

програму, в якій був би весь необхідний функціонал. Тому слід обирати програму виходячи з кінцевого результату своєї роботи.

Список літератури

1. Програми для 3D моделювання [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://uk.soringcrepair.com/programs-for-3d-modeling/>

2. Сучасні комп'ютерні технології у підготовці майбутніх інженерів АПК. / О Дереза, С. Мовчан, С. Дереза // Аграрна наука та освіта в умовах євроінтеграції : збірник наукових праць міжнар. наук.-практ. конф. Ч.2. (20-21 березня 2019 р., м. Кам'янець-Подільський). – Тернопіль : Крок, 2019. – с. 24-26.

3. SOLIDWORKS 2016: КРАТКИЙ ОБЗОР ПРОГРАММЫ [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://3ddevice.com.ua/blog/3d-printer-obzor/obzor-programmy-solidworks/>

УДК 631.312.32:001.57

ФОРМАЛІЗАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ КОРПУС ПЛУГА-ГРУНТ

Дюжаєв В.П., к.т.н.,

Вершков О.О., к.т.н.,

Антонова Г.В., інженер

Таврійський державний агротехнологічний університет

м. Мелітополь, Україна

Summary: *the method of modeling the dynamics of the interaction of the plow body with the soil, which is based on the results of the research of the system under conditions of normal functioning, is tested in the work.*

Keywords: *plow case, mathematical model, formalization.*

Для рішення задач оптимізації необхідно побудувати математичну модель об'єкту, що досліджується, аналізуючи коливальні процеси в системі. Математична модель уявлена як динамічна система характеристик процесу з вхідною функцією – опором ґрунту та вихідною функцією – тяговим опором корпусу плуга. Рішення моделі полягає у визначенні параметрів системи, відповідних екстремуму цільової функції з урахуванням обмежень, що накладаються на перемінні системи. Формалізацією системи визначено, що механічна система „корпус плуга - ґрунт” зображена як система з одним ступенем волі, обмежена ідеальними голономними зв'язками, в якості узагальненої координати прийнято горизонтальне переміщення носка лемішу плуга. Система виведена зі стану рівноваги та виконує малі коливання під дією сили опору ґрунту $\vec{R}(t)$, сили тяжіння \vec{G} , сили пружності \vec{F} , моменту сил опору M . Рівняння руху цієї системи складаємо на основі рівнянь Лагранжа 2

роду. Узагальнена сила складається з консервативних сил, сил опору, сил залежних від часу. Узагальнену силу можливо визначити через елементарну роботу активних сил на відповідних можливих переміщеннях системи. Відомо, що узагальнена сила це коефіцієнт при можливих переміщеннях у формулі елементарної роботи активних сил.

В конструkcії, що досліджується, є пружний елемент, в результаті деформування якого виникає сила, що відновлює, залежність якої від узагальнених координат вважаємо нелінійною. Завжди при дослідженні малих коливань виконується лінеаризація цих залежностей, але у випадку великих відхилень від положення рівноваги необхідно ураховувати нелінійність позиційних сил. Необхідна інформація збирається з результатів експериментального дослідження опору ґрунту $R(t)$ та тягового опору $P(t)$ корпусу плуга. Сили опору частіше описуються нелінійними функціями узагальнених швидкостей, але в практичних розрахунках ці функції можливо лінеаризувати, вважаючи опір в узлах конструkcії корпусу плуга лінійно-в'язкими. Аналіз роботи ґрунтообробних машин показує, що змушуюча сила $Q(t)$ має складний характер і не може бути задана визначеними детермінованими функціями часу [1].

Уявимо корпус плуга на пружній підвісці як систему з однією ступенню волі ($s = 1$), тому що система виконує одне незалежне переміщення. В якості узагальненої координати прийнято горизонтальне переміщення носка лемешу плуга, що позначено через x . В такому випадку рівняння Лагранжа приймає наступний вигляд [2]

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial T}{\partial x} = Q \quad (1)$$

Визначимо кінетичну енергію

$$T = \frac{1}{2} m \dot{x}^2, \quad (2)$$

де m - маса корпусу плуга і маса ґрунту, які беруть участь в коливаннях; \dot{x} - середня швидкість руху плуга.

Визначаємо елементарну роботу активних сил на можливих переміщеннях системи:

$$\delta A_i = \delta A(\bar{R}) + \delta A(\bar{F}) + \delta A(M), \quad (3)$$

Задаємо системі можливе переміщення при якому координата x має позитивний приріст та визначаємо роботу сили $\bar{R}(t)$ на можливому переміщенні δx , роботу сили на можливому переміщенні δS і роботу моменту M на можливому куту повороту δj

$$\delta A_i = R(t) \delta x - F \delta S - M \delta j \quad (4)$$

$$F = c(l_{CT} + S) = c \frac{e}{e} l_{CT} + \frac{(l_1 + l_2)}{l} \times x \dot{u}$$

де c – пружний коефіцієнт,

λ_{CT} - величина статичної деформації пружного елемента,

l_1, l_2, l - розмірні характеристики.

Висловивши можливі переміщення через δx та підставивши їх в (4), після перетворення, маємо узагальнену силу

$$Q = R(t) - c \times L - c \times L^2 \times x - \frac{M}{l}, \quad (5)$$

де
$$L = \frac{l_1 + l_2}{l}$$

Визначивши λ_{cm} в положенні статичної рівноваги, коли $x = 0, Q = 0, M = 0, R(t) = 0$ і $\lambda_{cm} = 0$, запишемо остаточно:

$$Q = R(t) - c \times L^2 \times x - \frac{M}{l}. \quad (6)$$

Підставивши часткові похідні для кінетичної енергії, отримуємо наступне рівняння

$$m \ddot{x} = R(t) - c \times L^2 \times x - \frac{M}{l}, \quad (7)$$

Висновки. В результаті формального опису, орієнтуючись на використання ЕОМ, замість спрощених математичних моделей, будемо розглядати нелінійні стохастичні механічні коливання корпусу плуга на пружній підвісці з урахуванням нелінійної характеристики пружного елемента, лінійно-в'язкими характеристиками сил опору у вузлах конструкції.

Список літератури

1 Дюжаев В.П. Построение математической модели колебательной системы рабочий орган – почва/В.П.Дюжаев //Труды / ТГАТА. – Мелитополь, 1998. – Вып.1– Т.5. Техника в сельскохозяйственном производстве.– С.77.

2 Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. – М.: Наука, -1980. – 270 с.