

Механізація

УДК 631.356.42

В. В. Теслюк

д.с.-г.н.

Національний університет біоресурсів і природокористування
Рецензент – член редколегії «Вісник ЖНАЕУ» д.т.н. Пількевич І. А.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЕЛІПСНОГО ОЧИСНИКА ВОРОХУ КОРЕНЕПЛОДІВ

Розглянуто показники технологічного процесу очищення домішок від вороху коренеплодів. Наведено математичну модель, яка характеризує взаємозв'язок необхідної пропускної здатності очисника вороху коренеплодів залежно від лінійних параметрів викопувального робочого органу, агрофізичних характеристик коренеплодів і умов роботи коренезбиральної машини.

Постановка проблеми

Показники технологічного процесу очищення домішок від вороху коренеплодів (ВК) характеризуються, у першу чергу, пропускною здатністю робочих органів очисників ВК і показниками якості їх роботи [1]. Пропускна здатність очисників регламентується секундною подачею ВК [2] та залежить від їх конструкції і параметрів робочих органів. Різноманітність конструктивних схем очисників ВК коренезбиральних машин (КМ) у прямій залежності пов'язана, як із технологічними процесами відокремлення домішок від ВК, так і з конструктивно-технологічними вимогами до якості очищення коренеплодів.

Одним із головних резервів удосконалення очисних робочих органів КМ є інтенсифікація процесу сепарації домішок ВК із максимальним відокремленням від нього ґрунтових і рослинних домішок за рахунок застосування адаптованих робочих органів [3].

Аналіз останніх досліджень та постановка завдання

Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гвинтово-еліпсного очисника на основі дослідження його продуктивності було проаналізовано у праці [4] без врахування агрофізичних характеристик коренеплодів і формалізації еліпсних шнеків до вигляду шнеків круглого перерізу, що вносить певні похибки та неточності під час обґрунтування параметрів робочих органів. Відсутність врахування наведених критеріїв і зумовило проведення даних досліджень.

Мета досліджень

Метою даних досліджень є удосконалення методів оптимізації технологічних параметрів процесу сепарації домішок та параметрів очисників вороху коренеплодів.

Результати досліджень

Ефективне очищення коренеплодів від землі і рослинних залишків, або інтенсифікація процесу відокремлення домішок від коренеплодів забезпечується за рахунок утворення жолоба активних русел і транспортування ВК вздовж еліптичних шнеків [5].

Із метою формалізації процесу сепарації ВК та для подальшого обґрунтування параметрів очисника розглянемо складену конструктивну схему його жолоба робочих русел, яку наведено на рисунку. Жолоб активних русел очисника утворений двома парами 1 і 2 поздовжніх еліптичних шнеків, осі центрів обертання O_1, O_2, O_3, O_4 яких розміщені по лінії дуги ADC , яка утворена радіусом R_e . Шнеки, які встановлені з зазором c_e між своїми валами, обертаються з кутовою швидкістю ω .

Секундна подача ВК у кількості $\frac{dW_c}{dt}$ (див. рис. 1) надходить на поздовжні пари 1, 2 еліптичних шнеків очисника, заповнюючи простір жолоба активних робочих русел, при цьому основна частина сипкого ґрунту, ґрунтових грудок і рослинних домішок сепарується через зазор c_e між еліптичними валами. ВК, рухаючись вздовж робочих русел із швидкістю переміщення V_n , змінює свою траєкторію руху в вертикальній площині за рахунок отримання осцилюючого переміщення, при цьому коренеплоди інтенсивно очищуються очисними елементами від налиплого на їх поверхнях ґрунту.

Для формалізації технологічного процесу роботи очисника приймаємо такі припущення:

- жолоб активних робочих русел очисника утворений контуром фігури, поперечний переріз якої обмежений січенням вертикальної площини ABO_4DO_1A , при цьому ВК розташовується на шнеках в один ряд вздовж їх осей обертання;

- у процесі переміщення ВК вздовж шнеків розглядаємо тільки горизонтальну швидкість переміщення V_n центра ваги коренеплодів, при цьому нехтуємо вертикальною складовою швидкості переміщення як незначною для умови $\Delta\varphi = \pi / 2$;

- межі зміни горизонтальної швидкості переміщення V_n коренеплоду розглядаємо у двох оптимізаційних точках – у зоні контакту тіла коренеплоду з витком малого D_b та великого D_a діаметра шнека;

- приймаємо зазор між валами $c_e = const$, тому що його зміна є незначною для умови $\Delta\varphi = \pi / 2$;

потоків F визначають через площу прохідного перерізу жолоба F_n та коефіцієнта заповнення конвеєра φ_k , а для забезпечення необхідної пропускної здатності очисника W_o та забезпечення очищення ВК від домішок середня швидкість переміщення потоку V_c повинна погоджуватися з продуктивністю КМ або секундною подачею ВК до доочисника [1, 4] та бути адекватною поздовжній швидкості переміщення або швидкості транспортування коренеплодів V_n по очиснику, яка визначається за залежністю:

$$V_n = \frac{W_c}{B_p q} = \frac{W_c}{kq(D + c_e)}, \quad (2)$$

де B_p – ширина робочого русла, м; q – маса вороху коренеплодів, розміщених в один шар на площі 1 м^2 , $\text{кг}/\text{м}^2$; k – кількість робочих русел доочисника; D – діаметр шнека, м; c_e – зазор між валами шнеків, м.

Застосувати складову $B_p = k(D + c_e)$ залежності (2) для подальшого аналізу в даному випадку неможливо, тому що за цим виразом визначається ширина робочого русла для горизонтально розташованих шнекових валів.

Крім того, частина домішок вороху коренеплодів інтенсивно сепарується через зазори c_e між валами шнеків, значення якої врахуємо через уточнюючий коефіцієнт сепарації домішок $k_{c.o}$ [3].

Тоді, згідно з формулою (2) і припущенням, що дольова участь домішок у об'ємній масі вантажу γ_G незначна, тобто вона складається тільки з питомої маси коренеплодів, або $\gamma_G \cong \rho_k$, залежність (1) має вигляд:

$$\frac{dQ_o}{dt} = \frac{dW_o}{dt} \geq k_{c.o} \frac{F_n \rho_k \varphi_k}{B_p q} \frac{dW_c}{dt}, \quad (3)$$

де Q_o – продуктивність доочисника, $\text{кг}/\text{с}$; $k_{c.o}$ – коефіцієнт сепарації домішок доочисником; F_n – площа прохідного перерізу жолоба, м^2 ; ρ_k – питома маса коренеплодів, $\text{кг}/\text{м}^3$; φ_k – коефіцієнт заповнення жолоба.

Площа прохідного перерізу F_n жолоба ABO_4DO_1A складається з суми площ прямокутника ABO_4O_1 та сегмента $O_1O_4DO_1$, за виключенням із неї сумарної площі, яку займають сектори валів еліптичних шнеків у площі F_n , тобто

$$F_n = F_c + F_{np} - \sum_{i=1}^m F_{c.e_i}, \quad (4)$$

де F_{np} , F_c , – відповідно площа прямокутника ABO_4O_1 та сегмента $O_1O_4DO_1$, м²; $\sum_{i=1}^m F_{c.e_i}$ – сумарна площа секторів валів m -их шнеків, м²; $i = 1, 2 \dots m$ – кількість шнеків.

Площа прямокутника ABO_4O_1 буде змінюватися залежно від часу t синхронного повороту кута $\Delta\mathcal{E}$ установки крайніх валів кожної пари шнеків і визначається так:

$$F_{np} = 0,5D_t B_p, \quad (5)$$

де D_t – миттєвий діаметр еліпсного шнека, м.

При подальшому аналізі розглянемо тільки два крайніх положення зміни повороту кута $\Delta\mathcal{E}$ установки крайніх валів кожної пари шнеків, тобто $D_{t1} = D_a$, $D_{t2} = D_b$, при значеннях яких буде максимальна або мінімальна площа прохідного перерізу жолоба ABO_4O_1 .

Згідно з методикою, викладеною в довіднику [6] площа поперечного перерізу сегмента F_c та довжина хорди, або робоча ширина жолоба B_p , дорівнюють:

$$\begin{cases} F_c = 0,5R_e^2 [(\pi\alpha_c / 180) - \sin \alpha_c]; \\ B_p = 2R_e \sin(\alpha_c / 2) \end{cases}, \quad (6)$$

де R_e – радіус дуги ACD , м; α_c – центральний кут, який стягує дугу ACD , град.

Крім того, виразимо $\sin(\alpha_c / 2)$ та ширину русла B_p як

$$\begin{cases} \sin(\alpha_c / 2) = \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha_c}{2}}; \\ B_p = 2\sqrt{2h_c R_e - h_c^2} \end{cases}. \quad (7)$$

де h_c – висота сегмента $O_1O_4DO_1$, м.

Тоді, визначивши центральний кут $\alpha_c = \arccos \left[\left((2R_e^2 - B_p^2) / 2R_e^2 \right) \right]$

із другого рівняння залежностей (6) і першого рівняння (7) та підставивши значення α_c , B_p у перше рівняння (6), отримаємо залежність для визначення площі поперечного перерізу F_c сегмента $O_1O_4DO_1$:

$$F_c = 0,5R_e^2 \left\{ \left[\frac{\pi}{180} \arccos \left(\frac{(R_e - 2h_c)^2 - 2h_c^2}{R_e^2} \right) \right] - \left[- \sin \left[\arccos \left(\frac{(R_e - 2h_c)^2 - 2h_c^2}{R_e^2} \right) \right] \right] \right\}. \quad (8)$$

Сумарну площу секторів $\sum_i^m F_{c.e_i}$ валів шнеків визначимо через площу поперечного перерізу еліпсного вала F_{mp} шнека та коефіцієнта пропорційності k_n суми площ секторів, які утворені поперечними перерізами еліптичних валів шнеків і які займають відповідну площу в площі поперечного прохідного перерізу F_n жолоба ABO_4DO_1A , утвореного руслами шнеків, тобто:

$$\sum_{i=1}^m F_{c.e_i} = F_{mp} \sum_{i=1}^m k_{n_i}. \quad (9)$$

Значення коефіцієнта пропорційності k_n визначимо з врахуванням конструктивних особливостей очисника (рис.) та згідно із співвідношеннями рівнянь площі еліпса і площі сектора еліпса.

Площа сектора еліпса $F_{c.e} = 0,5ab \arccos(x/a)$, де a , b – відповідно велика та мала осі; x – координата хорди по осі x , відрізняється від площі еліпса $F_e = \pi ab$ [6] значенням складової $0,5\pi \arccos(x/a)$, яка в даному випадку буде адекватним коефіцієнтом пропорційності k_n , тобто:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{mp} = 0,25\pi d_a d_b; \\ F_{c.e} = 0,25 \frac{d_a d_b}{2} \arccos \frac{2x_a}{d_a} = 0,25\pi d_a d_b \frac{\pi}{2} \arccos \frac{2x_a}{d_a} = F_{mp} \frac{\pi}{2} \arccos \frac{2x_a}{d_a}; \\ k_n = \frac{\pi}{2} \arccos \frac{2x_a}{d_a}; \sum_{i=1}^m k_{n_i} = 0,5\pi \sum_{i=1}^m \arccos \frac{x_{a_i}}{d_a}; \\ \sum_{i=1}^m F_{c.e} = 0,125\pi d_a d_b \sum_{i=1}^m \arccos \frac{2x_{a_i}}{d_a} \end{array} \right. \quad (10)$$

де d_b – мала вісь, або малий діаметр еліпса вала шнека, м; x_a – координата точки перетину хорди сегмента вала шнека з віссю x , м.

Тоді, підставивши значення (5), (6), (7) і (9) у залежність (4), одержимо рівняння для визначення площі F_n :

$$F_n = D_t \sqrt{2h_c R_e - h_c^2} + 0,125 \pi d_a d_b \sum_{i=1}^n \arccos \frac{2x_{a_i}}{d_a} + 0,5 R_e^2 \left\{ \left[\frac{\pi}{180} \arccos \left(\frac{(R_e - 2h_c)^2 - 2h_c^2}{R_e^2} \right) \right] - \left[- \sin \left[\arccos \left(\frac{(R_e - 2h_c)^2 - 2h_c^2}{R_e^2} \right) \right] \right] \right\}. \quad (11)$$

Таким чином, кінцева залежність для визначення пропускної здатності очисника з врахуванням (3), (7) і (11) має вигляд:

$$\frac{dW_o}{dt} \geq \frac{k_{c.o} \rho_k \varphi_k \left(D_t \sqrt{2h_c R_e - h_c^2} + 0,125 \pi d_a d_b \sum_{i=1}^m k_{n_i} + 0,5 R_e H \right)}{2g \sqrt{2h_c R_e - h_c^2}} \frac{dW_c}{dt}, \quad (12)$$

де

$$H = \left[\frac{\pi}{180} \arccos \left(\frac{(R_e - 2h_c)^2 - 2h_c^2}{R_e^2} \right) \right] - \sin \left[\arccos \left(\frac{(R_e - 2h_c)^2 - 2h_c^2}{R_e^2} \right) \right]. \quad (13)$$

Отримана теоретична залежність (12) є розрахунковою математичною моделлю, яка характеризує взаємозв'язок необхідної пропускної здатності доочисника dW_o/dt залежно від секундної подачі вороху dW_c/dt , або від

умов і швидкості руху КМ, лінійних параметрів викопувального робочого органу та агрофізичних характеристик коренеплодів.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Таким чином, застосування наведеної математичної моделі (12) дозволяє оптимізувати конструктивно-кінематичні параметри очисних робочих органів на основі порівняльного розрахунку секундної подачі вороху коренеплодів та пропускної здатності доочисника.

Подальші дослідження будуть зосереджені на практичному втіленні даних розробок при проектуванні та виготовленні коренезбиральної техніки.

Література

1. *Погорельй Л. В.* Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз / *Л. В. Погорельй, М. В. Татьяна.* – К.: Феникс, 2004. – 232 с.

2. *Булгаков В. М.* Розрахунок основних параметрів технологічного процесу збирання буряків / *В. М. Булгаков, М. К. Лінник, О. П. Гурченко* // Зб. наук. пр. Нац. аграр. ун. Механізація сільськогосподарського виробництва. – Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин. – У, 1999. – Т. VI. – С. 220.

3. *Барановський В. М.* Конструктивно-технологічні принципи адаптованого застосування коренезбиральних машин / *В. М. Барановський, М. Р. Паньків* // Зб. наук. праць 1-ої міжнар. наук.-практ. конф. “Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин” ТДТУ. – 2004. – С. 192 – 198.

4. *Пилипець М. І.* Аналіз розрахункової продуктивності гвинтово-еліпсного очисника вороху коренеплодів / *М. І. Пилипець, М. Р. Паньків, В. М. Барановський* // Наук. вісн. НАУ. зб. наук. пр. – 2004. Вип. 73, ч. 2.– С. 102–114.

5. Патент № 7799 (Україна). Пристрій для відокремлення домішок від коренеплодів // *Барановський В. М., Паньків М. Р., Постол О. М., Барановський О. В.* Опубл. 15.07.2005. Бюл. № 7.

6. *Бронштейн И. Н.* Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / *И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев.* – М.: Наука, 1981. – 706 с.
