



УДК 631.171: 634

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ САДІННЯ ПІДЩЕП ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР АПАРАТОМ ДИСКОВОГО ТИПУ

Караєв О.Г., к.т.н.,

Чижиков І.О., інженер*

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: (0619) 42-24-36

Анотація – в статті запропоновано математичну модель оптимізації параметрів робочих органів садильного апарату дискового типу, що входить до складу секції машини для садіння підщеп плодових культур.

Ключові слова - підщепа, дисковий садильний апарат, процес садіння, фази руху підщепи.

Постановка проблеми. Інтенсифікація садівництва обумовлює подальше вдосконалення технології виробництва садивного матеріалу плодових культур. Якість саджанців плодових культур залежить не тільки від сортів, але й у значній мірі від того, наскільки якісно були висаджені підщепи у розсаднику. Садіння підщеп є однією з найбільш трудомістких операцій у технологічному процесі вирощування саджанців. Це пояснюється необхідністю розміщення на 1 гектарі від 45 до 100 тис. підщеп, які висаджуються за заданою схемою з подальшим ущільненням ґрунту біля кожної підщепи. При цьому відхилення штамба висадженої підщепи від вертикальної осі є одним із основних параметрів, який визначає отримання високоякісних саджанців [1].

В Інституті зрошуваного садівництва ім. М.Ф. Сидоренка НААН розроблено ДСТУ «Культури кісточкові. Щепи. Вимоги та методи контролю**», який встановлює основні біометричні параметри стану щеп на певних фазах їх розвитку під час вирощування щеплених саджанців. Зокрема для щеп першого року вирощування встановлене обмеження у відхиленні від вертикальної осі до 5°. Машини, які сьогодні використовуються для садіння підщеп, не забезпечують виконання такої вимоги. Тому існує потреба в розробці та вдосконаленні засобів механізації садіння підщеп [2, додаток 21], які здатні забезпечити додержання нормативних вимог до якості процесу садіння.

* Науковий керівник – к.т.н., доцент О.Г. Караєв

** Знаходиться на виданні

© к.т.н. О.Г. Караєв, інженер І.О. Чижиков

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженням процесів роботи ротаційних садильних апаратів займалися такі вчені, як Чубарин М.І., Черняк А.А., Антонов І.А., Мун В.Ф., Ткаченко А.І., Саньков С.М. та інші. Слід зазначити, що більшість авторів, розглядали процес садіння не підщеп, як матеріалу для виробництва плодкових культур, а розсади сільськогосподарських культур (томатів, перцю, капусти та ін.). Дані культури не є спорідненими і їхні параметри не взаємозамінні, тому як об'єкт дослідження ці культури треба розглядати окремо. Аналіз існуючого математичного апарату [4,7,9] показав, що аналітичні залежності не враховують динаміку переміщення підщепи у борозні під дією ґрунту після її вивільнення із захоплювача. Такі моделі не забезпечують у повній мірі процес оптимізації робочих органів секцій садильної машини, а саме їх сумісний вплив на рослину. Тому розробка математичної моделі процесу садіння підщеп, що описує спільну взаємодію робочих органів секції садильної машини з урахуванням законів як кінематики, так і динаміки є актуальною задачею.

Мета статті. Формалізація руху підщепи при її садінні дисковим апаратом шляхом розробки математичної моделі.

Основна частина. При розробці математичної моделі передбачалося урахування кінематичних і динамічних характеристик руху підщепи після її вивільнення із захоплювача, під час контакту підщепи з ґрунтом на дні борозни, а також дії на підщепу валка ґрунту, що переміщується загортачами і прикочуючими котками. В результаті моделювання отримано такі параметри робочих органів секції садильної машини, при роботі яких відхилення підщепи від вертикальної осі не перевищує 5° .

Модель розроблено відповідно до розрахункової схеми процесу садіння, яка представлена на рис. 1. При розробці моделі вжито такі умовні позначення:

h_C – відстань від коренів підщепи до центра тяжіння підщепи, м;

a – довжина кореневої частини підщепи, м;

d – відстань від коренів підщепи до місця затискання її захоплювачем, м;

h – довжина підщепи, м;

h_0 – відстань між дном борозни і нижньою точкою на диску, м;

α – кут між вертикальною віссю і радіусом на диску, який визначає точку вивільнення підщепи із захоплювача, рад;

β – кут відхилення підщепи у захоплювачі по відношенню до радіуса диска в момент її вивільнення, рад;

δ – найменший кут відхилення підщепи від вертикалі, рад;

$\gamma = \gamma(l)$ – лінійна щільність мас за довжиною, кг/м;

v_M – швидкість поступального руху машини, м/с;

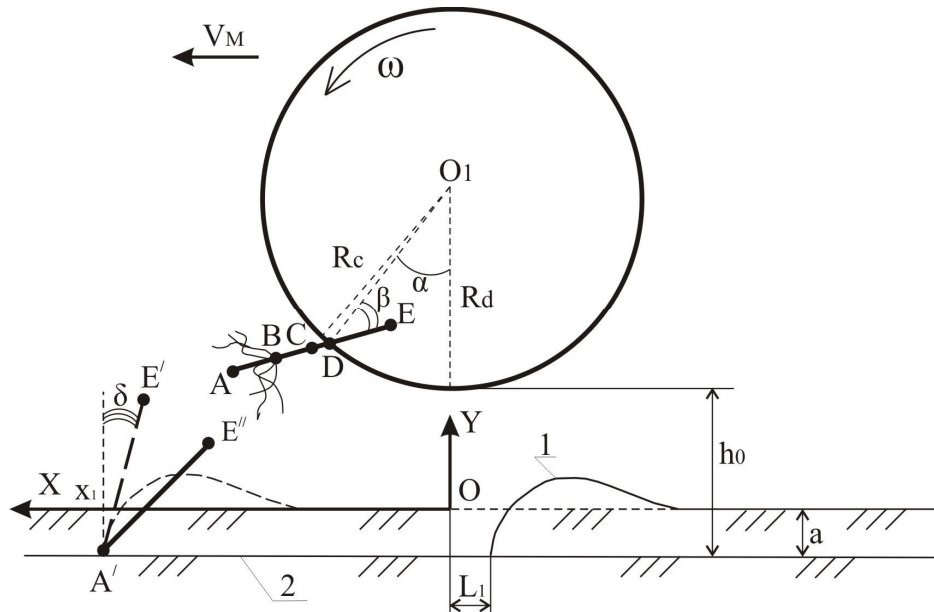


Рис. 1. Схема до виводу рівнянь математичної моделі: 1 – фронт хвилі ґрунту, який утворюється внаслідок спільної дії загортачів; 2 – дно борозни; 3 – підщепи (умовні позначення: $AB=a$; $AC=h_c$; $AD=d$; $AE=h$).

ω – кутова частота обертання диска, c^{-1} ;

M_{tr} – момент сил тертя при обертанні підщепи навколо нерухомого центра при спиранні підщепи на кореневу частину, Н·м;

R_c – радіус центра тяжіння підщепи, м;

R_d – радіус диску, м;

L_1 – відстань між переднім фронтом хвилі ґрунту, яку утворюють загортачі, і вертикаллю, що проходить через вісь обертання диска, м;

t_0 – тривалість першої фази, с;

t_1 – тривалість третьої фази, с.

Процес руху підщепи безпосередньо після вивільнення її із захоплювача умовно можна розподілити на 4 фази:

перша фаза - вільне переміщення підщепи до зіткнення з ґрунтом;

друга фаза - зіткнення з ґрунтом з частковою втратою кінетичної енергії;

третья фаза - часткове вирівнювання підщепи за рахунок остаточної кінетичної енергії;

четверта фаза - остаточно вирівнювання підщепи при загортанні і прикочуванні котками.

Для спрощення вигляду рівнянь математичної моделі введено такі позначення:

$$I_0 = \int_0^h \gamma(x) dx, \quad I_1 = \int_0^h \gamma(x) x dx, \quad I_2 = \int_0^h \gamma(x) x^2 dx, \quad (1)$$

де x – відстань від кінця кореневої системи до певної точки на підщепі;

I_0 – маса підщепи;

I_1 – статичний момент підщепи відносно кореневої системи;

I_2 – момент інерції підщепи відносно кореневої системи.

Перша фаза. У цій фазі підщепа має поступальний та обертальний рух. Поступальний рух описується залежностями координат центра тяжіння від часу:

$$x_C = R_d \sin \alpha - (h_C - d) \sin(\alpha + \beta) + (v_M - \omega R_C \cos \alpha) t,$$

$$y_C = h_0 + R_d(1 - \cos \alpha) + (h_C - d) \cos(\alpha + \beta) - \omega R_C t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2},$$

де радіус центра тяжіння R_C визначиться рівнянням

$$R_C = \sqrt{R_d^2 + (h_C - d)^2 - 2R_d(h_C - d) \cos \beta}. \quad (2)$$

Тоді, згідно з [8], відстань h_C від коренів підщепи до центра тяжіння

$$h_C = \frac{I_1}{I_0}. \quad (3)$$

Підщепа також обертається навколо центру тяжіння з кутовою частотою ω . Враховуючи те, що в кінці першої фази ($t=t_0$) коренева система торкнеться дна борозни, апліката центра тяжіння u_{C0} буде дорівнювати

$$y_{C0} = -a + h_C \cos(\alpha + \beta - \omega t_0).$$

Тоді тривалість першої фази t_0 можна визначити шляхом вирішення трансцендентного рівняння

$$h_0 + R_d(1 - \cos \alpha) + (h_C - d) \cos(\alpha + \beta) - \omega t_0 R_C \sin \alpha - \frac{gt_0^2}{2} = -a + h_C \cos(\alpha + \beta - \omega t_0). \quad (4)$$

Друга фаза. В якості допущення прийнято умову, що в момент контакту підщепи з ґрунтом зіткнення кореневої частини непружне, тому основна складова зіткнення спрямована впродовж осі підщепи, що компенсує набуту підщепою швидкість поступального руху. Але оскільки рух підщепи не компенсує моменту імпульсу обертання, тому, згідно із законом збереження моменту імпульсу відносно кутової частоти обертання ω_1 навколо нерухомої точки [5], маємо рівняння:

$$\omega_1 \int_0^h \gamma(x) x^2 dx = \omega \int_0^h \gamma(x) (x - h_C)^2 dx,$$

звідки

$$\omega_1 = \frac{\omega(I_2 - 2I_1 h_C + I_0 h_C^2)}{I_2}. \quad (5)$$

Третя фаза. Для знаходження кута δ , що характеризує відхилення підщепи від вертикальної осі в кінці третьої фази, можна скористатися законом збереження енергії, що є трансцендентним рівнянням відносно δ

$$\frac{\omega_1^2}{2} I_2 = I_0 g h_c (\cos \delta - \cos(\alpha + \beta - \omega t_0)) + M_{tr} (\delta - \alpha - \beta + \omega t_0). \quad (6)$$

Для встановлення тривалості третьої фази складемо рівняння відносно кута φ , який визначає відхилення підщепи від вертикалі

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} I_2 = m g h_c \sin \varphi + M_{tr}. \quad (7)$$

Рівняння (7) не інтегрується у квадратурах, тому для знаходження часу переміщення підщепи скористаємося схемою Рунге-Кутта [3] до диференційної задачі, що є еквівалентною рівнянню (7) з початковими умовами $\varphi(0) = \alpha + \beta - \omega t_0$, $\varphi'(0) = -\omega_1$ [6]:

$$\begin{cases} \frac{d\varphi}{dt} = \psi \\ \frac{d\psi}{dt} = \frac{m g h_c \sin \varphi + M_{tr}}{I_2} \\ \varphi(0) = \alpha + \beta - \omega t_0 \\ \psi(0) = -\omega_1. \end{cases} \quad (8)$$

При цьому для знаходження часу t_1 розрахунок за схемою потрібно вести до досягнення функцією $\varphi(t)$ значення δ

$$\varphi(t_1) = \delta. \quad (9)$$

Четверта фаза. Для узгодження дій диска і загортачів підпір підщепи ґрунтом повинен розпочинатися у момент закінчення третьої фази. Для цього необхідно виконання такої умови

$$(t_0 + t_1) v_M - L_1 - x_1 = 0, \quad (10)$$

де

$$x_1 = h_c \sin(\alpha + \beta - \omega t_0) + R_d \sin \alpha - (h_c - d) \sin(\alpha + \beta) + (v_M - \omega R_c \cos \alpha) t_0$$

Алгоритм реалізації моделі. Алгоритм обчислення кута δ і лівої частини рівняння (10) за відомими кутами α і β :

1. Обчислити інтеграли (1), визначити радіус обертання R_C та висоту центра тяжіння h_C за формулами (2) і (3).

2. Вирішити трансцендентне рівняння (4) методом дихотомії на відрізьку.

3. Визначити кутову частоту обертання підщепи у другій фазі за формулою (5).

4. Визначити фактичне значення кута δ , що характеризує відхилення підщепи від вертикальної осі в кінці третьої фази шляхом вирі-

шення трансцендентного рівняння (6) методом дихотомії на інтервалі $[0; \pi/2]$.

5. Рішенням системи диференціальних рівнянь (8) з урахуванням граничної умови (9) визначити тривалість третьої фази t_1 .

6. Визначити значення лівої частини умови підпору (10).

Алгоритм визначення параметрів, що можуть варіювати – кутів α і β з урахуванням умови (10)

$$\delta = \delta_0. \quad (11)$$

1. Задати межі варіювання параметрів $[\alpha_{\min}; \alpha_{\max}]$, $[\beta_{\min}; \beta_{\max}]$.

2. Методом подвійної дихотомії на відрізьку обчислити значення параметрів, що варіюють, таким чином, щоб виконувалися рівняння (10) і (11), використовуючи для визначення кута δ і лівої частини рівняння (10) вищенаведений алгоритм.

Програмна реалізація моделі. Обчислення значень кутів α і β виконано за наведеним алгоритмом, що реалізований у вигляді прикладної програми, розробленої за допомогою програмної оболонки Delphi. Інтерфейс програми з даними тестового прикладу представлено на рисунку 2.

Тестовий приклад. Вихідні дані: $h = 0,4$ м, $a = 0,1$ м, $\gamma = 0,025$ кг/м, $d = 0,1$ м, $h_0 = 0,15$ м, $V_M = 0,14$ м/с, $\omega = 0,556$ рад/с, $M_{tr} = 0,01$ Н·м, $R_d = 0,5$ м, $L_1 = 0,02$ м, $\delta_0 = 0,15$ рад.

За параметри, що варіюють, обрано кути α , β з інтервалами варіювання $\alpha \in [-0,1; 0,75]$, $\beta \in [0; 0,75]$.

Інтерфейс програми з даними тестового прикладу наведений на рисунку 2.

Висновки

1. Перевірка виконання умов (10) і (11) у тестовому прикладі показала, що знайдені значення кутів α і β , що характеризують положення підщепи при затисканні і у момент її вивільнення із захоплювача, забезпечують своєчасний підпір підщепи ґрунтом та рівність значення найменшого кута відхилення від вертикалі в третій фазі значенню компенсуючого кута δ_0 , при цьому модель забезпечила вирішення задачі на задовільнення умов.

2. Дана модель може забезпечити отримання значення будь-яких двох параметрів з множини кінематичних і геометричних параметрів садильного апарату таким чином, щоб виконувалися умови (10) і (11) (при прийнятому куті δ_0 , який компенсується заключними операціями – загортанням і прикочуванням).

The screenshot shows a software window titled 'Form1' with three main sections of input parameters and a results table.

Параметри щепи

- Довжина щепи, м: 0,4
- Довжина кореневої частини, м: 0,1
- Лійна щільність мас за довжиною, кг/м: 0,025

Параметри садильного апарату

- відстань від коренів підщепи до місця затискання її захоплювачем, м: 0,1
- відстань між поверхнею ґрунту і нижньою точкою на диску, м: 0,15
- швидкість поступального руху машини, м/с: 0,14
- кутова частота обертання диска, рад/с: 0,556
- момент сил тертя при обертанні підщепи навколо нерухомого центра при сплиранні підщепи на кореневу частину, Н м: 0,01
- радіус диска, м: 0,5
- відстань між переднім фронтом хвилі ґрунту, яку утворюють загортачі, і вертикаллю, що проходить через вісь обертання диска, м: 0,02
- найменший кут відхилення від вертикалі при підйомі підщепи в результаті накопиченої енергії обертання, рад: 0,15

Межі варіювання параметрів

- кут між вертикальною віссю і радіусом на диску, який визначає точку вивільнення підщепи із затискувача, рад: від 0,1 до 0,75
- кут відхилення підщепи у затискувачі по відношенню до радіуса диска в момент її вивільнення, рад: від 0 до 0,75

Результати обчислень:

| Розрахувати | Delta, град | Alpha, град | Beta, град |
|-------------|-------------|-------------|------------|
| | 8,6034 | 1,6793 | 12,418 |

Рис. 2. Інтерфейс програми з даними тестового прикладу (результати обчислень: $\delta = 8,6$ град, $\alpha = 1,7$ град, $\beta = 12,4$ град).

3. Модель можна використовувати з метою багатокритеріальної оптимізації кінематичних і геометричних параметрів, де за критерії можуть бути прийняті:

- мінімізація швидкості переміщення підщепи з метою зниження її травмування;
- мінімізація відстані між вертикальною віссю диска і загортачами;
- мінімізація радіуса диска.

4. Для застосування моделі з метою сумісної оптимізації параметрів необхідно визначити значення моменту сил тертя M_{tr} при обертанні підщепи у третій фазі, координати фронту хвилі від поєднаної дії загортачів L_1 та значення компенсуючого кута δ_0 .

Література.

1. Выращивание плодовых саженцев в южной степи Украины: кол. монограф. / [Сенин В.И., Рудьев В.А., Расторгуев А.Б. и др.]; под ред. Сенина В.И.. – Мелитополь.: Изд-во «Мелитополь» – 2005.– 70 с.
2. Галузева програма розвитку садівництва України на період до 2025року./ Наказ м-ва аграр. політики України від 28.08.08. – К., 2008.-76 с.

3. *Калиткин Н. Н.* Численные методы / *Н. Н. Калиткин.* – М.: Наука, 1978. – 512 с.
4. *Саньков С.М.* Обоснование параметров рабочих органов секции машины для посадки зимних прививок плодовых культур: дис. канд. техн. наук: 05.20.01./ *Саньков Сергей Михайлович.* – Мелітополь, 1995. – 185 с.
5. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики / *Д.В. Сивухин .* – М.: Наука, 1979. – Т. I: Механика. – 520 с.
6. *Степанов В. В.* Курс дифференциальных уравнений / *В. В. Степанов.* – М.: Физматгиз, 1959. – 468с.
7. *Ткаченко А.И.* К аналитическому обоснованию технологического процесса посадки растений рассадопосадочным агрегатом / *А.И. Ткаченко, И.А. Ткаченко* // Улучшение использования машинно-тракторного парка и фермерского оборудования: Труды Кубанского СХИ / Кубанский СХИ. – Краснодар, 1980. – Вып. 185. – С.47-54.
8. *Фихтенгольц Г.М.* Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т.2 / *Г.М. Фихтенгольц.* – М.: Наука, 1966. – 800с.
9. *Чубарин М.И.* Рассадопосадочные машины / *М.И. Чубарин.* – М.: Машиностроение, 1972. – 209с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОСАДКИ ПОДВОЕВ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР АППАРАТОМ ДИСКОВОГО ТИПА

Караев А.И., Чижиков И.А.

Аннотация - предложена математическая модель оптимизации параметров рабочих органов посадочного аппарата дискового типа, который входит в состав секции машины для посадки подвоев плодовых культур.

MATHEMATICAL MODEL OF PROCESS OF PLANTING OF ROOTSTOCKS OF FRUIT CROPS BY THE DISK- TYPE DEVICE

A. Karaev, I. Chizikov

Summary

For optimization of working tools of section of planting machine, the mathematical model has been proposed. In addition, algorithm of definition of parameters of the disk-type planting device has been devised.