Конструкція і теорія сільськогосподарських машин
Construction and theory of agricultural machines

УДК 631.333

Продуктивність дозуючого пристрою машини для стрічкового внесення добрив

Пастухов В.І. [1], Сівцов Ю.В. [2]

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка (Харків,Україна) [1]*pastukhov@list.ru,* [2]*sanjasivcov@ukr.net*

Виведені аналітичні залежності для розрахунку продуктивності висівного дозуючого апарату мінеральних добрив від його конструктивних і режимних параметрів

Ключевые слова: *мінеральні добрива, стрічкове внесення, продуктивність, рівномірність, дозатор, висівний аппарат, сипуче середовище.*

Проблема. Сільгоспвиробітники при вирощуванні просапних культур віддають перевагу машинам, які забезпечують стрічкове та локальне внесення. Це пов'язано зі зростанням цін на мінеральні добрива, незадовільним екологічним становищем. Нажаль, на сьогодні в Україні не випускаються надійні, високопродуктивні машини, які б забезпечили якісне виконання цієї технологічної операції. Розробка і виробництво вітчизняних конкуркентноздатних машин - це один з пріоритетних напрямків розвитку агропромислового комплексу країни.

Найвагомішими експлуатаційними показниками роботи машин для внесення добрив є продуктивність і рівномірність внесення, тому при їх проектуванні і розробці, відповідно до конструкції, необхідно мати теоретичні залежності, за якими визначаються ці показники.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За результатами аналізу конструкцій і технологічних процесів роботи запропонована конструкція машина для стрічкового внесення мінеральних добрив, з шнековим дозуючим пристроєм [1]. Аналіз теоретичних досліджень роботи шнекових дозаторів машин для внесення мінеральних добрив показав, що відомі аналітичні залежності не дають змогу визначити продуктивність дозуючого вікна для кожної стрічки в залежності від параметрів машини запропонованої конструкції [2].

Мета дослідження. Метою досліджень є визначення теоретичним шляхом залежностей якісно-експлуатаційних показників розробленої конструкції машини від її конструктивних параметрів.

Результати досліджень. Для визначення геометричних і режимних параметрів машини, які забезпечують необхідну продуктивність при неравномірності відповідно до агровимог, необхідно описати технологічний процес роботи дозуючого пристрою [1].

Мінеральні добрива у процесі роботи запропонованого експериментального висівного апарату (дозуючого пристрою) переміщуються за рахунок сил тертя між поверхнями барабану та стрічкового транспортеру. Експериментально були визначені коефіцієнти тертя добрив по металевій поверхні барабану і прорезиненої стрічці.

Добрива, що висіваються між барабаном і стрічкою транспортеру розглядаємо як сипуче середовище. Виділяємо у сипучому середовищу елементарну масу добрив Δm, яка під дією сил тертя при функціонуванні висівного апарату обертається відносно центру барабана "О" (рис. 1).

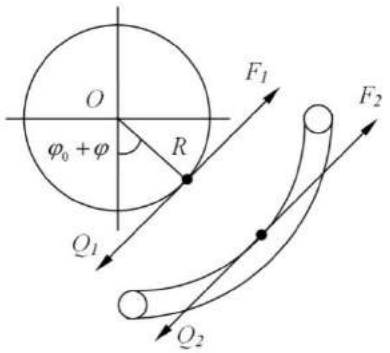

Рис.1. Схема для вивчення процесу взаємодії робочих органів експериментального апарату з мінеральними добривами.

Для складання математичної моделі руху виділеного елементу маси скористаємося диференційними рівняннями Лагранжа другого роду [3,4]

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_\varphi - \frac{\partial П}{\partial \varphi}, \quad (1)$$

Де T – кінетична енергія руху виділеного елементу; $П$ – потенційна енергія виділеного елементу; φ – узагальнена координата; Q_φ – узагальнена сила.

В якості узагальненої координати приймаємо кут повороту φ виділеного елементу відносно центру обертання. Тоді значення кінетичної енергії руху виділеного елементу запишеться:

$$T = \tfrac{1}{2}\Delta m\left(R+h\right)^2\dot{\varphi}^2,$$

де Δm – елементарна маса виділеного елементу; R – радіус барабана висівного апарату; h – відстань від поверхні барабану до вісі виділеного елементу.

Диференціюємо вираз кінетичної енергії:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = \Delta m\left(R+h\right)^2\dot{\varphi}; \quad (2)$$

$$\frac{dT}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = \Delta m\left(R+h\right)^2\ddot{\varphi}.$$

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0.$$

Потенційна енергія виділеного елементу визначається за формулою:

$$П = \Delta m \cdot g\left(R+h\right)\left[1-\cos\left(\varphi_0+\varphi\right)\right],$$

де φ_0 – початковий кут руху виділеного елементу.

Диференціюємо вираз потенційної енергії:

$$\partial П/\partial\varphi = \Delta m g\left(R+h\right)\cdot\sin\left(\varphi_0+\varphi\right) \quad (3)$$

Підставляємо у рівняння (1) вирази (2) і (3):

$$\Delta m\left(R+h\right)\left[\left(R+h\right)\ddot{\varphi} + g\cdot\sin\left(\varphi_0+\varphi\right)\right] = Q_\varphi \quad (4)$$

На виділений елемент сипучого середовища діють сили тертя барабана F_1 і стрічки F_2, а також які викликані дотичними силами сипучого середовища, відповідно Q_1 і Q_2 (див. рис.2.1.). Тоді узагальнена сила визначається за формулою:

$$Q_\varphi = F_1R + F_2\left(R+2h\right) - Q_1R - Q_2\left(R+2h\right), \quad (5)$$

де F_1 і F_2 – сили тертя виділеними елементами Δm і відповідно барабаном та стрічкою транспортеру; Q_1 і Q_2 – сили, пов'язані з дотичними напруженнями сипучого середовища.

Тиск сипучого середовища на підпорну стінку можна визначити за допомогою теорії сипучого середовища.

У теорії сипучого середовища напруга, при якій невелика зміна об'ємних або поверхневих сил визиває порушення рівноваги сипучого середовища, називається граничним. У такі моменти сили взаємодії робочих органів з сипучим середовищем, а також їх моменти досягають максимальних значень. Граничний стан середовища малої міцності описується рівнянням Кулона:

$$\tau_n = \sigma_n\, tg\,\varphi_B + C_\omega;$$

де τ_n – дотична напруження у точці сипучого середовища; C_ω – коефіцієнт зчеплення сипучого середовища;

Нормальне та дотичне напруження у сипучому середовищі на поверхні стінок робочих органів визначається за формулами [5,6] :

$$\sigma_{n_2} = A_1\left[2h\gamma + C_\omega\, ctg\,\varphi_B\left(1-\frac{1}{A_1}\right) + P_0\right]; \quad (6)$$

$$\tau_{n_2} = A_2\left[2h\gamma + l_\omega\, ctg\,\varphi_B\left(1-\frac{1}{A_2}\right) + P_2\right], \quad (7)$$

де σ_{n_2} – нормальне напруження на поверхні стрічки транспортеру; τ_{n_2} – дотичне напруження на поверхні стрічки транспортеру; γ – об'ємна маса мінеральних добрив; φ_B – кут внутрішнього тертя мінеральних добрив; A_1, A_2 – коефіцієнти; P_0 – зовнішні тиски на поверхні сипучого середовища.

При невеликих кутах нахилу опорної площини до горизонту

$$\alpha \le \frac{1}{2}arcsin\frac{\sin\varphi_Г}{\sin\varphi_B} - \frac{\varphi_Г}{2}, \quad (8)$$

де α – кут нахилу опорної площини до горизонту; $\varphi_Г$ – кут внутрішнього тертя у сипучому середовищі у горизонтальній площині; φ_M – коефіцієнт тертя мінеральних добрив по поверхні робочих органів;

$$A_1 = \frac{1-\sin\varphi_B\cdot\cos 2\alpha}{1-\sin\varphi_M}$$

$$A_2 = \frac{\sin\varphi_B\cdot\cos 2\alpha}{1-\sin\varphi_M}.$$

© В.І.Пастухов, Ю.В.Сівцов, 2014
© V.Pastukhov, Y.Sivcov, 2014

При невідповідності нерівномірності (8) коефіцієнти визначаються за формулами:

$$A_1 = \frac{\cos\varphi_\Gamma\left(\cos\varphi_\Gamma + \sqrt{\sin^2\varphi_B - \sin^2\varphi_\Gamma}\right)}{1-\sin\varphi_B} \times$$

$$\times exp\left[2\alpha - \pi + arcsin\frac{\sin\varphi_\Gamma}{\sin\varphi_B}\right]tan\,\varphi_B;$$

$$A_2 = \frac{\sin\varphi_\Gamma\left(\cos\varphi_\Gamma + \sqrt{\sin^2\varphi_B - \sin^2\varphi_\Gamma}\right)}{1-\sin\varphi_B} \times$$

$$\times exp\left[2\alpha - \pi + arcsin\frac{\sin\varphi_\Gamma}{\sin\varphi_B}\right]tan\,\varphi_B.$$

Сила тертя між стрічкою транспортера і сипучим середовищем визначається за формулою:

$$F_2 = \sigma_{n_2}\cdot b\left(r+2h\right)\Delta\varphi\cdot f_2, \qquad (9)$$

де b – ширина стрічки транспортеру; $\Delta\varphi$ – кут між радіусами, які обмежують виділений елемент сипучого середовища Δm. f_2 – коефіцієнт тертя.

Сила дії на елемент Δm визвано дотичним напруженням сипучого середовища у контакті з стрічкою транспортера

$$Q_2 = \tau_{n_2}\cdot b\left(R+2h\right)\Delta\varphi. \qquad (10)$$

Сили, які виникають між сипучим середовищем і барабаном висівного апарату виникають у результаті зсуву останнього. Зсув сипучого середовища проходе по площині зсуву, яка виникає у результаті роботи висівного апарату (рис.2).

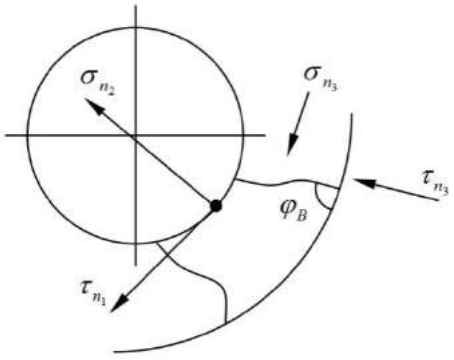

Рис.2. Схема для визначення напружень у сипучому середовищі

Нормальна σ_{n_3} і дотичне τ_{n_3} напруження на поверхні зсуву сипучого середовища можна визначити за формулами (6), (7) і 3 при $\Delta y_0 = y_1 - y_0$. Тоді нормальні і дотичні напруження у контакті сипучого середовища і барабана визначаються за формулами:

$$\begin{aligned}\sigma_{n_1} &= \tau_{n_3}\cdot sin\left(\varphi_0+\varphi+\varphi_B\right);\\ \tau_{n_1} &= \tau_{n_3}\cdot cos\left(\varphi_0+\varphi+\varphi_B\right);\end{aligned} \qquad (11)$$

де τ_{n_3} – дотичне напруження, яке виникає на поверхні зсуву сипучого середовища.

Сила тертя між барабаном і елементом сипучого середовища визначається за формулою:

$$F_1 = \sigma_{n_1}\cdot b\cdot R\cdot\Delta\varphi\cdot f_1 \qquad (12)$$

Сила дії на елемент Δm викликана дотичним напруженням у сипучому середовищі у контакті з барабаном розраховується за допомогою рівнянь

$$Q_1 = \tau_{n_1}\cdot R\cdot b\cdot\Delta\varphi \qquad (13)$$

Підставляємо у рівняння (5) вирази (9), (10), (11) , (13) і одержуємо вираз для визначення узагальненої сили:

$$\begin{aligned}Q_\varphi &= \sigma_{n_1}\cdot b\cdot R^2\cdot\Delta\varphi\cdot f_1 +\\ &+\sigma_{n_2}\cdot b\cdot b\left(R+2h\right)^2\cdot\Delta\varphi - f_2 -\\ &-\tau_{n_1}\cdot R^2\cdot b\Delta\varphi - \tau_{n_2}\cdot b\left(R+2h\right)^2\Delta\varphi\end{aligned} \qquad (14)$$

Виходячи з того, що $\Delta m = R\cdot\Delta\varphi\cdot 2h\cdot b\cdot\gamma$, а також підставляємо вираз (14) у (4) отримуємо диференційне рівняння руху елементу сипучого середовища у висівному апараті.

$$\begin{aligned}R\cdot 2h\cdot\gamma\left(R+h\right)\left[\left(R+h\right)\ddot{\varphi} + g\cdot sin\left(\varphi_0+\varphi\right)\right] &=\\ = \sigma_{n_1}\cdot R^2\cdot f_1 + \sigma_{n_2}\left(R+2h\right)^2\cdot f_2 -&\\ -\tau_{n_1}R^2 - \tau_{n_2}\left(R+2h\right)^2&\end{aligned} \qquad (15)$$

Диференційне рівняння (15) вирішували при

$$f_1 = f_1\left(\dot{\varphi},\omega\right),\ f_2 = f_2\left(\dot{\varphi},\omega\right)$$

Безпосереднє обчислення режимів руху частки сипучого середовища проводиться з використанням методу кінцевих різниць

першого порядку:

$$\Delta y_0 = y_1 - y_0;\ \Delta y_1 = y_2 - y_1;\ldots;\ \Delta y_n = y_{n+1} - y_n;$$

різниці другого порядку:

$$\Delta^2 y_0 = \Delta(\Delta y_0) = \Delta y_1 - \Delta y_0;$$

$$\Delta^2 y_1 = \Delta y_2 - \Delta y_1;\ldots;\ \Delta^2 y_n = \Delta y_{n+1} - \Delta y_n$$

або

$$\Delta^2 y_0 = y_0 + y_2 - 2y_1;\ldots;\ \Delta^2 y_n = \Delta y_n + \Delta y_{n+2} - 2\Delta y_{n+1}.$$

Де функції γ_i відповідає аргумент $t_i = t_0 + i\cdot dt$ як елемент арифметичної прогресії с постійним кроком dt.

Виходячи з вищевикладеного та із канонічного представлення похідних, маємо: $\ddot{\varphi} = \Delta^2\varphi / dt^2$ і, $\dot{\varphi} = \Delta\varphi / dt$ що дає можливість побудови циклічного процесу обчислення при заданих початкових значень величин, що досліджуються. Цей процес при відповідному представленні рівняння руху частки сипучого середовища описується співвідношенням:

$$\varphi_n = 2\varphi_{n-1} - \varphi_{n-2} - \{ g(R+h)^{-1}(1 - f_\Sigma) \cdot \cdot \sin(\varphi_0 + (\omega - \Delta\varphi_{n-1}/dt)\cdot t)\} \cdot dt^2 - \\ - f_\Sigma \cdot \left((\Delta\varphi_{n-1})^2 + 2\omega \cdot \Delta\varphi_{n-1} \cdot dt \right),$$

де $f_\Sigma = f_1(\dot{\varphi},\omega) + f_2(\dot{\varphi},\omega)$.

Після розрахунку за початковими умовами при $n = 2$, $\varphi_1 = \omega \cdot dt$, $\varphi_{0s} = \omega \cdot dt$ він може бути продовженим шляхом циклічного пересування розрахованого значення φ_2, тому на i-тому циклі такого пересування процес відповідає схемі $\varphi_2 \leftarrow \varphi_i$; $\varphi_1 \leftarrow \varphi_{i-1}$; $\varphi_{0s} \leftarrow \varphi_{i-2}$ а також $\Delta\varphi_0 \leftarrow \Delta\varphi_{i-2}$. Так що при завданні кінцевого значення φ_k – кута підйому тукосуміші розрахунковий процес закінчується на n – тому кроці, який визначається як

$$\varphi_k = n \cdot \omega \cdot dt - \varphi_n,$$

звідки

$$n = (\varphi_k + \varphi_n)/\omega \cdot dt.$$

Висновок. Розрахунки у межах значень геометричних і режимних параметрів, що впливають на роботу дозуючого пристрою, дозволяють визначити продуктивність туковисівної машини, а також знайти параметри, при яких забезпечується її максимальне значення.

Література

1. Патент на винахід 91794 України. Машина для внесення сипучих мінеральних добрив / Пастухов В.І., Фесенко Г.В., Сівцов О.В., Сівцов Ю.В. – опубл. 25.08.2010 р. Бюл. № 16.

2. Назаров С.И. Обоснование параметров питателей машин для подготовки и внесения минеральных удобрений. – В кн. Вопросы сельскохозяйственной механики. Минск, Урожай, 1970, т.18, с. 78…212.

3. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. М: Высшая школа, 1986, 416 с.

4. Савин Г.Н., Путята Т.В., Фрадлин Б.Н., Курс теоретической механики. К: Высшая школа. 1973, 359 с.

5. Пащенко В.Ф. Моделирование взаимодействия с почвой рабочих органов сельскохозяйственных машин и орудий / В.Ф.Пащенко. – Харьков: Харьковский государственный университет им. В. В. Докучаева, 1994. – 134 с

6. Мельник В.И. Предельное равновесие сплошных неупругих сред: [монография] / В.И.Мельник. – Харьков: КП Типография № 13, 2006. – 368 с.

Аннотация

Производительность дозирующего устройства для ленточного внесения удобрений

В.И.Пастухов, Ю.А.Сивцов

Выведены аналитические зависимости для расчета производительности высевающего дозирующего аппарата минеральных удобрений от его конструктивных и режимных параметров.

Ключевые слова: минеральные удобрения, ленточное внесение, производительность, равномерность, дозатор, высевающий аппарат, сыпучая среда

Abstract

Productivity of batching device for band fertilizing

V.Pastukhov, Y.Sivcov

Analytical dependences for calculating productivity of batching device for mineral fertilizers of its structural and regime parameters have been shown.

Key words: mineral fertilizers, band bringing, productivity, evenness, batching device, sowing machine, flowing medium

Представлено: М.В.Бакум / Presented by: M.Bakum
Рецензент: Г.В.Фесенко / Reviewer: G.Fesenko
Подано до редакції / Received: 17.09.2013

© В.І.Пастухов, Ю.В.Сівцов, 2014
© V.Pastukhov, Y.Sivcov, 2014