

*Results of rather methodical provisions of description of mathematical model of ensuring frequency of maintenance of machinery for timber works are presented in paper.*

***Means, maintenance, frequency, mashine.***

УДК 631.3+531.2

## **СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНЕРЦІЇ ОРГАНІВ РОСЛИН СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР**

***І.О. Чижиков, кандидат технічних наук  
Таверійський державний агротехнологічний університет***

*В статті запропоновано спосіб визначення параметрів інерції органів рослин сільськогосподарських культур за рахунок розподілу їх лінійної щільності. Наведено аналітичну та експериментальну частини способу. Визначені параметри інерції різних видів підщеп плодкових культур.*

***Маса, статичний момент, момент інерції, лінійна щільність.***

**Постановка проблеми.** Одні з основних параметрів, які необхідно враховувати при розробці математичних моделей процесів, пов'язаних з садінням або викопуванням рослин сільськогосподарських культур (цукрового буряка, картоплі, розсади томатів, підщеп, саджанців і ін.) – це їх маса, статичний момент і момент інерції. Для моделювання таких об'єктів, вихідні залежності знаходять із фізичних, біологічних і інших закономірностей, які описують їх функціонування. У нашому випадку це переміщення органів рослин із вихідного положення у задане. Підвищити точність моделювання процесів переміщення в просторі органів рослин, що мають різноманітні форми та неоднорідну структуру можливо шляхом розрахунків параметрів їх інерції з урахуванням лінійної щільності, а одержання таких залежностей є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень.** Існуючі дослідження, у яких описані аналітичні методи визначення параметрів інерції простих і складних тіл можна застосовувати в основному при розрахунках і проектуванні деталей механізмів і машин [1, 2]. При визначенні параметрів інерції органів рослин сільськогосподарських культур, можна застосовувати спосіб фізичного маятника [3]. Так, у роботі [4] момент

© І.О. Чижиков, 2015

інерції розсади томатів визначався методом коливань. Для цього визначалася вага розсади та відстань від центру ваги до кореневої системи рослини. Далі рослина підвішувалася кореневою частиною за нить певної довжини, відхилялася від вертикалі на заданий кут і відпускалася. У такий спосіб визначався період коливань і розраховувався шуканий момент інерції. У роботі [5], при обґрунтуванні параметрів робочих органів бурякозбиральної машини запропоновано теоретичний спосіб визначення моменту інерції коренеплоду цукрового буряка щодо власних осей. При цьому необхідно враховувати масу та довжину конусної частини коренеплодів у вибірці.

Якщо тіло однорідне, то теоретично точно обчислити його момент інерції можливо, представивши тіло як межу суми нескінченно великої кількості добутоків нескінченно малих елементів маси  $dm$  на квадрат їх відстані від осі [1]. У цьому випадку визначення моменту інерції тіла зводиться до обчислення об'ємного інтеграла:

$$J = \int_m r^2 dm = \int_V \rho r^2 dV, \quad (1)$$

де:  $dm = \rho dV$  – маса малого елемента обсягу тіла  $dV$ ;

$\rho$  – щільність тіла;

$r$  – відстань від елемента тіла  $dV$  до осі.

Точно розрахувати момент інерції органів рослин по формулі (1) складно, тому що реальні тіла не мають правильної геометричної форми та однорідної структури. Для того, щоб врахувати неоднорідність структури органів рослини, при визначенні його параметрів інерції, доцільно застосувати зміну його лінійної щільності, яка показує розподіл маси тіла по його довжині.

**Мета досліджень.** Розробити спосіб визначення параметрів інерції органів рослин сільськогосподарських культур засовував інформацію про розподіл їх лінійної щільності.

**Результати досліджень.** Схеми розподілу лінійної щільності органів рослин різних форм представлені на рис. 1:  $A$  – умовна точка початку рослини;  $B$  – умовна точка кінця рослини;  $O$  – центр ваги рослини;  $L$  – загальна довжина рослини;  $L_{ЦТ}$  – відстань до центру ваги;  $x$  – поточна точка на поздовжній осі перетину рослини;  $\gamma(x)$  – лінійна щільність рослини.

Тоді масу, статичний момент і момент інерції органу рослини відносно т.А можна визначити по формулах [1]:

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

де:  $x$  – поточна точка на поздовжній осі перетину рослини (рис. 1);

$I_0$  – маса рослини, кг;

$I_1$  – статичний момент рослини відносно т. А, м<sup>3</sup>;

$I_2$  – момент інерції рослини відносно т.  $A$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;  
 $\gamma = \gamma(l)$  – лінійна щільність рослини,  $\text{кг}/\text{м}$ .

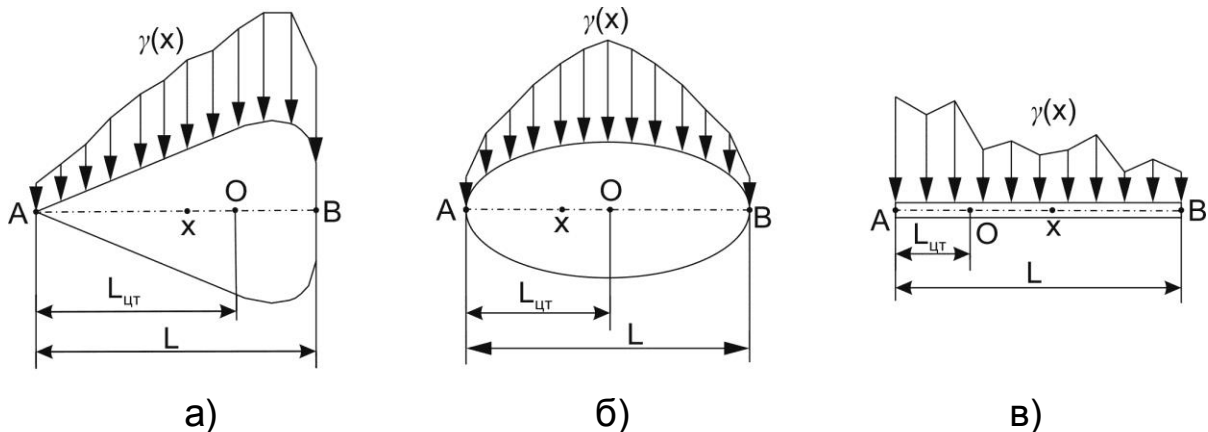


Рис. 1. Схеми лінійної щільності органів рослин різних форм: а) конусної (коренеплід цукрового буряка); б) еліпса (коренеплід картоплі); в) циліндричної (розсада томатів, підщепа або саджанець плодової культури).

Для того щоб визначити, як розподілена щільність рослини по його довжині, у лабораторних умовах необхідно [6]:

- 1) сформуванати вибірку досліджуваних органів рослин;
- 2) визначити загальну довжину  $L$  кожної рослини;
- 3) фізично розділити кожну рослину на  $n_i$  частин, довжиною  $l_i$  рівною 20–25 мм (рис. 2);

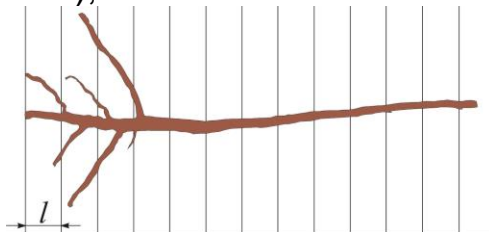


Рис. 2. Схема розділення підщепи на частині:  $l$  – довжина відокремленої частини підщепи.

- 4) визначити масу  $m_i$  кожної відокремленої частини рослини. Значення параметрів відокремлених частин рослини можна представити у вигляді табл. 1.

Значення лінійної щільності для кожного із відокремлених частин розраховується по формулі:

$$\gamma_i = \frac{m_i}{l_i}, \quad (3)$$

де:  $\gamma_i$  – лінійна щільність відокремленої частини рослини,  $\text{кг}/\text{м}$ ;

$m_i$  – маса відокремленої частини рослини,  $\text{кг}$ ;

$l_i$  – довжина відокремленої частини рослини,  $\text{м}$ .

### 1. Значення параметрів відділених частин органів рослини.

Номер частини, $n$	Довжина $l$ , м	Маса $m$ , кг	Лінійна щільність $\gamma_i$ , кг/м
1	$l_1$	$m_1$	$\gamma_1$
2	$l_2$	$m_2$	$\gamma_2$
...	...	...	...
$n$	$l_n$	$m_n$	$\gamma_n$

Однак лінійна щільність відокремленої частини рослини, розрахована по формулі (2) не відображає залежності її зміни по всій довжині рослини.

Для того, щоб визначити зміну лінійної щільності по всій довжині рослини, необхідно задатися її значенням у вигляді функції  $\gamma^{(i)}(x)$ , де  $x$  – поточна точка по поздовжній осі рослини (рис. 1). Ця функція відображає лінійну щільність  $j$ -ї рослини по довжині відрізка від точки  $A$ , аргументом якого є співвідношення  $Ax/L$ .

Скориставшись даними табл. 1, можливо задати дану функцію в точках:  $(l_{1/2})/L; (l_1+l_{2/2})/L; (l_1+l_2+l_{3/2})/L$  і т.д. таким чином, що функцію  $\gamma^{(i)}(x)$  можна вважати рівної значенням (3) на першому, другому та наступних відрізках (відокремлених частинах).

Визначити значення функції  $\gamma^{(i)}(x)$  в проміжних точках можна за допомогою лінійної інтерполяції [7].

Згідно цього способу, якщо  $f_0, f_1$  – значення функції  $f(x)$  у точках  $x_0, x_1$ , то значення функції в інших точках визначиться формулою:

$$f(x) = \frac{1}{x_1 - x_0} \begin{vmatrix} x - x_0 & f_0 \\ x - x_1 & f_1 \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Скориставшись формулою (4), задамо функцію  $\gamma^{(i)}(x)$  у виді:

$$\gamma^{(i)}(x) = \begin{cases} \frac{2L}{l_1 + l_2} (\gamma_2 (x - \frac{l_1}{2L}) - \gamma_1 (x - \frac{l_2}{2L} - \frac{l_1}{L})), \\ \text{якщо } x < \frac{l_2}{2L} + \frac{l_1}{L} \\ \frac{2L}{l_j + l_{j+1}} (\gamma_{j+1} (x - \frac{l_j}{2L} - \frac{1}{L} \sum_{k=1}^{j-1} l_k) - \gamma_j (x - \frac{l_{j+1}}{2L} - \frac{1}{L} \sum_{k=1}^j l_k)), \\ \text{якщо } \frac{l_j}{2L} + \frac{1}{L} \sum_{k=1}^{j-1} l_k < x < \frac{l_{j+1}}{2L} + \frac{1}{L} \sum_{k=1}^j l_k \\ \frac{2L}{l_n + l_{n-1}} (\gamma_n (x - \frac{l_{n-1}}{2L} - \frac{1}{L} \sum_{k=1}^{n-2} l_k) - \gamma_{n-1} (x - \frac{l_n}{2L} - \frac{1}{L} \sum_{k=1}^{n-1} l_k)), \\ \text{якщо } x > \frac{l_{n-1}}{2L} + \frac{1}{L} \sum_{k=1}^{n-2} l_k \end{cases} \quad (5)$$

Для визначення середнього арифметичного значення лінійної щільності, яке в цьому випадку буде детермінованою складовою функцією  $\gamma^{(i)}(x)$  по відносній довжині рослини, скористаємося формулою:

$$\gamma_{cp}(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \gamma^{(i)}(x). \quad (6)$$

Відхиленням від середнього значення (середньоквадратичне відхилення) для кожної функції будемо вважати стохастичною складовою, яка розраховується по формулі:

$$\sigma(x) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\gamma^{(i)}(x) - \gamma_{cp}(x))^2}. \quad (7)$$

Запропонований спосіб був застосований при визначенні параметрів інерції підщеп плодових культур. Для дослідження було відібрано два види підщеп: зерняткових - яблуні М9 і кісточкових – черешні. Були сформовані вибірки по 50 штук підщеп кожного виду в таких діапазонах довжин: для яблуні М9 – від 400 до 540 мм, черешні – від 450 до 550 мм. Визначено довжини  $L$  кожної підщепи у вибірці, а також довжини  $l_i$  (рис. 2) відділених частин, і їх мас  $m_i$ . Скориставшись формулою (4) за допомогою програмної оболонки Delphi 7 визначено розподіл лінійної щільності зерняткових та кісточкових видів підщеп, графіки яких представлені на рис. 3.

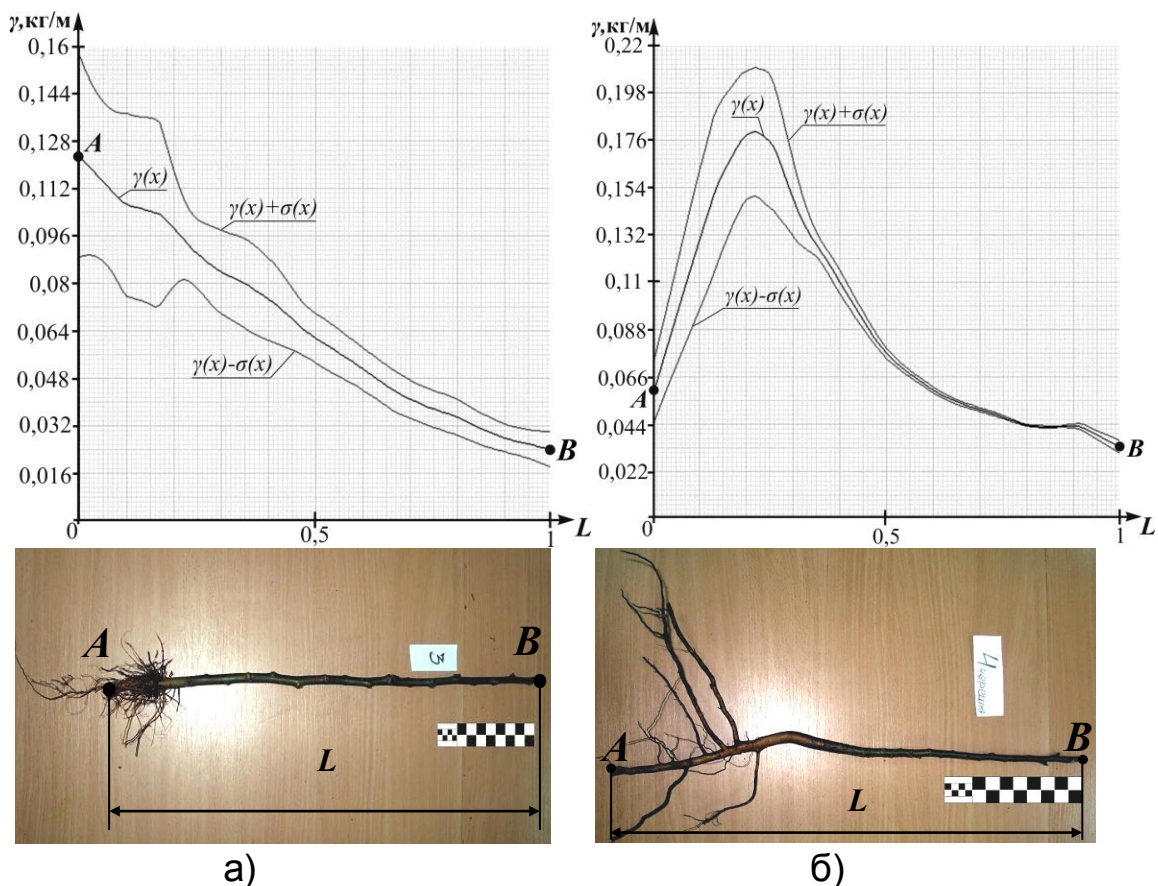


Рис. 3. Лінійна щільність підщеп: а) яблуні М9; б) черешні.

Аналізуючи дані залежності, можна зробити висновок про те, що розподіл лінійної щільності залежить від виду підщеп. Для зерняткових підщеп (рис. 3,а) щільність плавно зменшується від основи кореня (т.А – 0,122 кг/м) до вершини підщепи (т.В – 0,022 кг/м). Для кісточкових підщеп розподіл інший (рис. 3,б). Значення щільності збільшується від кореневої частини (т.А – 0,06 кг/м) до центру ваги, де набуває найбільшого значення – 0,18 кг/м, а далі зменшується до вершини підщепи (т.В – 0,03 кг/м).

Далі по формулах (1) розраховувалась маса, статичний момент і момент інерції підщеп щодо кореневої частини, граничні значення яких наведено у табл. 2.

## 2. Параметри інерції підщеп плодових культур.

Вид підщеп	Маса, кг		Статичний момент, м <sup>3</sup>		Момент інерції, кг·м <sup>2</sup>	
	min	max	min	max	min	max
Яблуня М9	$23 \cdot 10^{-3}$	$43 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$16 \cdot 10^{-4}$
Черешня	$36 \cdot 10^{-3}$	$59 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	$21 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$71 \cdot 10^{-4}$

Отримані дані використані при розробці математичної моделі процесу садіння підщеп плодових культур апаратом дискового типу [8]. Модель мала імовірнісний характер при обчисленні якої була необхідна інформація про змінну масу, статичний момент та момент інерції підщеп.

**Висновок.** Запропонований спосіб визначення параметрів інерції органів рослин сільськогосподарських культур за допомогою розподілу їх лінійної щільності може бути застосований при розробці математичних моделей процесів, пов'язаних з переміщенням у просторі органів рослин різних сільськогосподарських культур при їх садінні або викопуванні.

## Список літератури

1. Гернет М.М. Определение моментов инерции / М.М. Гернет, В.Ф. Ратобильский. – М.: Машиностроение, 1969. – 246 с.
2. Фаворин М.Ф. Моменты инерции тел. Справочник / М.Ф. Фаворин, М.М. Гернет ; под. ред. М.М. Гернета. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1977. – 511 с.
3. А.с. 1293503 СССР, МПК<sup>5</sup> G01M1/10. Способ определения момента инерции изделия методом физического маятника / В.А. Мещеряков, А.П. Прудников (СССР). – № 3958284/25-28 : заявл. 01.10.85 : опубл. 28.02.87, Бюл. №8.
4. Мун В.Ф. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы посадочных аппаратов рассадопосадочных машин : дис... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.Ф. Мун. – Алма-Ата, 1984. – 183 с.
5. Туник И.Г. Разработка и обоснование параметров доочистительных транспортеров свеклоуборочных машин : автореф. дис...канд.техн. наук: 05.05.11/ И.Г. Туник. – Луцк, 2000. – 16 с.

6. Караєв О.Г. Визначення розподілу лінійної щільності мас підщеп плодових культур по довжині / О.Г. Караєв, І.О. Чижиков, В.В. Кузьмінов // Праці ТДАТУ. - Мелітополь, 2011. – Вип. 11, т. 5. – С. 149–154.
7. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л.З. Румшинский. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
8. Чижиков І.О. Модель оптимізації процесу садіння підщеп плодових культур садильним апаратом дискового типу / І.О. Чижиков // Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві. – Запоріжжя, 2012. – Вип. 1(9). – С. 83–96.

*В статтє предложєн способ определєния параметров инерции растений сельскохозяйственных культур за счет распределєния их линейной плотности. Приведєна аналитическая и экспериментальная части способа. Определєны параметры инерции различных видов подвоев плодовых культур.*

***Масса, статический момент, момент инерции, линейная плотность.***

*The method for defining the plants inertia parameters of crops plants at the expense of their linear density distribution has been proposed. The analytical and experimental parts of mode have been given. The inertia parameters of various fruit crops stock types have been defined.*

***Mass, static moment, inertia moment, linear density.***