

МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

УДК 631.358.08

М.Пилипець¹, докт. техн. наук; М.Паньків¹, канд. техн. наук;

В.Барановський², канд. техн. наук.

¹Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

²Навчально-науковий технічний інститут НАУ

АНАЛІЗ СПІВУДАРУ КОРЕНЕПЛОДУ З ПОВЕРХНЕЮ ЕЛІПСНОГО ВАЛЬЦЯ

В статті наведено результати теоретичних досліджень співудару коренеплоду з поверхнею еліпсного вальця, аналітично обґрунтовано раціональні межі зміни кутової швидкості обертання еліпсних вальців за умови скочування коренеплоду на його робочі поверхні з очисної гірки, яка встановлена під кутом до горизонту.

Умовні позначення

- $\mathcal{Q}_{c.p}$ - результуюча сумарна швидкість в момент співудару коренеплоду з рифом еліпсного вальця, м/с;
- $\mathcal{Q}_c$ - швидкість скочування коренеплоду в його точці дотику А з рифом вальця, м/с;
- $\mathcal{Q}_a$ - результуюча швидкість взаємодії гвинтового еліпсного вальця на коренеплід, м/с;
- $\mathcal{Q}_z$ - поступальна швидкість руху полотна гірки, м/с;
- $\mathcal{Q}_{доп.макс}$ - допустима швидкість співудару коренеплодів з поверхнею еліпсного вальця, м/с;
- $\overline{\mathcal{Q}}_{c.p.y'}, \overline{\mathcal{Q}}_{c.p.x'}$ - відповідно нормальна й дотична складові $\mathcal{Q}_{c.p}$, м/с;
- α'_n - кут між напрямком швидкості співудару і дотичною площиною, град.;
- φ - кут між напрямками векторів швидкостей $\overline{\mathcal{Q}}_{k.x}$ і $\overline{\mathcal{Q}}_a$, град.;
- R_o - відстань від центра О обертання еліпсного вальця до точки дотику коренеплоду, м;
- T - крок еліпсного вальця, м;
- $\mathcal{Q}_o$ - швидкість переміщення рифа еліпсного вальця вздовж його осі обертання, м/с;
- $\mathcal{Q}_{k.x}$ - колова швидкість руху еліпсного вальця, м/с;
- d_y - усереднений діаметр труби барабана вальця, м;
- β - кут установки пальчикової гірки до горизонту, град.;
- φ_k - кут тертя ковзання коренеплоду по гвинтовій поверхні, град.

Основними критеріями оцінки якості роботи коренезбиральних машин при збиранні пукрових буряків є ступені пошкодження коренеплодів і відокремлення домішок зі складу вороху. Ефективність і якість роботи машин в більшості залежить від якості роботи очисників вороху, які повинні відокремити із складу поступаючого вороху не менше 92 % домішок за вихідними вимогами на коренезбиральні машини, при цьому загальні допустимі пошкодження коренеплодів не повинні перевищувати 20 % межу.

Співудар коренеплоду з робочим органом гвинтово-еліпсного очисника досліджено в роботі [1]. Одним із основних факторів, які впливають на критерії оцінки показників якості роботи очисників вороху коренеплодів є визначення раціональних меж зміни кутової швидкості обертання вальців. Аналітичні дослідження, що були проведені в згаданій роботі належать до встановлення верхньої та нижньої межі зміни кутової швидкості обертання спірального гвинта круглого перерізу при горизонтальному переміщенні коренеплоду до його робочих поверхонь. Було визначено, що кутова швидкість обертання гвинта повинна знаходитися в межах 9,0...12,5 рад/с при швидкості руху подавального горизонтального транспортера 1,5 м/с. Тому метою даних досліджень є аналітичне обґрунтування раціональних меж зміни кутової швидкості обертання еліпсних вальців очисника [2] за умови скочування коренеплоду на його робочі поверхні з очисної гірки, яка встановлена під кутом до горизонту.

Для проведення теоретичного обґрунтування необхідної розрахункової продуктивності гвинтово-еліпсного очисника [2], яка визначена згідно з отриманою аналітичною залежністю [3], необхідно встановити раціональні межі зміни кутової швидкості обертання еліпсних вальців ω_* . Від величини ω_* в значній мірі залежать показники якості виконання очисником технологічного процесу збирання коренеплодів. Так верхня межа кутової швидкості обертання вальців регламентує допустиму межу пошкодження коренеплодів цукрових буряків, а нижня – необхідну продуктивність (поступальну швидкість руху) збирального агрегату згідно з вихідними вимогами.

Верхню межу кутової швидкості обертання еліпсних вальців $\omega_{* \max}$ розглянемо з умови допустимої швидкості співудару коренеплодів з елементами робочих поверхонь очисника, яка впливає на допустимі пошкодження цукрових буряків, а нижню межу $\omega_{* \min}$ – з умови забезпечення необхідної розрахункової продуктивності гвинтово-еліпсного очисника, яка забезпечить оптимальне протікання технологічного процесу роботи коренезбиральної машини без “згуження” поступаючого вороху на робочих органах очисника.

Для визначення максимально допустимої кутової швидкості обертання еліпсних вальців $\omega_{* \max}$ розглянемо складену еквівалентну розрахункову векторну схему процесу взаємодії коренеплоду з рифом гвинтової поверхні еліпсного вальця (рис. 1).

При проведенні досліджень припускаємо, що за час контактної взаємодії коренеплоду з рифом вальця точка дотику або риф еліпсного вальця не переміщується в осьовому напрямку, тобто часом співудару нехтуємо.

Тоді верхню допустиму межу кутової швидкості обертання еліпсного вальця визначимо, виходячи з умови, що сумарна (результуюча) швидкість співудару коренеплоду (ударної дії на коренеплід) не повинна перевищувати максимально допустимої швидкості співудару, при якій коренеплоди не будуть отримувати недопустимі пошкодження або пошкодження, які не будуть перевищувати межу вихідних вимог.

В нашому випадку коренеплід цукрових буряків, маса якого m_k значно менша за масу M_e еліпсного вальця 2, тобто $M_e \gg m_k$, з швидкістю скочування $\mathcal{Q}_c$ на нижньому сході гірки 2 співударяється з елементом робочої поверхні рифа 3 еліпсного вальця, який діє на тіло коренеплоду з результуючою швидкістю $\mathcal{Q}_*$. В момент дотику (взаємодії) коренеплід відлітає від точки співудару з результуючою сумарною швидкістю співудару $\mathcal{Q}_{c.p}$. В зв'язку з цим, можна записати:

$$|\overline{\mathcal{Q}_{c.p}}| = |\overline{\mathcal{Q}_c}| + |\overline{\mathcal{Q}_*}| + |\overline{\mathcal{Q}_z}| \leq \overline{\mathcal{Q}_{\text{доп. макс}}} \quad (1)$$

викликає подальшого утруднення, – визначення складових швидкостей косою співудару коренеплоду проведемо в горизонтальній площині системи координат xAy , при цьому введемо обмеження, що швидкість руху при співударі змінюється тільки у коренеплоду.

Розглянемо схему косою співудару коренеплоду з елементом еліпсної гвинтової поверхні, яка наведена на рис. 2. Для цього повернемо осі вибраної системи координат xAy (рис. 1) за часовою стрілкою так, щоб вісь Ay збігалась з нормаллю NN , яку проведено в точці A співудару коренеплоду з еліпсним вальцем, тобто змодельмо центральний прямий удар для підсилення пошкодження коренеплодів.

Складові векторів швидкостей співудару коренеплоду з рифом еліпсного вальця розкладемо на нормальні і дотичні проекції відповідних векторів, тобто

$$\bar{g}_{c.p.y'} = \bar{g}_{e.y'} + \bar{g}_{c.y'} - \bar{g}_{z.y'} = \bar{g}_e \sin(\alpha'_n + \varphi) + \bar{g}_{c.x} \sin \alpha'_n - \bar{g}_{z.x} \sin \alpha'_n; \quad (2)$$

$$\bar{g}_{c.p.x'} = \bar{g}_{e.x'} + \bar{g}_{c.x'} - \bar{g}_{z.x'} = \bar{g}_e \cos(\alpha'_n + \varphi) + \bar{g}_{c.x} \cos \alpha'_n - \bar{g}_{z.x} \cos \alpha'_n, \quad (3)$$

Кут α'_n дорівнює куту підйому еліпсної гвинтової лінії в точці дотику коренеплоду з рифом гвинтової поверхні й визначається в загальному випадку за формулою:

$$\alpha'_n = \arctg \frac{T}{2\pi R_\phi}. \quad (4)$$

Тоді кут підйому гвинтової еліпсної лінії по внутрішньому усередненому діаметрі еліпсного вальця визначається

$$\alpha'_n = \arctg \frac{T}{\pi d_y}, \quad (5)$$

тому що $2R_\phi \cong d_y$.

Кут φ визначимо із трикутника ABC .

$$\varphi = \arcsin g_o / g_e. \quad (6)$$

Результуюча швидкість взаємодії рифа еліпсного гвинтового вальця на коренеплід визначається із трикутника ABC за формулою:

$$g_e = \sqrt{g_o^2 + g_{k.x}^2}. \quad (7)$$

Швидкість переміщення рифа вальця g_o і колова швидкість руху вальця $g_{k.x}$ визначаються за формулами:

$$g_o = \frac{\omega_e T}{2\pi}; \quad g_{k.x} = \frac{\omega_e D_y}{2}. \quad (8)$$

Підставивши значення g_o і $g_{k.x}$ з (8) у (7) та зробивши відповідні перетворення, отримаємо:

$$g_e = \frac{\omega_e}{2\pi} \sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2}. \quad (9)$$

Тоді, враховуючи залежності (8) і (9), формула для визначення кута φ після спрощення буде мати вигляд:

$$\varphi = \arcsin T / \sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2}. \quad (10)$$

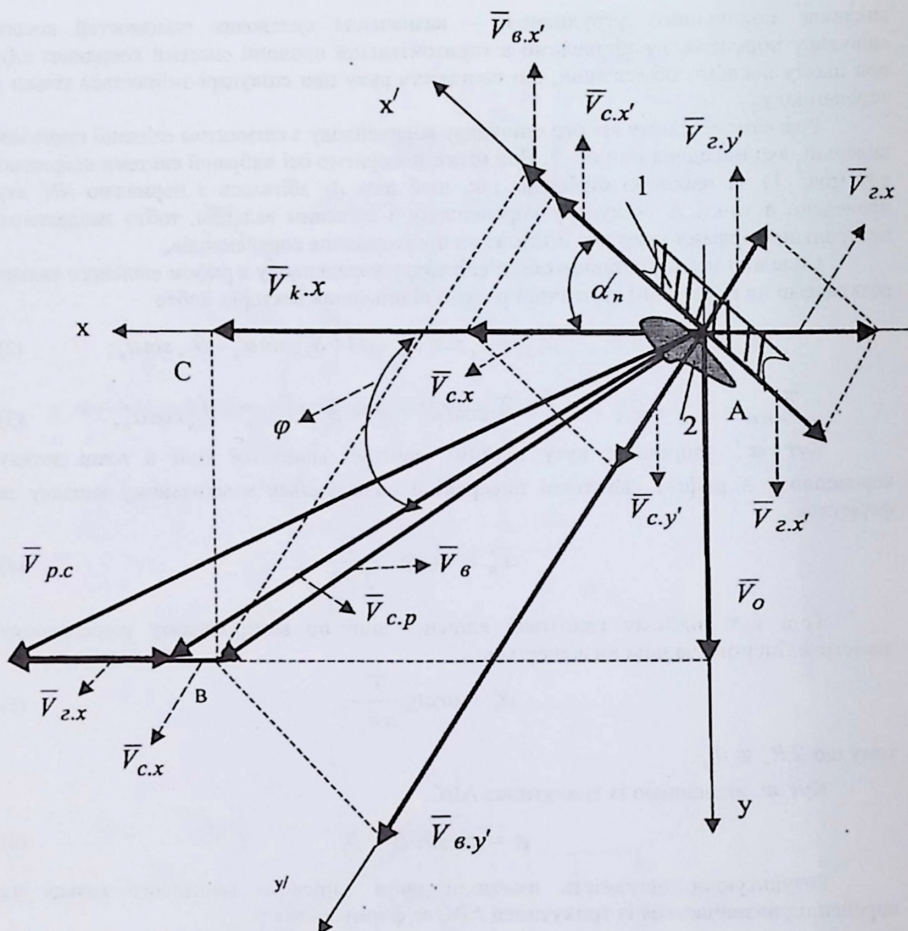


Рис. 2. Еквівалентна схема косого співудару коренеплоду з рифом спірного вальця:
1 – поверхня рифа вальця; 2 – коренеплід

Визначимо складові швидкості скошування коренеплоду і поступального руху полотна гірки відповідно $\vartheta_{c,x}$ і $\vartheta_{z,x}$

$$\vartheta_{c,x} = \vartheta_c \cos \beta; \quad \vartheta_{z,x} = \vartheta_z \cos \beta. \quad (11)$$

Підставивши вирази (10) і (11) в залежності (2) і (3), отримаємо:

$$\begin{aligned} \vartheta_{c,p,y'} = & \vartheta_c \sin(\alpha'_n + \arcsin T / \sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2}) + \\ & + \vartheta_c \cos \beta \sin \alpha'_n - \vartheta_z \cos \beta \sin \alpha'_n \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \vartheta_{c.p.x'} = \vartheta_c \cos(\alpha'_n + \arcsin T / \sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2}) + \\ + \vartheta_c \cos \beta \cos \alpha'_n - \vartheta_c \cos \beta \cos \alpha'_n \end{aligned} \quad (13)$$

Аналіз косого удару коренеплоду до рифу показує, що нормальна складова ударного імпульсного навантаження викликає деформацію стиснення поверхні тіла коренеплоду цукрових буряків, результатом якого є, як правило, поява тріщин, порушення кліткової структури й, в гіршому випадку, – розколювання коренеплодів. З точки зору механічного пошкодження коренеплодів, найбільший негативний ефект викликає дія нормального ударного імпульсу в порівнянні з тангенціальним ударним імпульсним навантаженням. Таким чином, можна ввести обмеження, що основні механічні пошкодження коренеплодів при їх співударі з рифом еліпсного вальця виникають при дії на них нормальної складової сумарної результуючої швидкості співудару, при цьому її числове значення не повинно перевищувати допустимої швидкості співудару при прямому центральному ударі.

Тоді вираз (12) приймає вигляд

$$\begin{aligned} \vartheta_{c.p.y'} = \vartheta_c \sin(\alpha'_n + \arcsin T / \sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2}) + \\ + \vartheta_c \cos \beta \sin \alpha'_n - \vartheta_c \cos \beta \sin \alpha'_n \leq \vartheta_{\text{доп. макс}} \end{aligned} \quad (14)$$

Із виразу (14) визначаємо результуючу швидкість еліпсного вальця:

$$\begin{aligned} \vartheta_c \leq \frac{\vartheta_{\text{доп. макс.}} - \vartheta_c \cos \beta \sin \alpha'_n + \vartheta_c \cos \beta \sin \alpha'_n}{\sin \left[\alpha'_n + \arcsin T / \sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2} \right]} = \\ = \frac{\vartheta_{\text{доп. макс.}} - \cos \beta \sin \alpha'_n (\vartheta_c - \vartheta_c)}{\sin \left[\alpha'_n + \arcsin T / \sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2} \right]} \end{aligned} \quad (15)$$

Встановлено, що раціональні параметри очисної гірки, тобто поступальна швидкість полотна і кут встановлення її до горизонту, при яких забезпечується ефективне відокремлення домішок від коренеплодів цукрових буряків, знаходяться в межах $\vartheta_c = 1,6 \dots 2,0$ м/с; $\beta = 45 \dots 60^\circ$, швидкість скочування на нижньому сході гірки при вказаних параметрах становить $\vartheta_c = 1,0 \dots 1,2$ м/с [4, 5], а максимально допустима швидкість співудару коренеплоду цукрових буряків з металічною поверхнею, при якій коренеплоди отримують механічні пошкодження, що не перевищують межі агротехнічних вимог, становить $\vartheta_{\text{доп. макс}} = 3,5$ м/с [1].

При даних значеннях ϑ_c , ϑ_c , β і $\vartheta_{\text{доп. макс}}$ побудовані залежності (рис.3) результуючої швидкості еліпсного вальця ϑ_g від його кута нахилу поверхні співудару (кута підйому гвинтової лінії), які розраховані згідно із залежністю (15).

Аналіз залежностей показує, що при визначених раніше раціональних межах кута підйому гвинтової лінії $\alpha'_n = 23,7 \dots 57,3^\circ$ [1], результуюча швидкість еліпсного вальця ϑ_g повинна знаходитися в межах $3,7 \dots 6,3$ м/с при зміні усередненого діаметра вальця D_y в межах $0,1 \dots 0,2$ м та постійних значеннях $\vartheta_c = 1,8$ м/с ($\vartheta_c = 1,1$ м/с), $\beta = 55^\circ$ і $T = 0,25$ м. При середньому значенні $\alpha'_n = 40,5^\circ$ середнє значення $\vartheta_g = 4,1$ м/с. Таким чином, для вказаних параметрів отримані значення результуючої швидкості будуть знаходитися в заданих межах, при яких пошкодження коренеплодів не перевищують межі вихідних вимог. Прирівнявши вирази (9) і (15), знаходимо максимально допустиму кутову швидкість обертання еліпсного вальця очисника:

$$\omega_{в. макс} \leq \frac{2\pi \left[\vartheta_{доп. макс} - \cos \beta \sin \alpha'_n (\vartheta_c - \vartheta_s) \right]}{\sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2} \sin(\alpha'_n + \arcsin T / \sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2})}. \quad (16)$$

Після підстановки α'_n , значення якого приймаємо згідно з дослідженнями [1], в (16) отримаємо кінцеву формулу для визначення максимально допустимої кутової швидкості обертання еліптичних вальців:

$$\omega_{в. макс} \leq \frac{2\pi \left[\vartheta_{доп. макс} - (\vartheta_c - \vartheta_s) \cos \beta \sin(45^\circ - 0,5\varphi_k) \right]}{\sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2} \sin \left[(45^\circ - 0,5\varphi_k) + \arcsin T / \sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2} \right]}. \quad (17)$$

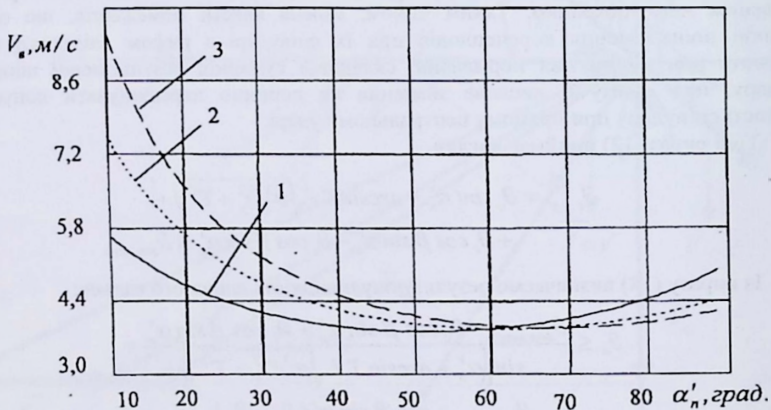


Рис. 3. Залежність результуючої швидкості еліптичного вальця $V_{\text{в}}$ від кута нахилу поверхні співудару α'_n :
1 - $D_y = 0,1$ м; 2 - $D_y = 0,15$ м; 3 - $D_y = 0,2$ м

На рис. 3 і 4 наведено залежності кутової швидкості обертання еліптичного вальця гвинтово-еліптичного очисника $\omega_{\text{в}}$ від його усередненого діаметра D_y , які розраховані відповідно до рівняння (17) при прийнятих значеннях $V_{\text{дон}} = 3,5$ м/с; $V_2 = 1,2$ м/с; $\beta = 55^\circ$; $V_c = 0,6$ м/с і $\varphi_k = 35,2^\circ$.

Аналіз залежностей (рис. 4) показує, що збільшення усередненого діаметра еліптичного вальця приводить до суттєвого зменшення його допустимої максимальної кутової швидкості обертання, зміна якої характеризується гіперболічною залежністю.

При кроці вальця $T = 0,25$ м (крива 3) його кутова швидкість обертання зменшується із 28,3 рад/с ($D_y = 0,1$ м) до 15,0 рад/с ($D_y = 0,16$ м). При подальшому збільшенні діаметра еліптичних вальців зменшення кутової швидкості обертання незначне: при $D_y = 0,18$ м - 14,8 рад/с; $D_y = 0,2$ м - 13,2 рад/с. Крім того, для діаметра гвинта більшого за 0,16 м зміна кроку гвинта в межах 0,15...0,3 м суттєво не впливає на зменшення кутової швидкості обертання. Так при $T = 0,15$ м кутова швидкість обертання становить $\omega_{\text{в}} = 16,3$ рад/с (крива 1), а при $T = 0,25$ м - $\omega_{\text{в}} = 14,8$ рад/с (крива 3) для $D_y = 0,18$ м, тобто зменшення незначне.

Таким чином, для еліптичного вальця, усереднений діаметр якого $D_y = 0,18$ м верхня межа кутової швидкості обертання вальця $\omega_{\text{в}}$ при швидкості руху очисної гірки $V_2 = 1,2$ м/с та її кута установки $\beta = 55^\circ$ буде знаходитися в межах $\omega_{\text{в}} = 15,0 \dots 17,0$ рад/с. Ці межі максимально допустимі й при них можна очікувати, що механічні пошкодження коренеплодів не будуть перевищувати межу, регламентовану вихідними вимогами на коренезбиральні машини. Зменшення кутової швидкості обертання

еліпсного вальця призводить до значного зменшення силової дії на поверхню тіла коренеплодів, що веде до значного зниження їх пошкодження при співударі з поверхнею рифа. Але зменшення кутової швидкості обертання вальця також одночасно призводить до зниження продуктивності гвинтово-еліпсного очисника [2].

Таким чином, кутова швидкість обертання еліпсного вальця повинна бути обмежена й з нижньої межі.

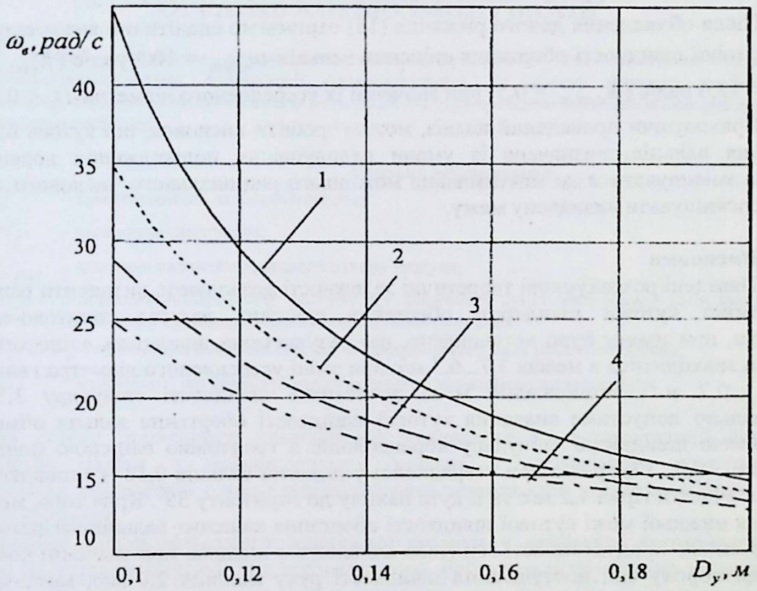


Рис. 4. Залежність кутової швидкості обертання еліпсного вальця ω_a від його усередненого діаметра D_y при: 1 – $T=0,15$ м; 2 – $T=0,2$ м; 3 – $T=0,25$ м; 4 – $T=0,3$ м

Мінімально допустиму кутову швидкість обертання еліпсного вальця $\omega_{a, \min}$ визначимо із продуктивності гвинтово-еліпсного очисника, яка забезпечує оптимальне (раціональне) протікання технологічного процесу роботи коренезбиральної машини, тобто при умові недопущення “згруження” поступаючого вороху на еліпсних вальцях.

Було встановлено [2], що досягти розрахункової продуктивності гвинтово-еліпсного очисника при встановлених умовах роботи коренезбиральної машини можливо при наступних співвідношеннях параметрів D_y і ω_a при відповідних коефіцієнтах сепарації вороху $k_{сеп.в}$ на шляху до очисника:

- $k_{сеп.в} = 0,3$: при $D_y = 0,18$ м і $\omega_a \geq 10,0$ рад/с; $D_y = 0,15$ м і $\omega_a \geq 10,0$ рад/с;
- $k_{сеп.в} = 0,5$: при $D_y = 0,18$ м і $\omega_a \geq 12,2$ рад/с; $D_y = 0,15$ м і $\omega_a \geq 15,3$ рад/с;
- $k_{сеп.в} = 0,7$ розрахункова продуктивність не забезпечується при наведених параметрах D_y і ω_a .

Таким чином, розрахункова продуктивність гвинтово-еліпсного очисника не забезпечується при усередненому діаметрі еліпсних вальців $D_y < 0,15$ м і кутовій швидкості обертання $\omega_a < 10,0$ рад/с.

Згідно з наведеними залежностями [3], було визначено мінімально допустиму

кутову швидкість обертання еліптичних вальців очисника:

$$\omega_{e.min} = \frac{Q' k_{сеп.в}}{0,08k_{1,в.молос}^2 \left(\left\{ R_k^2 \left[\pi \arcsin \frac{2(d_y + h)}{R_k} / 90 \right] - \sin 2 \left[\arcsin \frac{2(d_y + h)}{R_k} \right] \right\} T k_{v.p} k_p^2 \right)} \quad (18)$$

Після обчислення даного рівняння (18) отримаємо аналітично визначену нижню межу кутової швидкості обертання еліптичних вальців $\omega_{e.min} = 10,3$ рад/с ($k_{сеп.в} = 0,3$) і $\omega_{e.min} = 12,5$ рад/с ($k_{сеп.в} = 0,5$) при значенні їх усередненого діаметра $D_y = 0,18$ м.

Враховуючи проведений аналіз, можна зробити висновок, що кутова швидкість обертання вальців, визначена із умови недопущення пошкодження коренеплідів, повинна зменшуватися до максимально можливого раціонального числового значення та не перевищувати визначену межу.

Висновки

Наведені розрахункові теоретичні залежності дозволяють визначити раціональні межі зміни кутової швидкості обертання еліптичних вальців гвинтово-еліптичного очисника, при цьому було встановлено, що результуюча швидкість еліптичного вальця повинна знаходитися в межах 3,7...6,3 м/с при зміні усередненого діаметра гвинта 0,1 м

$D_y = 0,2$ м і встановленій межі допустимої швидкості співудару 3,5 м/с, а максимально допустиме значення кутової швидкості обертання вальця обмежується допустимою швидкістю співудару коренеплідів з гвинтовою еліптичною поверхнею і становить 15,0...17,0 рад/с при усередненому діаметрі вальців 0,18 м і швидкості руху полотна очисної гірки 1,2 м/с та її кута нахилу до горизонту 55° . Крім того, мінімальне значення нижньої межі кутової швидкості обертання еліптичних вальців регламентується забезпеченням продуктивності гвинтово-еліптичного очисника, при значенні коефіцієнта сепарації вороху 0,5; поступальній швидкості руху машини 2,0 м/с; максимальному значенні коефіцієнта заповнення робочого простору жолоба очисника 0,8 і становить 12,5 рад/с при усередненому діаметрі вальців 0,18 м.

The results of theoretical investigations of collision of root – crops with ellipse roller surface are given in the article. Rational boundaries of angular speed change of ellipse rollers rotation in the processes of root – crops rolling down to their walking surface from the conveyer belt placed at an angle to horizon are analytically grounded.

Література

1. Барановський В.М. Обґрунтування технологічного процесу і параметрів гвинтово-вальцевого очисника вороху кормових буряків: Дис... канд. техн. наук: 05.20.01. – Київ, 1996. – 275 с.
2. Пат. № 39356А, Україна, МПК А 01D 33/08. Очисний пристрій коренезбиральної машини. Пилипеш М.І., Паньків М.Р. – Оубл. 15.06.2001, Бюл. № 5.
3. Паньків М.Р. Визначення продуктивності гвинтово-еліптичного очисника // Тези наук.-практич. конференції Тернопільського державного технічного університету ім. Івана Пулюя (м. Тернопіль, 22-24 травня 2003 р.). – Тернопіль: ТДТУ, 2003. – 134 с.
4. Петрикович Ю.Я. Експериментальне визначення раціональних параметрів завантажувального транспортера та очисної гірки // 36. наук. праць Національного аграрного університету „Механізація сільськогосподарського виробництва” Том VI. „Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин”. – Київ: НАУ, 1999. – С. 280-286.
5. Петрикович Ю.Я. Дослідження процесу сепарації коренеплідів цукрового буряка // 36. наук. праць Національного аграрного університету „Механізація сільськогосподарського виробництва”. Том II. „Перспективні технології вирощування та збирання цукрових буряків”. – Київ: НАУ, 1999. – С. 64-66.

Одержано 21.10.2003 р.