



УДК 631.312.32:001.57

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ НЕЛІНІЙНОЇ КОЛИВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ «КОРПУС ПЛУГА-ГРУНТ»

Дюжаєв В.П., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел.(0619)-42-11-72, e-mail: vduzaev@i.ua

**Анотація** - в роботі розв'язано задачу розробки методики ідентифікації нелінійної стохастичної коливальної системи «корпус плуга – ґрунт» на основі результатів експериментального дослідження корпусу плуга в умовах нормального функціонування системи та апробування цієї методики на прикладі корпусу плуга на пружно-шарнірній підвісці.

**Ключові слова** – обробіток ґрунту, вібрації, нелінійні коливання, ідентифікація.

*Постановка проблеми.* Суттєве підвищення ефективності технологічного процесу обробітку ґрунту можливо за рахунок застосування нових, прогресивних технологій. До них відносяться механічні коливання, при яких руйнування середі відбувається скоріше та з меншими витратами енергії. З метою налаштування динамічної системи на раціональний режим роботи необхідно розробити математичну модель динаміки взаємодії корпусу плуга з ґрунтом, яку бажано складати не апріорними міркуваннями, а на основі суворих доказів, які ґрунтуються на дослідженні поведінки системи в умовах нормального функціонування. Найкращим методом аналізу нелінійної динамічної системи є її ідентифікація в умовах нормального функціонування з використанням статистичних методів дослідження [1]. Необхідність рішення задачі ідентифікації виникає у тому випадку, коли прямий фізичний аналіз динамічної системи, що досліджується не дозволяє побудувати повний математичний опис цього об'єкту.

*Аналіз останніх досліджень.* Питаннями дослідження коливань корпусу плуга на пружній підвісці займалися А.А. Дубровський, Е.Т. Волков, М.О. Уфіркін, О.Ф. Крюков, Г.О. Рябцев, Я.Б. Ельгурт, А.Г. Дегтярьов, Т.С. Скакун, А.І. Ключев, А.І. Нідзієв та інші вчені, але жодна конструкція не виготовлялась серійно, усі вони залишилися на рівні експериментальних зразків. Аналізуючи ці дослідження, можна зробити наступні висновки: факт зниження тягового опору при обро-

бітку ґрунту з вібруючими робочими органами можливо вважати доказаним, позитивним ефектом, при цьому є покращення якості обробки ґрунту; енергетично вигідно використання знаряддя з пружним закріпленням робочих органів, джерелом виникнення коливань яких є нерівномірність опору ґрунту; в розроблених конструкціях жорсткість пружного елемента підбиралась, в основному, експериментальними методами, що не дає можливість налаштувати підвіску на оптимальний режим роботи в різноманітних ґрунтових умовах.

*Формулювання цілей статті.* В роботі поставлена задача розробити методику складання математичної моделі коливальної системи корпусу плуга – ґрунт на основі результатів експериментального дослідження корпусу плуга з використанням методів якісної ідентифікації.

*Основна частина.* Задачі ідентифікації механічних коливальних систем розрізняються по практичним цілям, які потребують побудови математичної моделі об'єкту. М.Ф.Диментбергом рекомендована наступна послідовність якісної ідентифікації механічних коливальних систем [1]:

- першим етапом ідентифікації механічної коливальної системи є виявлення тієї статистичної характеристики, по якій можливо розрізнити між собою системи різних типів;

- наступний етап – складання критерію розпізнавання;

- третій етап – виявлення того правила, у відповідності до якого на основі результатів дослідження процесу в умовах нормального функціонування приймається рішення про належність коливальної системи до того чи іншого класу.

В загальному випадку автором розглянуто п'ять типів коливальних систем:

1. Автоколивальна система.
2. Система з зовнішніми збудженнями.
3. Система з випадковим параметричним збудженням.
4. Система з періодичним зовнішнім збудженням.
5. Система з періодичним параметричним збудженням.

Критерії розпізнавання автором представлено у таблиці 1. В таблиці використано наступні позначення:

- критерії  $V$ , які основані на аналізі щільності вірогідності  $P(V)$  квадрату амплітуди процесу, причому,  $V$  - функція  $P(V)$  монотонно спадає при всіх  $V \geq 0$ ,  $V$  - функція  $P(V)$  є прибуваюча, хоча б у межах одного інтервалу напівосі  $V > 0$ .

- критерії  $\Phi$  основані на аналізі щільності вірогідності фази вузькополосного процесу, що досліджується, причому,  $\Phi_0$  - фаза має рівномірний розподіл на інтервалі  $[0, 2\pi]$ ;  $\Phi_1$  - функція має один макси-

мум на інтервалі  $[0, 2\pi]$ ;  $\Phi_2$  – функція має два максимуми на інтервалі  $[0, 2\pi]$ .

Таблиця 1 – Критерії розпізнавання.

	1	2	3	4	5
1	-	$V_1$	$V_1$	$\Phi_0$	$\Phi_0$
2	$\Phi_0$	-	$V^{a)}$	$V_0, \Phi_0$	$V_0, \Phi_0$
3	$V_0$	$V^{a)}$	-	$V_0, \Phi_0$	$V_0, \Phi_0$
4	$\Phi_1$	$V_1^{b)}$ , $\Phi_1$	$V_1, \Phi_1$	-	$V_1, \Phi_1$
5	$\Phi_2$	$V_1^{b)}$ , $\Phi_2$	$V_1, \Phi_2$	$V_1^{r)}$ , $\Phi_2$	-

а) Три спеціальні критерії по функції.

б) Критерій, що зміщений.

в) Критерій, що зміщений.

г) Спеціальний критерій  $V$ .

Спеціальні критерії представлених роботі [1].

Задачу побудови математичної моделі вирішуємо на прикладі коливальної системи «корпус плуга на пружній підвісці». Розглянемо корпус плуга як динамічну систему (рис. 1), на вхід якої поступають випадкові збурення, що обумовлено опором ґрунту. Результатом цієї дії є реакція системи у вигляді тягового опору [2].



Рис. 1. Коливальна система корпус плуга на пружній підвісці.

Аналіз спектральної щільності реалізацій опору ґрунту  $y(t)$  і тягового опору робочого органу  $x(t)$  показав, що опір ґрунту є суттєво широкополосним процесом у порівнянні з характерною шириною спектру коливального процесу на виході системи [3].

Методикою якісної ідентифікації побудування математичної моделі коливального процесу на основі статистичного аналізу процесів в системі передбачено:

- записати реалізації вихідного процесу – тягового опору робочого органу  $P(t)$  в умовах нормального функціонування;

- обробити одержану інформацію, отримавши в результаті щільність вірогідності квадрату амплітуди  $P(V)$ ;

- відповідно з критерієм розпізнання, який є умовою, що накладається на статистичну характеристику, та визначає кордон між класами системи, визначається до якого класу відноситься досліджуваний процес. При цьому використовуються запропоновані М.Ф.Діментбергом критерії розпізнавання.

Розглянуто три можливих механізми збудження коливань в системі «корпус плуга – ґрунт»:

1 – автоколивальна система, в якій при відсутності зовнішніх збурень можливі стійкі періодичні коливання

$$\ddot{x} + f(\dot{x}) + k^2x = 0, \quad (1)$$

2 – система з випадковим зовнішнім збудженням, яка не містить ніяких інших джерел коливань

$$\ddot{x} + 2b \cdot \dot{x} + f(x) = F(t), \quad (2)$$

3 – система з випадковим параметричним збудженням

$$\ddot{x} + 2b \cdot \dot{x} + \psi(t)x = 0, \quad (3)$$

Потрібно методом ідентифікації визначити, до якого з наведених типів належить коливальна система, що досліджується.

Записані синхронно реалізації опору ґрунту і тягового опору робочого органу оброблені на ЕОМ [4]. В результаті визначена щільність вірогідності квадрату амплітуди  $W(V_i)$ . Перевіряємо гіпотезу 2 проти альтернативи 1, визначаємо, удає процес  $x(t)$  чисто вимушені коливання системи, чи її автоколивання, що збуджені випадковою дією.

В якості ознаки, по якій відрізняємо системи цих типів, використовуємо різницю у щільностях вірогідності квадрату амплітуди процесу  $x(t)$ , яка визначається експоненціальною залежністю (рис. 2):

$$W(V_i) = \frac{1}{2\sigma^2} \exp\left(-\frac{V_i}{2\sigma^2}\right), \quad (4)$$

де  $\sigma^2$  - дисперсія процесу,

$V_i = A_i^2$  - квадрат амплітуди процесу  $x(t)$ .

Необхідною та достатньою умовою відсутності автоколивань у системі є властивість спадання знайденої із експерименту функції  $W(V_i)$ , виконання цієї умови каже про те, що процес  $x(t)$  викликано винятково дією випадкових збурень.

Результати якісної ідентифікації дають достатню вірогідність вважати, що, оскільки щільність вірогідності квадрату амплітуди процесу є функція, яка монотонно убиває, коливальна система відноситься до систем з випадковим зовнішнім збудженням

$$\ddot{x} + 2b\dot{x} + \omega^2(x + \gamma x^3) = y(t), \quad (5)$$

де  $b, \gamma$  – додатні постійні;

$y(t)$  - стаціонарний центрований гаусовський випадковий процес;

$$\omega^2 = \frac{cL^2}{m} - \text{власна частота системи.}$$

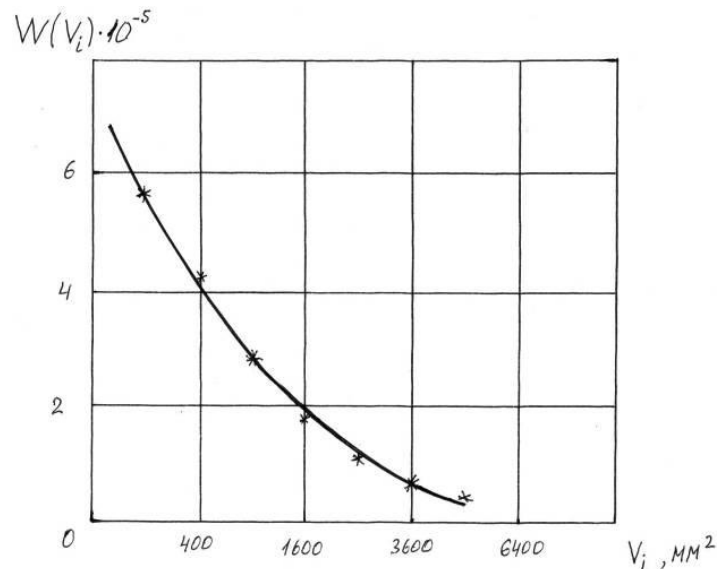


Рис. 2. Графік щільності вірогідності квадрату амплітуди  $W(V_i)$  тягового опору корпусу плуга.

*Висновки.* Визначено, що коливальну систему корпус плуга на пружній підвісці можливо віднести до систем з випадковим зовнішнім збудженням і математична модель динаміки взаємодії корпусу плуга на пружній підвісці з ґрунтом пропонується у вигляді нелінійного стохастичного диференціального рівняння з жорсткою нелінійною кубічною характеристикою пружності. Наведену методику запропоновано до використання при дослідженні будь-яких конструкцій ґрунтообробних знарядь.

#### Література

1. Диментберг М.Ф. Нелинейные стохастические задачи механических колебаний / М.Ф. Диментберг – М.: Наука, -1980. – 368 с.
2. Дюжаев В.П. Экспериментальное исследование корпуса плуга на упругой подвеске / В.П. Дюжаев // Праці ТДАТУ. – Вип. 8. – Т. 4. – Мелітополь. - 2008. – С. 88-95.
3. Дюжаев В.П. Моделирование входного воздействия динамической системы корпус плуга – почва / В.П. Дюжаев // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2003. Вип. 13. – С. 40
4. Дюжаев В.П. Мониторинг плотности почвы пахотного горизонта в системе точного (управляемого) земледелия / В. Дюжаев, В. Кравчук, А. Кушнар'ов, С. Кушнар'ов // Техніка і технології АПК - 2010. – №9 (12). – С. 12-15.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «КОРПУС ПЛУГА-ПОЧВА»

В.П.Дюжаев

*Аннотация* - в работе решена задача разработки методики идентификации нелинейной стохастической колебательной системы "корпус плуга - почва" на основе результатов экспериментального исследования корпуса плуга в условиях нормального функционирования системы и апробирование этой методики на примере корпуса плуга на упруго-шарнирной подвеске.

## IDENTIFICATION OF NONLINEAR OSCILLATION SYSTEM OF THE PLOWING COMPONENT GRUNT

V. Dyuzhayev

### *Summary*

The problem in the development of methods of identification of nonlinear stochastic oscillatory systems "The plow - soil" based on the results of an experimental study of the plowing under normal operation and testing of this technique on the example of the plowing on elastic - articulated suspension.