренеплоду $\rho = 0,3$ м; залежно від зміни $\rho = 0,1 \dots 0,3$ м при $m = 0,25$ кг –

$\omega_{o.n}^{kp} = 69 \dots 82$ рад/с (рис. 3, а, б), а, відповідно, умова непошкодження тіла коренеплодів – при критичних значеннях кутової швидкості $\omega_{o.n}^{kp} = 33 \dots 115$ рад/с та $\omega_{o.n}^{kp} = 54 \dots 100$ рад/с (рис. 3, в, г).

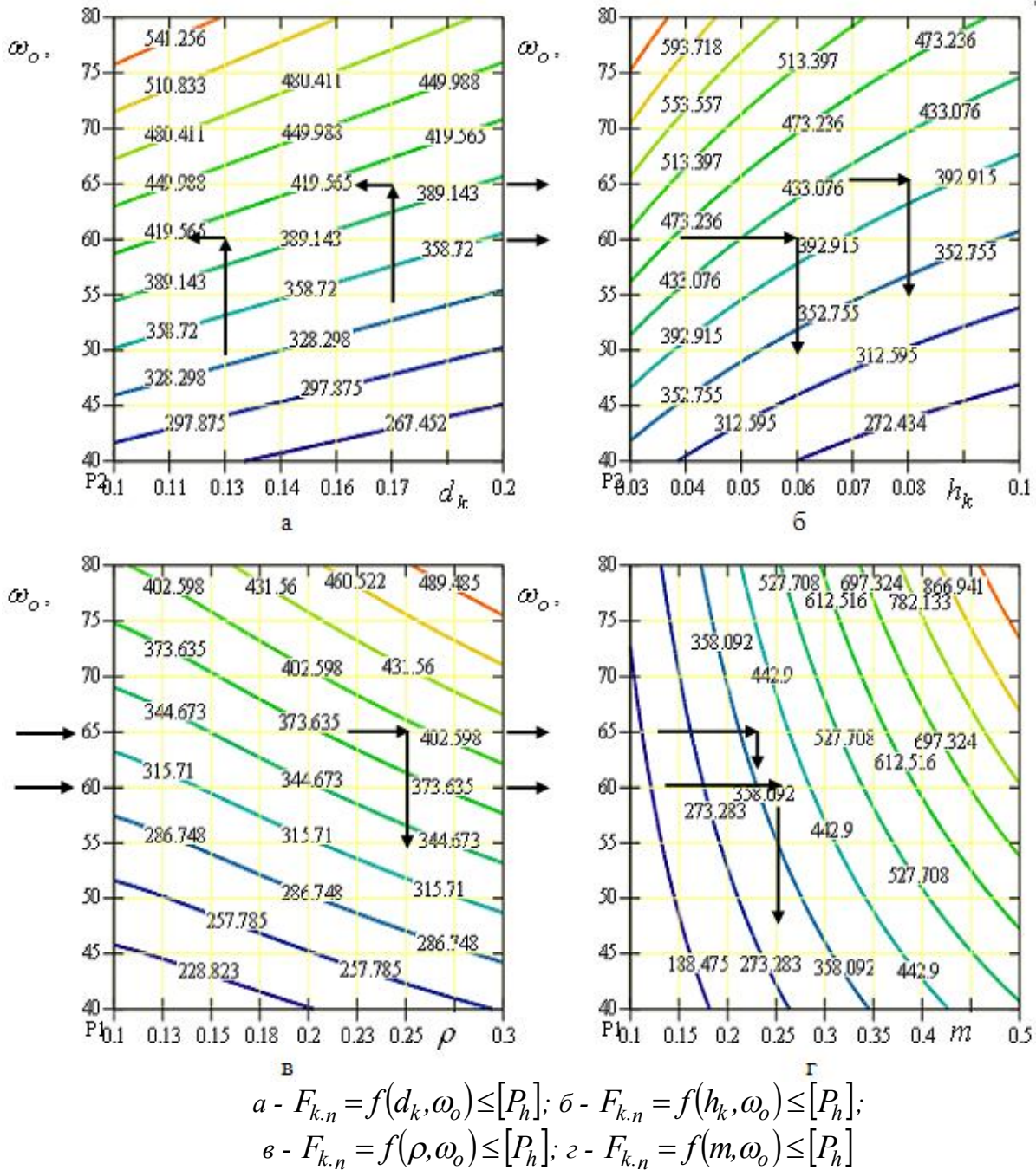


Рис.4. - Залежності зміни сили вивалювання коренеплодів

Враховуючи особливості агротехнічних характеристик кормових буряків, більш за все таких, як діаметр головки коренеплодів $d_k = 0,1 \dots 0,25$ м, висоти розташування коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту $h_k = 0,05 \dots 0,15$ м [1, 8], оптимізацію конструктивно-кінематичних параметрів очисного вала з урахуванням указаних особливостей розмірно-масових характеристик кормових буряків проведемо згідно побудованих графічних відтворень залежності зміни сили вивалювання коренеплодів, як



функції $F_{k.n} = f(d_k, \omega_o) \leq [P_h]$ (рис. 4, а), $F_{k.n} = f(h_k, \omega_o) \leq [P_h]$ (рис. 4, б), $F_{k.n} = f(\rho, \omega_o) \leq [P_h]$ (рис. 4, в) і $F_{k.n} = f(m, \omega_o) \leq [P_h]$ (рис. 4, г) у такій послідовності.

Спершу визначимо допустиму критичну швидкість обертання лопаті для встановлених інтервально-середніх діаметрів коренеплодів, які превалюють на даному полі. Наприклад, для $d_k = 0,13 \dots 0,17$ м та умови $150 \leq [P_n] \leq 400$ Н, ω_o буде знаходитися у діапазоні $\omega_{o.n}^{kp} \leq 60 \dots 65$ рад/с (рис. 4, а), при цьому висота розташування головок коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту повинна бути $0,06 \dots 0,08$ м (рис. 4, б), радіус описаного кола очисної лопаті $\rho \leq 0,25$ м (рис. 4, в), а її маса $0,22 \leq m \leq 0,25$ кг (рис. 4, г).

Висновки

Таким чином, у результаті проведеного теоретичного аналізу технологічного процесу роботи комбінованого однодискового сферичного копача кормових буряків були встановлені такі значення його основних конструктивно-кінематичних параметрів: діаметр диска – $D = 0,45$ м; кутова швидкість обертання лопаті – $\omega_o = 60 \dots 65$ рад/с; кут атаки диска – $\alpha = 32-37^\circ$; кут встановлення осей барабана – $\beta \cong 30^\circ$; маса очисної лопаті – $m = 0,22 \dots 0,25$ кг; кількість осей на барабані – $z_o = 4$ шт. Наведені значення параметрів будуть прийняті у якості основних при проведенні експериментальних досліджень.

Література

1. Фомічов А.М. Кормові коренеплоди / Фомічов А.М. – К. : Урожай, 1987. – 248 с.
2. Герасимчук Г.А. Критерії оцінки технологічної ефективності процесу викопування коренеплодів / Г.А. Герасимчук, В.М. Барановський // Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – Львів : ЛНАУ, 2009. – № 14. – С. 163–168.
3. Пат. 19526 Україна, МКІІ⁷ А 01 Д 25/04. Пристрій для викопування коренеплодів / Барановський В.М., Паньків М.Р., Герасимчук Г.А., Маранда С.А.; заявник і власник Національний аграрний університет. – № и 2006 07381; заявл. 03.07.2006.; опубл. 15.12.2006. Бюл. № 12.
4. Барановський В.М. Математична модель технологічного процесу викопування коренеплодів / В.М. Барановський // Науковий журнал. Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2007. – Том 12, № 3. – С. 59-69.
5. Барановський В.М. Результати теоретично-експериментальних досліджень секундної подачі вороху коренеплодів / В.М. Барановський // Вісник ХНТУСГ “Механізація сільськогосподарського виробництва”. – Харків, 2008. – Том 1. – Вип. 75. – С. 111-120.
6. Барановський В. Аналіз технологічного процесу видалення залишків гички комбінованим викопуючим робочим органом / Віктор Барановський, Микола Підгурський, Галина Герасимчук // Науковий журнал. Вісник ТДТУ. – Т. 13, № 4. – Тернопіль : ТДТУ, 2010. – С. 72-78.
7. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М. : Наука, 1981. – 706 с.
8. Погорілий Л.В. Агробіологічні і фізико-механічні властивості кормових буряків як основа для розробки механізованого процесу збирання / Л.В. Погорілий, М.С. Волянський, А.М. Фомічов // Вісник сільськогосподарської науки. – 1988. – № 1. – С. 64-69.
9. Булгаков В.М. Теория свеклоуборочных машин : Монография / В.М. Булгаков, М.И. Черновол, Н.А. Свирень. – Кировоград : “КОД”, 2009. – 256 с.