

In this article the problem of synthesis of the closed law of management of linear non-stationary systems, optimum on power consumption, is considered. All real objects of management relatively are nonlinear and non-stationary. The analysis and synthesis of control systems for such objects represents a complex mathematical problem which decision is received for some special cases today. The majority of objects of management allows to accept the non-stationary and linearized system of the equations as mathematical model. There is an opportunity to apply the developed mathematical apparatus of the solution of the linear non-stationary differential equations to the solution of problems of management. The objects of research are linear dynamic systems with monotonous znakopostoyanny coefficients which can be presented as quasistationary systems. The work purpose - is definition of the optimum law of management of linear quasistationary systems in an analytical look. In article, on the basis of the principle of a maximum (minimum) of Pontryagin the structure of optimum laws of management for linearly-square tasks on an energy minimum is revealed. For establishment of communication between an auxiliary vector and a vector of a state the fundamental matrix of system of the simplified initial equations is used. Finding of a fundamental matrix is carried out with use of mathematical apparatus of functions of Walsh. It allows to gain an approximate impression of a required matrix in the form of Walsh's ranks. As a result of application of such approach a matrix of optimum laws of management also of an opredelen in terms of functions of Walsh that considerably simplifies their realization in comparison with the non-stationary matrixes of optimum control received on the basis of the solution of the equation of Rikkati.

Одержано 20.11.14

УДК 631.334:006.015.7

К.С. Шевченко, асист.

Миколаївський національний аграрний університет

Дослідження динаміки руху плоду баклажана після взаємодії з ножовою пластиною бича

Проаналізовано диференційне рівняння руху тіла насінника баклажану всередині циліндричного сітчастого барабану планетарної машини для отримання насіння баклажану. Приведені графічні результати розрахунку колової швидкості для різних випадків.

тіло насінника, пластина бича, динаміка руху, взаємодія «ножова пластина – сітчастий барабан»

Е.С. Шевченко, асист.

Николаевский национальный аграрный университет

Исследование динамики движения плода баклажана после взаимодействия с ножевой пластиной бича

Проанализировано дифференциальное уравнение движения тела семенника баклажана внутри цилиндрического сетчатого барабана планетарной машины для получения семян баклажана. Приведены графические результаты расчета окружной скорости для разных случаев.

телo семенника, пластина бича, динамика движения, взаимодействие «ножевая пластина – сетчатый барабан»

Постановка проблеми. Галузь виробництва насіння овоче-баштанних культур на сьогоднішній день є однією з найменш механізованих і найбільш трудомістких. Проблема відсутності обладнання, що існує в галузі механізації процесів отримання насіння баклажанів, потребує негайного вирішення шляхом створення нових високопродуктивних машин.

Аналіз основних досліджень і публікацій. На підставі проведеного аналізу щодо машин і обладнання для овоче-баштанних культур [1, 2] з'ясовано [3, 4], що при обробці баклажану з метою виділення насіння необхідно враховувати біологічні особливості плоду після проходження стадії мацерування. Одним з найбільш ефективних способів здійснення процесу виділення є процес перетирання мацерованої маси в зазорі «ножова пластина – сітчастий барабан» [4].

Теорія взаємодії ножової пластини та баклажану відноситься до області теоретичної механіки [5], а також механіки суцільного середовища [6 - 9]. Характер взаємодії визначається інтенсивністю, часом взаємодії і матеріалом взаємодіючих тіл. Але в наведених роботах отримані результати відносяться по-перше до тіл правильної геометричної форми, по-друге, до однорідного матеріалу з вивченими властивостями.

Мета досліджень та методика їх проведення. Тіла рослинного походження, такі як насінник баклажану, неоднорідні за будовою, неправильної геометричної форми, та значно змінюють ці показники від сорту до сорту. Тому адекватність математичних моделей, що описують фізичну суть технологічних процесів виробництва насіння, до реальних процесів, дозволяє оптимізувати вибір конструктивних і технологічних параметрів обладнання, що створюється.

Таким чином вирішення проблеми знаходження диференційного рівняння руху насінника баклажану в середині циліндричного сітчастого барабану після взаємодії пластини бича необхідно розділити на дві складових, виходячи з конструктивних особливостей машини:

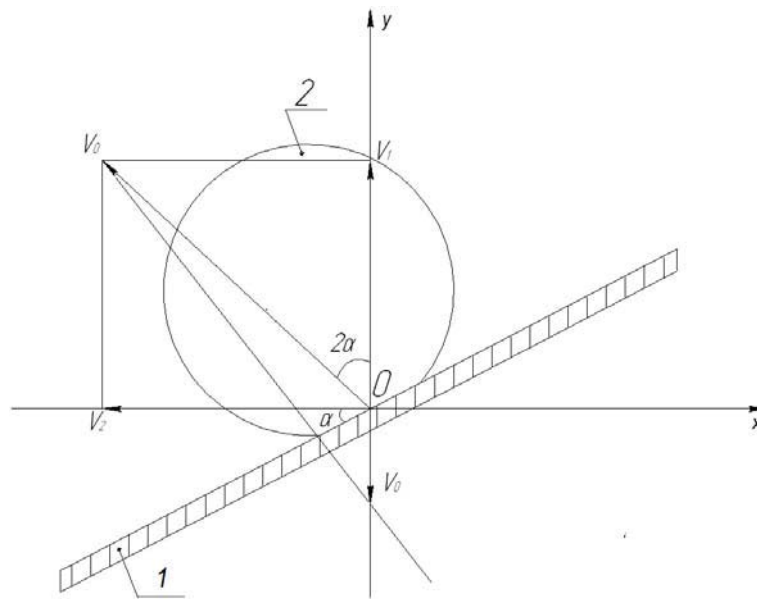
- динамічний рух тіла насінника баклажану по колу циліндричного барабану;
- рух вздовж осі циліндричного барабану.

Результати досліджень. Дослідимо вільний рух тіла насінника після взаємодії пластини бича. На рис.1 представлена схема взаємодії пластини бича по тілу насінника. Показано складові V_1 і V_2 швидкості початкового руху пластини V_0 вздовж осі ОУ. Будемо вважати пластину бича нерухомою, а взвемодію кулі такою, що відбувається зі швидкістю V_0 під кутом до пластини бича $(\frac{\pi}{2} - \alpha)$. Тоді відбивання насінника від пластини бича відбувається зі швидкістю V_0 під кутом 2α до осі ОУ. На рис.2 показана можлива траєкторія тіла насінника після удару. В результаті розкладання швидкості V_0 під кутом до пластини на складові маємо:

$$\begin{cases} V_{0x} = V_0 \cdot \sin 2\alpha = V_2; \\ V_{0y} = V_0 \cdot \cos 2\alpha = V_1. \end{cases} \quad (1)$$

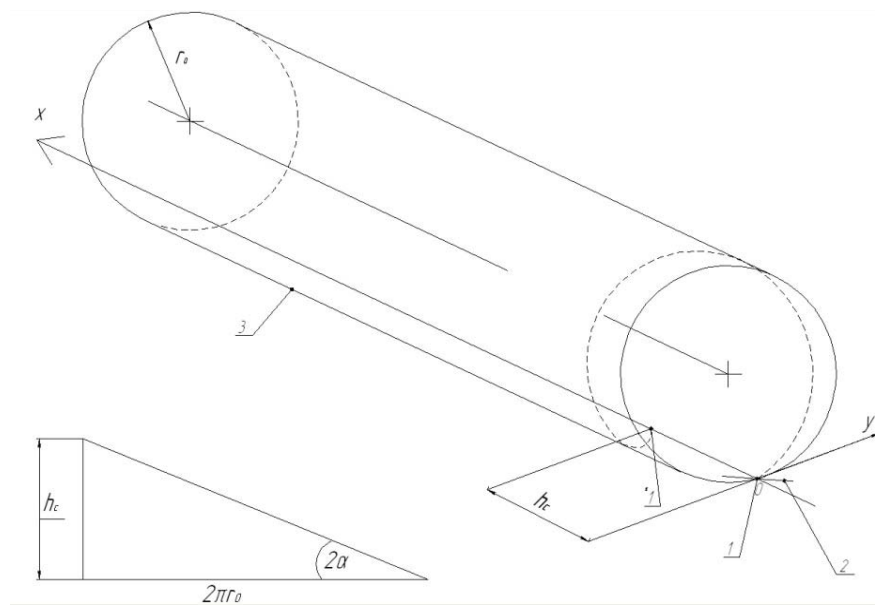
Розробка технологічного обладнання механізованого процесу отримання насіння баклажану передбачає на початковій стадії теоретичне обґрунтування процесу для правильного вибору конструкцій машини та форми робочих органів.

Зі швидкістю V_{0y} тіло починає рухатися по сферичній стінці барабана, а з швидкістю V_{0x} уздовж осі барабана ОХ. При русі тіла без тертя траєкторія була б гвинтовою лінією з кроком h . Наявність сили тертя деформує траєкторію руху.



1 – ножова пластина; 2 – тіло насінника

Рисунок 1 – Взаємодія ножової пластини бича і тіла насінника



1, 1* – початкове і кінцеве положення насінника;
2 – ножова пластина; 3 – барабан

Рисунок 2 – Траєкторія руху насінника по внутрішній поверхні сітчастого барабана

Описуючи динаміку руху плоду баклажана позначимо його точкою T з відповідною зосередженою масою m . Положення точки T всередині барабану показано на рис. 3. На точку T діють: $F_{TP} = f \cdot N$, сила нормального тиску P_N та сила тяжіння $G = mg$. До розгляду пропонується: рух тіла по колу радіусу r_0 і рух вздовж осі O . Положення точки T на колі характеризується двома параметрами: пройденим шляхом S і кутом φ . При параметрі $t=0$ в початковому положенні т. T приймає нижнє місцезнаходження. Швидкість точки по колу позначимо як $v(\xi) = (\varphi)$, відповідно $v(0) = v_{ox} \cos 2\alpha = v_2 \cos 2\alpha$. Сила нормального тиску визначаємо за виразом:

$$P_N(\varphi) = \frac{mv^2(\varphi)}{r_0} + G \cos \varphi = G \left(\frac{v^2(\varphi)}{r_0 g} + \cos \varphi \right). \quad (2)$$

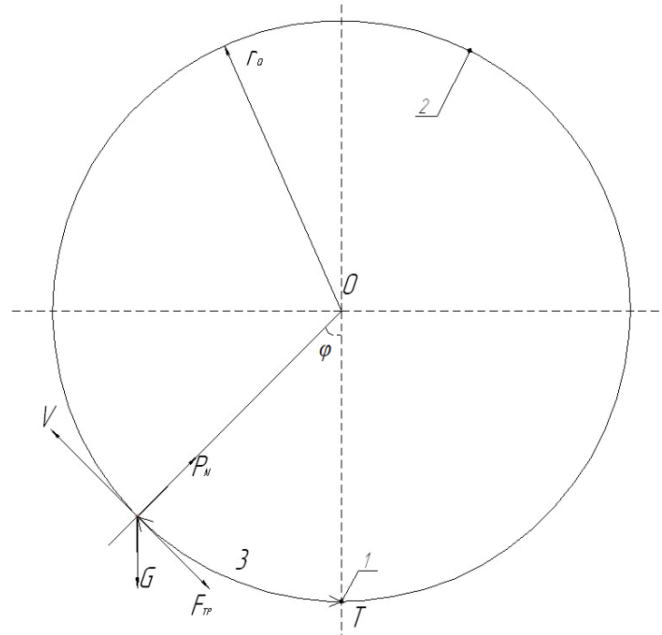


Рисунок 3 – Рух насінника по колу

В зв'язку з тим, що при $N=0$ відбувається падіння насінника, повинна виконуватися умова $N \geq 0$. Умову можна представити у вигляді:

$$\frac{v^2(\varphi)}{\cos \varphi} + r_0 g \geq 0. \quad (3)$$

Сила нормального тиску P_N досягає максимального значення при $\varphi=0$ ($t=0$):

$$\max P_N = G \frac{v_{ox}^2}{r_0 g} + 1. \quad (4)$$

Мінімальне значення P_N досягає при $\varphi=\pi$

$$\min P_N = G \frac{v_{ox}^2}{r_0 g} - 1. \quad (5)$$

Для положення, яке описує вираз (5) слід дотримуватись умови:

$$v(\pi) \geq \sqrt{r_0 g}. \quad (6)$$

при не виконанні даної умови тіло падатиме вниз.

Рівняння аеродинамічного руху, що описує рух т. T по колу має вигляд [4]:

$$mr_0 \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -(G \sin \varphi + F_{TP}) = -(mg \sin \varphi + fN(\varphi)). \quad (7)$$

В результаті перетворень з урахуванням складової $N(\varphi)$ у виразі (7) рівняння руху прийме вигляд:

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{g}{r_0} \sin \varphi + \frac{m}{r_0} \left(\frac{v^2(\varphi)}{r_0 g} + g \cos \varphi \right) = 0. \quad (8)$$

Для подальшого розрахунку введемо кутову швидкість $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \omega \frac{d\omega}{d\varphi} = \frac{1}{2} \cdot \frac{d\omega^2}{d\varphi}. \quad (9)$$

оскільки $v(\varphi) = r_0 \omega(\varphi)$, то

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = \frac{1}{2r_0^2} \cdot \frac{dv^2(\varphi)}{d\varphi^2}. \quad (10)$$

Враховуючи вищенаведене вираз (8) можна привести до вигляду

$$\frac{dv^2(\varphi)}{d\varphi} + 2fv^2(\varphi) = f(\varphi), \quad (11)$$

де $f(\varphi) = 2gr_0(\sin \varphi + f \cos \varphi)$;

f – коефіцієнт опору тертя.

Використовуючи початкові умови для рівняння (12) маємо:

$$\varphi = 0; v(0) = v_{oy} = v_1. \quad (13)$$

Крім того (11) справедливе у випадку при $N=0$, тобто до моменту

$$\cos \varphi + \frac{v^2(\varphi)}{r_0 g} = 0 \quad (14)$$

Рівняння (11) – це лінійне диференціальне рівняння першого порядку, а його рішення має вигляд

$$v^2(\varphi) = B \cdot e^{-2f\varphi} + e^{-2f\varphi} \int e^{2f\varphi} f(\varphi) d\varphi, \quad (15)$$

де B – постійна інтегрування, яка визначається з початкових умов (13).

Обчислимо інтеграл, що входить в (15)

$$k = \int e^{2f\varphi} \cdot f(\varphi) d\varphi = -2gr_0 \left[\int e^{2f\varphi} \cdot \sin \varphi d\varphi + f \int e^{2f\varphi} \cdot \cos \varphi d\varphi \right] \quad (16)$$

Звідки маємо

$$\begin{aligned} \int e^{2f\varphi} \cdot \sin \varphi d\varphi &= \frac{e^{2f\varphi}}{1+4f^2} (2f \sin \varphi - \cos \varphi); \\ \int e^{2f\varphi} \cdot \cos \varphi d\varphi &= \frac{e^{2f\varphi}}{1+4f^2} (2f \cos \varphi + \sin \varphi). \end{aligned}$$

Тоді

$$k = -2gr_0 \left(\frac{e^{2f\varphi}}{(1+4f^2)} \right) [3f \cdot \sin \varphi - (1-2f^2) \cos \varphi] \quad (17)$$

Після підстановки виразу для інтеграла (17) в рівняння (15), останнє має вигляд:

$$v^2(\varphi) = \left[v_1^2 - 2gr_0 \frac{(1-2f^2)}{(1+4f^2)} \right] \cdot e^{-2f\varphi} + \frac{2gr_0}{(1+4f^2)} [(1-2f^2) \cos \varphi - 3f \sin \varphi] \quad (18)$$

або в безрозмірному вигляді

$$v^2(\varphi) = \left[1 - \frac{2gr_0}{v_1^2} \frac{(1-2f^2)}{(1+4f^2)} \right] \cdot e^{-2f\varphi} + \frac{2gr_0}{v_1^2(1+4f^2)} [(1-2f^2) \cos \varphi - 3f \sin \varphi], \quad (19)$$

де $\bar{v} = \frac{v(\varphi)}{v_1}$.

Якщо $f=0$, тоді рівняння (19) матиме вигляд

$$\bar{v}^2(\varphi) = 1 - \frac{2gr_0}{v_1^2} (1 - \cos \varphi). \quad (20)$$

Результати розрахунку колової швидкості наглядно представлені на рис. 4

$$f = 0; \quad \bar{v}^2(\varphi) = 1 - 2 \left(\frac{gr_0}{v_1^2} \right) (1 - \cos \varphi);$$

$$f = \frac{1}{3}; \quad \overline{v^2}(\varphi) = \left[1 - 2 \left(\frac{gr_0}{v_1^2} \right) \right] - e^{-\varphi} + \frac{1}{2} \left(\frac{gr_0}{v_1^2} \right) (\cos \varphi - 3 \sin \varphi);$$

$$f^2 = \frac{1}{3}; \quad \overline{v^2}(\varphi) = e^{-1,42\varphi} - 1,42 \left(\frac{gr_0}{v_1^2} \right) \sin \varphi.$$

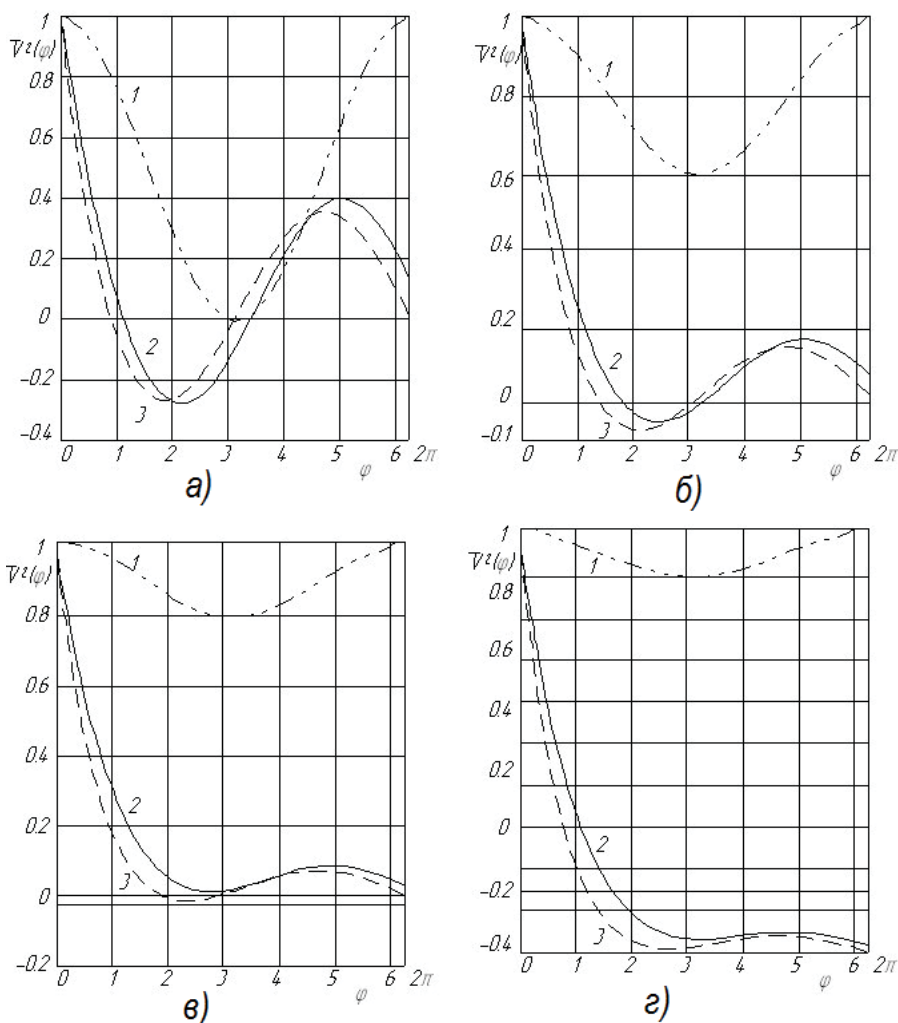
Розглядаємо подальший рух тіла після взаємодії мацерованих насінників і ножових пластин бичів вздовж осі барабана OX . Рівняння руху має вигляд:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + F_{TP} = 0, \quad (21)$$

де $F_{TP} = G \cdot f \cdot \overline{P_N}(\varphi), ,$

$$P_N = \frac{P_N(\varphi)}{G} = \left(\frac{v_1^2}{v_0 g} v^2(\varphi) + \cos \varphi \right),$$

$$\overline{v^2}(\varphi) = \left[1 - \frac{2gr_0}{v_1^2} \cdot \frac{(1-2f^2)}{(1-4f^2)} \right] \cdot e^{-2f\varphi} + \frac{2gr_0}{v_1^2(1-4f^2)} [(1-2f^2) \cos \varphi - 3f \sin \varphi]. \quad (22)$$



а – при $v_1^2=7$ (м/с)²; б – при $v_1^2=9$ (м/с)²;
в – при $v_1^2=16$ (м/с)²; г – при $v_1^2=36$ (м/с)²;
1- $f=0$; 2- $f=0,3$; 3- $f=0,5$

Рисунок 4 – Залежності окружної швидкості тіла насінника від коефіцієнта тертя f

Вираз (22) є досить складним для інтегрування, тому запишемо його в наступному вигляді:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + f N_0 = 0, \quad (23)$$

де $N_0 = \text{const}$ – деяке середнє значення $N(\varphi)$.

$$\text{Тоді } x(t) = v_2 t - \frac{f N_0 t^2}{m} = 0, \quad (24)$$

де $v_2 = x(0) = v_0 \sin 2\alpha$

З виразу (24) встановлено раціональний кут нахилу ножової пластини бича до осі, який знаходиться в діапазоні $13^\circ \dots 18^\circ$. Дані значення величини кута забезпечують якісне відділення насіння від насінневих волокон насінника при мінімальній кількості обертів робочого органу. Якщо зменшити даний показник насінник не зможе досягнути наступної ножової пластини, а збільшення його приведе до того, що він пройде зону дії наступної пластини. В результаті чого взаємодія ножової пластини і насінника не буде якісною, тобто не буде відбуватися повне відділення насіння.

Для знаходження середнього значення N_0 використаємо:

$$N_0 = \frac{G}{\alpha_0} \int_0^{\alpha_0} \bar{N}(\varphi) d\varphi, \quad (25)$$

де α_0 – кут що відповідає моменту $\bar{N}(\varphi) = 0$.

Розрахунки показали, що $\alpha_0 = \pi$.

Представимо залежність $\bar{N}(\varphi)$ у вигляді:

$$\bar{N}(\varphi) = x_1 e^{-2f\varphi} + x_2 \cos \varphi + x_3 \sin \varphi, \quad (26)$$

звідки

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{v_2^2}{r_0 g} - 2 \frac{(1 - 2f^2)}{(1 + 4f^2)} = 1 + \frac{v_2^2}{r_0 g} - \frac{3}{1 + 4f^2}; \\ x_2 &= 1 + 2 \frac{(1 - 2f^2)}{(1 + 4f^2)} - \frac{3}{1 + 4f^2}; \\ x_3 &= -\frac{6}{1 + 4f^2}. \end{aligned}$$

Виконуючи інтегрування та підставивши вираз (26) в (25), маємо:

$$N_0 = \frac{G}{\alpha_0} \left\{ x_1 \frac{1}{2f} (1 - e^{-2f\pi}) + 2x_3 \right\} = G \left\{ x_1 \frac{1 - e^{-2f\pi}}{2f\pi} + 2 \frac{x_3}{\pi} \right\}. \quad (27)$$

В результаті перетворень вираз (24) прийме вигляд:

$$N_0 = v_2 t - fg \left\{ \frac{x_1}{2} \frac{(1 - e^{-2f\pi})}{2f\pi} + \frac{x_3}{\pi} \right\} t^2. \quad (28)$$

Зазначимо, що максимальне значення часу повинне відповідати моменту $t_0 = t(\alpha_0)$, тобто

$$\max(t) = x(t_0) = v_e(t_0) - fg \left\{ \frac{x_1}{2} \frac{(1 - e^{-2f\pi})}{2f\pi} + \frac{x_3}{\pi} \right\} t_0^2. \quad (29)$$

Якщо прийняти $f=0,5$ – максимальне значення коефіцієнта при терті насінника по оцинкованому решету, будемо мати рівняння руху тіла насінника у вигляді

$$x(t) = v_2 t - 4,9(x_1 \cdot 0,15 - 0,48) \cdot t^2. \quad (30)$$

Висновок: описання диференційного рівняння руху насінника баклажану в середині циліндричного сітчастого барабану машини для отримання насіння солодкого та гострого баклажану дає можливість прогнозувати його траєкторію та місце знаходження в певний час.

Список літератури

1. Медведев В.П. Механизация производства семян овощных и бахчевых культур. / В.П. Медведев, А.В. Дураков - М.: Агропромиздат, 1985. - 320с.
2. Анисимов И. Машины и поточные линии для производства семян овощебахчевых культур. / Иван Анисимов. - Кишинев: Штиинца, 1987. - 292с.
3. Инженерные методы исследования ударных процессов [Батуев Г.С., Голубков Ю.В., Ефремов А.К., Федосов А.В.]. - М.: Машиностроение, 1969. - 248 с.
4. Гольдский В. Удар, теория и физические свойства соударяющихся тел. / В. Гольдский. - Москва: Стройиздат, 1965. - 368с.
5. Динник А. Удар и сжатие упругих тел. / А. Динник. - Киев.: Издательство АН УССР, 1952. - 142 с.
6. Поздеев В. Прикладная гидродинамика электрического разряда в жидкости. / Валерий Поздеев. - Київ: Наук. думка, 1980. - 192 с.
7. Мартыненко В. Операционное исчисление. / В. Мартыненко - К.: Вища шк., 1973. - 268 с.
8. Двайт Г. Таблицы интегралов и другие математические формулы: перев. с англ. / Г. Двайт. - М.: Наука, 1966. - 228 с.

Katerina Shevchenko

Nikolaev National Agrarian University

Study of dynamics of eggplant fruit after interaction with knife plate rod

The paper analyzes the problems of allocation of seeds from the fruit of the eggplant. The investigations of planetary machines to solve this problem. Analytical studies the allocation of seeds of the fruit of the eggplant. And also investigated the interaction of blade plate and a fruit machine to obtain responses. We obtain the differential equation of motion of the body aubergine seed inside a cylindrical mesh drum planetary machines for seed eggplant. Graphic results of the calculation are given the angular velocity for different occasions. Description of the differential equations of motion aubergine seed in the middle of a cylindrical mesh drum machine for Aubergine seeds makes it possible to predict its trajectory and location at a certain time.

body testes, plate rod, driving dynamics, the interaction of "blade plate - mesh drum"

Одержано 04.11.14