ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОСІВНИХ ПОВЕРХОНЬ ВИКОПУВАЛЬНИХ ДИСКІВ

Гевко Р.Б.,к.т.н., (ВАТ «Тернопільський комбайновий завод»)

Одним з найбільш універсальних робочих органів для викопування цукрових буряків є дискові копачі. Робочі диски конструктивно виконані із просівними вікнами для сепарації грунту. Із умови забезпечення відповідного рівня таких якісних їх показників, як матеріаломісткість та сепараційна здатність, активна площа вікон повинна бути максимальною. Одночасно через вікна не повинні втрачатись кондиційні коренеплоди, діаметром більше 40 мм. Із врахуванням налипання грунту на коренеплід, його форми та розташування при викопуванні, згідно даних експериментальних досліджень та випробувань [1], вказана умова задовільняється тоді, коли найбільший діаметр вписаного у вікно кола складає 50...60 мм. Із умови незабивання вікон грунтом із рослинними залишками мінімальний радіус заокруглення кутів, в залежності від вологості, повинен перевищувати 10...20 мм.

На серійних бурякозбиральних комплексах для зменшення площі вікон в компоновці із диском використовується променева шайба, що знижує технологічність виконуючого пристрою, підвищує його собівартість. Значний економічний ефект досягається завдяки запропонованому технічному рішенню, що полягає у формуванні профільних вікон V-, Т- та Г-подібної форми [2], (рис.1), безпосередньо при виготовленні дисків.

За результатами проведених лабораторно-польових випробувань встановлено, що диск з Г-подібною формою вікон характеризується більшою ступінню сепарації землі на стадії викопування в порівнянні з V-подібною, оскільки основна частина грунту виділяється з робочої зони копача по його периферії. Крім цього, у випадку направлення виступів по напрямку обертання диску, на нього намотуються рослинні залишки, що приводить до забивання просівної поверхні. Тому найбільш раціональною є конфігурація розміщення елементів вікон, згідно рис.2, де отвір утворений такими об'єктами

$$O = П_1 \setminus (П_2 \cup П_3),$$

де $П_1$ - основний трикутний профіль, утворений ободом та шприхами колеса: $П_2$ та $П_3$ - елементи виступу, а саме: коло та прямокутник.

Пошук місця розміщення виступу Б та його розмірів є оптимізаційною задачею, на яку накладаються ряд обмежень, а саме обмеження по міцності виступу, обмеження по максимально можливому розміру вписаного кола. Не включаючи заокруглень, вікно обмежується такими лініями $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ (рис.2). Коло, вписане в профіль, може контактувати з поверхнею виступу $A_i \in \{A_N\}$ та двома із трьох поверхонь основного контуру A_1, A_2, A_3. При умові, що максимальний його діаметр не перевищує D, то центри вписаних кіл можуть розміститись лише в трьох положеннях.

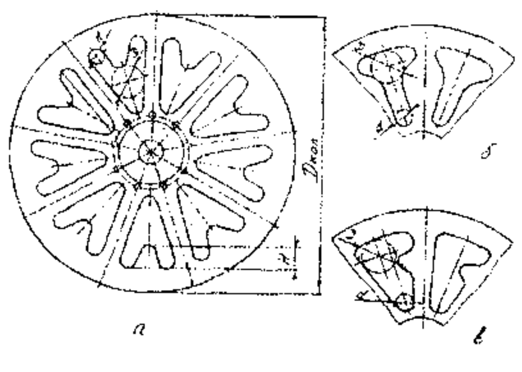

Рис. 1. Конструктивне виконання просівних вікон дисків копачів

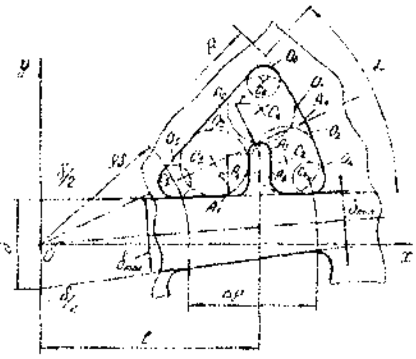

Рис. 2. Схема до визначення оптимальних параметрів форми вікон

Розглянемо систему Oxy, як прийнято на рис.2, в якій лінії, що обмежують основний контур, описуються залежностями

$$A_1: y - \frac{\delta}{2} = 0; \qquad A_2: y = tg\alpha \cdot x - \frac{\delta}{2 \cdot \cos\alpha}, \qquad A_3: x^2 + y^2 = R^2, \tag{1}$$

де δ - ширина шприхи для $x > 0$, R - зовнішній радіус вікон, α - кут профіля вікна.

Якщо ширина шприхи постійна, то вісь Ox проходить через вісь її симетрії, при змінній товщині — вона паралельна нижньому краю вікна (лінії A_1), а центр O системи координат знаходиться в центрі диска.

Тоді зведена ширина δ шприхи визначається, згідно рис.2

$$\delta = \delta_{max} + \frac{\Delta\delta}{\Delta\rho}\rho_{\delta}, \tag{2}$$

де δ_{max} - максимальна ширина шприхи, точка заміру якої віддалена від центра O на величину ρ_{δ}; $\Delta\delta$ - різниця між максимальною і мінімальною ширинами шприхи; $\Delta\rho$ - віддаль між точками заміру δ_{max} і δ_{min}.

Для спрощення викладок представимо залежності (2) у вигляді неявних функцій, що утворюють поля одиничного градієнту із зростанням рівня в глибину вікна.

$$f_1 = y - \frac{\delta}{2}; \quad f_2 = x \cdot \sin\alpha - y \cdot \cos\alpha - \frac{\delta}{2} = 0; \tag{3}$$

$$f_3 = -\sqrt{x^2 + y^2} + R .$$

Особливістю такого опису є те, що в довільній точці A площини вікна з координатами x_A і y_A значення рівня f_i відповідає віддалі від осі до i-ої лінії. Тоді координати центрів вписаних кіл C_i, що дотикаються одночасно двох довільних i-их ліній основного контуру і виступу, визначаються із таких умов

$$f_1 = f_2; \quad f_2 = f_3; \quad f_1 = f_3.$$

1) Для C_1

$$a_1 = \sqrt{\left(R - \frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{\delta + D}{2}\right)^2} \cdot \cos\alpha + \frac{\delta + D}{2} \cdot \sin\alpha,$$
$$b_1 = \sqrt{\left(R - \frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{\delta + D}{2}\right)^2} \cdot \sin\alpha - \frac{\delta + D}{2} \cos\alpha. \tag{4}$$

2) Для C_2

$$a_2 = x_{c2} = \sqrt{\left(R - \frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D + \delta}{2}\right)^2}; \quad b_2 = y_{c2} = \frac{\delta + D}{2}. \tag{5}$$

3) Для C_3

$$a_3 = \frac{\delta + D}{2 \cdot tg\frac{\alpha}{2}}; \quad b_3 = y_{c3} = \frac{\delta + D}{2}. \tag{6}$$

Для кіл K_1 та K_2 діаметрами d/2 аналогічно

$$a_4 = x_{c4} = \sqrt{\left(R - \frac{d}{2}\right)^2 - \left(\frac{D + \delta}{2}\right)^2}; \quad b_4 = \frac{\delta + D}{2}; \tag{7}$$

та

$$a_5 = \frac{\delta + d}{2 \cdot tg\frac{\alpha}{2}}, \quad b_5 = \frac{\delta + d}{2}, \tag{8}$$

де a_i та b_i – координати центрів C_i кіл відповідно по осях Ox та Oy.

Оптимальним будемо вважати таку форму вікна, площа якого максимальна при вписаному колі діаметра D.

При незмінному профілі основного контура ця задача адекватна мінімізації площі виступу B, який доторкався б до кола O_1 з центром в точці C_1, а в інших зонах (т.C_2, C_3) можна було б вписати кола радіусами $\frac{d}{2} \le \rho \le \frac{D}{2}$.

Отже цільова функція прийме вигляд

$$F_n = \frac{\pi \cdot r^2}{2} + 2r \cdot h, \tag{9}$$

де r – радіус заокругленої виступу, рівний половині його ширини, $r = C/2$; h – висота прямокутної частини виступу, (рис. 2).

Розміщення виступу характеризується також параметром l. Функції обмеження, що накладаються на зміну параметрів r, h та l наступні

$$1) B\cap O_2 \neq 0; \quad 2) B \cap O_3 \neq 0; \quad 3) B\cap O_4 = 0;$$
$$4) B\cap O_5 = 0, \quad 5) 2r \leq C_{доп}; \quad 6) B\cap O_1 = E, \qquad (10)$$

де O_1, O_2, O_3 - множини точок, які обмежені відповідно колами O_1, O_2, O_3 із діаметром D; O_4 та O_5 - множини точок, які обмежені колами діаметром d; E − точка контакту вписаного кола O_1 з центром в т. C_1 і з виступом B; $C_{доп}$ - мінімальна ширина виступу B із умови на непошкодження коренеплоду.

Перші обмеження адекватні нерівностям $f_i \leq 0$, що включають змінні $x_i \in \{l, r, h\}$, а останнє - рівності

$$g = \sqrt{(a_1 - l)^2 + \left(b_1 - \frac{\delta}{2} - h\right)^2} - \frac{D}{2} - r = 0, \qquad (11)$$

яка зменшує кількість невідомих до двох заміною $h = h\ (l,\ r)$.

Позначивши $l = x_1$; $r = x_2$; $h = h\ (x_1,\ x_2)$ цільову функцію F_0 та функції обмеження запишемо у вигляді

$$F_0 = \frac{\pi \cdot x_2^2}{2} - 2x_2\left[b_1 - \frac{\delta}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2} + x_2\right)^2 - (a_1 - x_1)^2}\right];$$
$$f_1 = -x_1 - x_2 + a_2 - \frac{D}{2} \leq 0, \quad f_2 = x_1 - x_2 - a_3 - \frac{D}{2} \leq 0; \quad f_3 = x_1 + x_2 - a_4 + \frac{d}{2} \leq 0; \qquad (12)$$
$$f_4 = -x_1 + x_2 + a_5 + \frac{d}{2} \leq 0; \quad f_5 = -x_2 + \frac{C_{доп}}{2} \leq 0.$$

Шукаємо параметри x_i, що оптимізують функціонал якості при заданих обмеженнях $f_i \leq 0$. Використовуючи умови Куна-Таккера [3], встановлюємо такі множники $U_i \geq 0$: що $u_i f_i = 0$ і $\partial\varphi(x,u)/\partial x = 0$,

де $\varphi(x,u) = f_0 + \sum_{i=1}^{5} u_i \cdot f_i$ - функція Лагранжа.

Тоді часткові похідні функції Лагранжа

$$\partial\varphi(x,u)/\partial x_1 = \partial f_0/\partial x_1 - u_1 + u_2 + u_3 - u_4 = 0;$$
$$\partial\varphi(x,u)/\partial x_2 = \partial f_0/\partial x_2 - u_1 - u_2 + u_3 + u_4 - u_5 = 0, \qquad (13)$$

де

$$\frac{\partial f_0}{\partial x_1} = \frac{2(a_1 - x_1)\cdot x_2}{2\cdot\sqrt{\left(\frac{D}{2} + x_2\right)^2 - (a_1 - x_1)^2}}; \quad \frac{\partial f_0}{\partial x_2} > 0. \qquad (14)$$

В залежності від вихідних даних теоретично можливі 11 варіантів розв'язку системи (13), тобто 11 можливих розрахункових схем визначення оптимальних параметрів x_i, що мінімізують F_0 при заданих обмеженнях.

Для випадку реальних параметрів та їх співвідношень при конструюванні дискових копачів кількість розрахункових схем значно зменшується і охоплює такі можливі варіанти розв'язку системи (13).

$$1)\ U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = 0; \ U_5 \leq 0; \quad \frac{\partial f_0}{\partial x_1} = 0; \quad f_5 = 0; \qquad (15)$$

$$2)\ \frac{\partial f_{\Sigma}}{\partial x_1} < 0, \quad U_1 = U_3 = U_4 = 0, \quad f_2 = 0; \quad f_5 = 0, \tag{16}$$

$$3)\ \frac{\partial f_{\Sigma}}{\partial x_1} < 0, \quad U_3 = U_4 = U_5 = 0; \quad f_1 = 0; \quad f_2 = 0. \tag{17}$$

Згідно першого розрахункового варіанту шукані оптимальні параметри x_i розміщення та форми виступу B дорівнюють

$$x_1 = l - a_3; \quad x_2 = r = \frac{C_{доп}}{2}, \tag{18}$$

а висота h визначається, як і у всіх наступних варіантах, за залежністю

$$x_3 = h = b_1 - \frac{\delta}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2} + r\right)^2 - \left(a_1 - l\right)^2}. \tag{19}$$

Якщо знайдене рішення не задовільняє обмеження $f_i \le 0$ (12), то переходять до розв'язку другого варіанту (16), звідки

$$x_1^I = a_3 + \frac{D}{2} + \frac{C_{доп}}{2}; \quad x_2^I = \frac{C_{доп}}{2}; \quad x_3 = h = h\left(x_1, x_2\right). \tag{20}$$

Якщо ж попередні розв'язки не задовільняють обмеженню $f_i \le 0$ (12), то оптимальні параметри x_i визначаються за залежностями

$$x_1 = \frac{a_2 + a_3}{2}, \qquad\qquad x_2 = \frac{a_2 - a_3 - D}{2}. \tag{21}$$

Для випадку оптимізації дискових виконуючих органів комбайну КС-6 при незмінних конструктивних параметрах диска, в т. ч. і основного контуру вікна, параметри виступів визначаються за другою розрахунковою схемою і становлять:

$$x_1 = l_1 = \frac{\delta + D}{2 \cdot tg\frac{\alpha}{2}} + \frac{D + C_{доп}}{2}, \quad r = \frac{C_{доп}}{2}; \quad h = h(x_1, x_2), \tag{22}$$

де h – визначається за залежністю (19), де координати вписаного кола a, b визначаються за залежністю (4).

У випадку V подібної форми вікна можливий лише один варіант розміщення вписаного кола максимального діаметру, (рис.1). При цьому загальна висота виступу H визначається за залежністю

$$H = R - \frac{\delta + D}{2 \cdot \sin\frac{\alpha}{2}}, \tag{23}$$

а товщина виступу – із умови непошкодження коренеплоду

$$C \le C_{доп}. \tag{24}$$

Приведена методика визначення оптимальних розмірів просівних вікон виконуючих дисків грунтується на аналогічних методах розв'язку задачі нелінійного проектування і значно полегшує теоретичний аналіз ефективності прийнятих рішень. Вона може бути використана і для розв'язку інших аналогічних задач при проектуванні робочих органів і технологічних процесів сільськогосподарських машин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гевко Р.Б.Викопувально – очисні пристрої бурякозбиральних машин: (конструювання і розрахунок) /Р.Б. Гевко, - Тернопіль, 1997.- 120с.

2. Данильченко М.Г., Шифердекер К., Гевко Р.Б., / Копач свеклоуборочной машины / М.Г. Данильченко, К. Шифердекер, Р.Б. Гевко и др. Б.И. № 3 07.04.93 Патент СССР № 1807838.

3. Хог Э., Арора Я., Прикладное оптимальное проектирование. Механические системы и конструкции. – М.: Мир, 1997.- 478с.