

УДК 631.355.072.1

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНЕРЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ**

*Д.В.Кузенко, кандидат технічних наук, доцент*

*Д.В.Кучерук, магістрант*

*Миколаївський державний аграрний університет*

*Проведено теоретичний і експериментальний аналіз інерційних властивостей качанів. Виведені формули і складена на їх основі програма спрощують розрахунок.*

*Проведен теоретический и экспериментальный анализ инерционных свойств початков кукурузы. Выведенные формулы и составленная на их основе программа упрощают расчет инерционных характеристик исследуемой культуры.*

Збирання кукурудзи на зерно є трудомістким процесом, який потребує великих затрат енергії в обмежений агротехнічними вимогами період. Даний технологічний процес також характеризується складністю і неоднорідністю технологічних операцій, з яких він складається (відсутність простого лінійного окремо визначеного зв'язку, який би пов'язував дані технологічні операції), на відміну від зернозбиральних машин. Тому пошук нових технічних засобів для збирання кукурудзи і модернізація окремих робочих органів вже існуючих збиральних агрегатів є актуальною проблемою сучасного сільськогосподарського виробництва.

Одним з основних робочих органів кукурудзозбиральних комбайнів, що відповідає за повноту збирання і якість кінцевого продукту є качановідокремлювальний апарат. Аналіз літературних джерел і відповідних технічних видань показав, що основним недоліком існуючих на сьогоднішній день апаратів є використання однофакторної дії механічних елементів на систему “качан-стебло”, тобто в процесі протягування вальцями стебла, руйнування зв'язків відбувається в результаті дії однієї сили — сили розриву.

У результаті проведеного цілого ряду пошукових робіт з метою інтенсифікації даного технологічного процесу нами запропоновано використання відокремлюючого апарату багатфакторної дії на систему “качан-стебло” (кручення, різання, згинання та ін.), зокрема дія вібрації [1].

З огляду на це, а також враховуючи, що качан представляє собою складну систему з різними інерційними характеристиками її елементів (обгортки і стрижня качана), відповідно і з різними параметрами власної частоти і амплітуди коливань, особливу увагу слід приділити визначенню інерційних властивостей даної системи, як основу для подальшого теоретичного моделювання і практичного впровадження принципової конструкції качановідокремлювального апарату.

Фізико-механічні властивості кукурудзи і качанів вивчені в багатьох наукових роботах [2, 3]. Досліджувались розмірно-масові характеристики, зусилля руйнування та пошкоджень елементів рослин.

Інерційні властивості качанів вивчались Карпушою П.П. [4] з метою визначення граничної швидкості протягування стебел. Зокрема ним запропоновано вираз для визначення моменту інерції качана:

$$I_M = \int_0^l \frac{F_0 \cdot \rho}{g} \cdot \left( 3 \cdot \frac{z}{l} - 3 \cdot \frac{z^2}{l^2} + \frac{z^3}{l^3} \right) \cdot (z + r)^2 \cdot dz \quad (1)$$

Тут прийняті позначення: висота перерізу ( $z$ ), радіус скруглення основи ( $r$ ), питома вага качана ( $\rho$ ), площа перерізу при основі ( $F_0$ ).

У приведеному виразі використовується рівняння, що описує твірну поверхні качана, але, враховуючи значну неоднорідність форм різних сортів качанів, особливо їх гібридів, дана формула визначає лише окремий випадок.

Іншими авторами інерційні характеристики качанів не вивчались. Тому, виходячи з важливості даної проблеми, а також враховуючи те, що останніми роками селекціонерами виведено ряд нових сортів і гібридів кукурудзи, метою даної роботи є розробка методики та дослідження інерційних характеристик качанів кукурудзи з використанням сучасних комп'ютерних технологій.

Для досягнення поставленої мети в дослідженнях використовувались результати експериментальних досліджень та методика аналітичних розрахунків, що дало можливість провести порівняльну оцінку результатів.

Експериментальні дослідження проводились на базі сорту кукурудзи "Одеська-210", в результаті чого визначено основні розмірно-масові параметри, значення яких зведено до табл.1. Повторюваність вимірювань складала 100.

Таблиця 1

Дані отримані експериментальним методом

№	$d_e$ , мм	$h_n$ , см	$n_k$	$l_n$ , мм	$a$	$l_k$ , мм	Діаметр качана через 3 см									$M$ , гр	$m_l$ , гр	$l_q$ , мм
							$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$	$d_8$	$d_9$			
1	20	45	2	90	40	190	36	44	45	44	43	40	39			280	240	95
2	19	88	1	35	145	240	48	52	51	50	50	47	41			455	410	105
3	28	63	1	135	20	270	45	56	53	52	49	48	46	43	30	585	450	120
4	24	90	1	67	25	250	43	52	51	50	47	46	45	23		410	360	100
$i$	$d_{ei}$	$h_{ni}$	$n_{ki}$	$l_{ni}$	$a_i$	$l_{ki}$	$d_{1i}$	$d_{2i}$	$d_{3i}$	$d_{4i}$	$d_{5i}$	$d_{6i}$	$d_{7i}$	$d_{8i}$	$d_{9i}$	$M_i$	$m_{li}$	$l_{qi}$

Де:  $d_e$  – діаметр стебла;  $\alpha$  – кут нахилу качана;  
 $h_p$  – висота кріплення качана;  $l_k$  – довжина качана;  
 $n_k$  – кількість качанів;  $l_p$  – довжина плодоніжки;  
 $M$  – маса качана;  $m_1$  – маса стрижня (очищеного качана);  
 $l_c$  – центр ваги качана;  $d_1, d_2, \dots$  – діаметри качанів

На початковій стадії аналітичних розрахунків для швидкого, але наближеного визначення інерційних характеристик качанів (складних тіл, що мають одну вісь симетрії і дуже широкий діапазон змінення форми) використовуємо метод апроксимації [5]. При цьому складові елементи, на які розбивається качан (складне тіло обертання), залежно від їх конфігурацій і необхідної точності апроксимуємо тілами простої геометричної форми наступним чином:

- 1) циліндричні елементи однакової висоти, взяті по більшому радіусу;
- 2) циліндричні елементи однакової висоти, взяті по середньому радіусу;
- 3) на усічені конуси і кінцевий конус однакової висоти.

За першим способом апроксимації, при якому качан розбивається площинами, перпендикулярними до осі симетрії, на прості геометричні тіла обертання з однаковою висотою  $h_j$ . Кожен елемент представляємо у вигляді суцільного циліндра (Рис.1), радіус якого  $R_i$  дорівнює радіусу більшої основи елемента. В цьому випадку отримуємо трохи завищені результати.

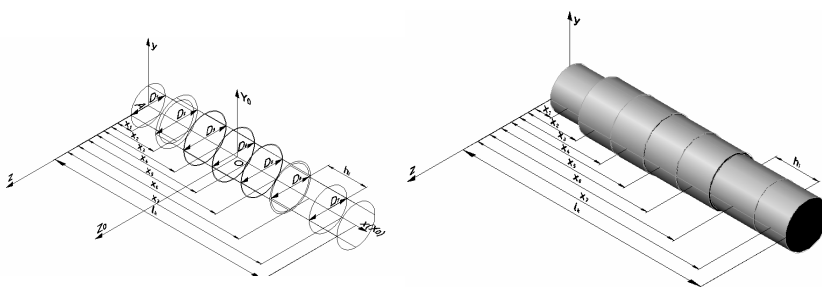


Рис.1. Апроксимація качана елементарними тілами циліндричної форми

Для скорочення часу на аналітичні розрахунки використовуємо ефективні засоби автоматизації. На базі “Microsoft Excel” створена Вісник аграрної науки Причорномор'я, 

---

 Випуск 4, 2005

програма, за допомогою якої визначаються основні інерційні властивості качанів (дається характеристика геометрії мас). Результати розрахунків наведено в табл.2.

Таблиця 2

Результати розрахунків за методом циліндрів-1 (MAX радіуси)

№ елем.	$D_i$	$R_i$	$h_i$	$V_i, \text{см}^3$	$x_{0i}, \text{см}$	$S_{xi}, \text{см}^4$	$V_i \cdot x_{0i}^2$	$I_{(Z_0 O X_0)_i}^V$
	мм	см					см <sup>5</sup>	
0	1	2	3	4	5	6	7	8
Експериментальним сп-ом				$\pi \cdot 2^2 \cdot 3$		4×5	5×6	$0.25 \times 2^2 \times 4$
1	36	1,8	3	30,52	1,5	45,78	68,67	24,7218
2	44	2,2	3	45,59	4,5	205,2	923,3	55,1673
3	45	2,25	3	47,69	7,5	357,7	2682	60,3561
4	44	2,2	3	45,59	10,5	478,7	5027	55,1673
5	43	2,15	3	43,54	13,5	587,8	7936	50,3205
6	40	2	3	37,68	16,5	621,7	10258	37,68
7	39	1,95	1	11,94	18,5	220,9	4086	11,3503
8	39	1,95	0	0	0	0	0	0
9		0	0	0	0	0	0	0
10		0	0	0	0	0	0	0
11		0	0	0	0	0	0	0
Сума (S)				262,56		2518	30982	294,763

Тут:

$V_i, V$  – об'єми  $i$ -ї ділянки (циліндра) і всього качана;

$x_{0i}$  – центр ваги  $i$ -ї ділянки відносно крапки закріплення (А) качана;

$S_{xi}, S_x$  – статичні моменти  $i$ -ї ділянки і всього тіла відносно площини  $YAZ$

$$S_{xi} = V_i \cdot x_{0i}, \quad (2)$$

$$\text{де } S_x = \sum_{i=1}^n S_{xi}; \quad (3)$$

$I_{(Z_0 O X_0)_i}^V, I_{(X_0 O Y_0)_i}^V$  – моменти інерції  $i$ -го елемента по об'єму тіла відносно головних центральних площин  $Z_0 O X_0$  і

$X_0OY_0$ . Причому момент інерції об'єму відносно головних центральних площин  $Z_0OX_0$  і  $X_0OY_0$  дорівнює:

$$\begin{aligned} I_{Z_0OX_0}^V &= I_{X_0OY_0}^V = \sum_{i=1}^n I_{(Z_0OX_0)_i}^V = \\ &= \sum_{i=1}^n I_{(X_0OY_0)_i}^V = \sum_{i=1}^n \frac{1}{4} \cdot R_i^2 \cdot V_i. \end{aligned} \quad (4)$$

Визначаємо координату центра ваги тіла  $x_0$ , в результаті ділення статичного моменту тіла на його об'єм:

$$x_0 = \frac{S_x}{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot x_{O_i}}{\sum_{i=1}^n V_i}. \quad (5)$$

Виходячи з отриманих табличних вихідних даних, і враховуючи, що качан розбито на циліндри однакової висоти  $h$  (за винятком останнього циліндра, де можливе коливання розмірів висоти від 0 до  $h$ ), розраховуємо моменти інерції об'єму качана відносно головних центральних вісей.

1. Відносно  $X_0X_0$  (враховуючи, що вісь  $X_0X_0$  одночасно є вісю симетрії):

$$\begin{aligned} I_{X_0X_0}^V &= \sum_{i=1}^n \left\{ I_{(Z_0OX_0)_i}^V + I_{(X_0OY_0)_i}^V \right\} = \\ &= 2 \sum_{i=1}^n I_{(Z_0OX_0)_i}^V = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n R_i^2 \cdot V_i. \end{aligned} \quad (6)$$

2. Відносно  $Y_0Y_0$  (причому  $I_{Y_0Y_0}^V = I_{Z_0Z_0}^V$ ):

$$I_{Y_0Y_0}^V = I_{Z_0Z_0}^V = \frac{1}{12} \cdot \sum_{i=1}^n V_i \cdot h_i +$$

$$+ \sum_{i=1}^n \left[ V_i \cdot x_{0i}^2 + I_{(Z_0OX_0)_i}^V \right] - V \cdot x_0^2. \quad (7)$$

Звідки отримуємо:

$$I_{Y_0Y_0}^V = I_{Z_0Z_0}^V = \frac{1}{12} \cdot \sum_{i=1}^n V_i \cdot h_i +$$

$$+ \sum_{i=1}^n \left[ V_i \cdot x_{0i}^2 + \frac{1}{4} \cdot R_i^2 \cdot V_i \right] - V \cdot \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot x_{0i}}{\sum_{i=1}^n V_i}. \quad (8)$$

Таким чином, отримані характеристики з виразів (5), (6), (7) і (8) в достатній мірі визначають інерційні властивості качанів. Тобто за допомогою отриманих вище даних можна визначити моменти інерції відносно будь-якої точки, використовуючи при цьому стандартні формули паралельного переносу і повороту на певний кут моментів інерції.

Вище згадувана комп'ютерна програма в основі своєї архітектури має приведені залежності (5), (6), (7) і (8) і дає можливість визначити моменти інерції в будь-якій точці. Дану програму можна використовувати і в подальших розрахунках, складаючи при цьому додаткові підпрограми з метою отримання певного кінцевого результату.

За другим методом апроксимації, де циліндричні елементи однакової висоти  $h$  взяті по середньому радіусу  $R_{сер}$ , що дорівнює:

$$R_{сер} = \frac{R_i + R_{i+1}}{2}, \quad (9)$$

Методика розрахунку однакова.

$R_i, R_i + 1$  — попередній і наступний радіуси, починаючи від основи качана.

Отримані результати наведено в табл.3.

Таблиця 3

Результати розрахунків за методом циліндрів-2 (Середні радіуси)

№ елем.	$D_i$	$R_i$	$h_i$	$V_i, \text{см}^3$	$x_{0i}, \text{см}$	$S_{xi}, \text{см}^4$	$V_i \cdot x_{0i}^2 \cdot I_{(Z_0 O X_0)_i}^V$	
	мм	см					см <sup>3</sup>	
0	1	2	3	4	5	6	7	8
Експериментальним сп-ом						4×5	5×6	0.25×2 <sup>2</sup> ×4
1	36	1,8	3	30,52	1,5	45,78	68,67	24,7218
2	44	2,2	3	45,59	4,5	205,2	923,3	55,1673
3	45	2,25	3	47,69	7,5	357,7	2682	60,3561
4	44	2,2	3	45,59	10,5	478,7	5027	55,1673
5	43	2,15	3	43,54	13,5	587,8	7936	50,3205

Третій метод апроксимації (усічених конусів) дещо відрізняється від попередніх двох — це насамперед використання іншої форми в якості елементарного тіла (усіченого конуса). Але основна архітектура побудови комп'ютерної програми обробки даних залишається аналогічною попередній.

Результати за третім методом розрахунків інерційних властивостей наведено в табл.4.

Отримані вихідні дані також відрізняються від даних попередніх двох методів. Для підвищення точності отриманих результатів складаємо порівняльну таблицю основних показників всіх трьох теоретичних методик (методу циліндрів по МАХ радіусу, методу циліндрів по середньому радіусу і методу усічених конусів), а також частково експериментального методу (центр ваги).

За основні показники порівняльної оцінки (табл.5) беремо: об'єм ( $V$ ), центр ваги ( $x_0$ ) та головні моменти інерції ( $I_{Y_0 Y_0}^V$  і  $I_{X_0 X_0}^V$ ); а за основу порівняння — частково експериментальні показники та показники методики розрахунку по МАХ радіусу.



Таблиця 4

## Результати розрахунків за методом усічених конусів

№ елем.	$D_i$	$R_i$	$h_i$	$V_i, \text{см}^3$	$x_{0i}, \text{см}$	$S_{xi}, \text{см}^4$	$V_i \cdot x_{0i}^2$	$I_{(z_0 ox_0)_i}^V$
	мм	см					см <sup>5</sup>	
0	1	2	3	4	5	6	7	8
Експериментальним сп-ом						4×5	5×6	0.25×2 <sup>2</sup> ×4
1	36	1,8	3	37,81	1,6	60,48	96,74	30,62
2	44	2,2	3	46,64	4,511	210,4	949,1	56,43
3	45	2,25	3	46,64	7,489	349,3	2615	59,02
4	44	2,2	3	44,56	10,49	467,4	4902	53,92
5	43	2,15	3	40,58	13,46	546,3	7356	46,89
6	40	2	3	36,75	16,49	605,8	9989	36,75
7	39	1,95	1	11,94	18,5	220,9	4086	11,35
8	39	1,95	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
Сума				264,91		2461	29995	295

Таблиця 5

## Результати і відносні похибки при різних методах розрахунку

№ в розрах.	Об'єм		Центр ваги		Моменти інерції			
	V	$\Delta V, \%$	$x_0$	$\Delta x_0, \%$	$I_{xx}$	$\Delta I_{xx}, \%$	$I_{yy}$	$\Delta I_{yy}, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
експерим	263,9		9,4					
-1	262,6	-0,5	9,6	2,0	589,5		7329,0	
-2	264,8	0,3	9,3	-1,2	593,3	0,6	7708,0	5,2
-3	264,9	0,4	9,3	-1,2	590,0	0,1	7633,0	4,1

Як бачимо з даних табл.5, відносні похибки при розрахунках складають менше 5%, при цьому найбільш наближеними даними до всіх інших є дані, отримані методом апроксимації усіченими конусами. Тому нами пропонується використання вище наведеної програми в розрахунках інерційних властивостей не тільки качанів, але і інших культур, що мають одну вісь симетрії (буряки, морква, цибуля та інші).

Вище наведені формули і складена на їх основі програма спрощують розрахунок, зменшуючи при цьому витрати часу на

проведення розрахункових операцій, а також дають вичерпну відповідь щодо основних інерційних характеристик досліджуваної культури.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кузенко Д.В. Сучасний стан та напрямки технологічного вдосконалення вітчизняних кукурудзозбиральних машин //Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип.2. – 2001. – С43-47.

2. Анисимова Л.И. Технологические свойства кукурузы, определяющие процесс початкоотделения //Труды ВИСХОМ. – Вып.41. – М. – 1963. – С68-71.

3. Бондаренко О.В. Изучение физико-механических свойств перспективных сортов кукурузы районированных на юге Украины //Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград: КДТУ. – 2003. – Випуск 33. – С.155-161.

4. Карпуша П.П. Обоснование режима работы початкоотделяющего аппарата кукурузоуборочной машины из условия прочности початков. – Сборник. Технический прогресс и перспективы развития с/х. – К., 1970. – С26-29.

5. Фаворин М.В. Моменты инерции тел.-М: Машиностроение, 1977. – С. 58-67.