

УДК 631.312.32:001.57

КОРЕЛЯЦІЙНО- СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ НЕЛІНІЙНОЇ КОЛИВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Дюжаєв В.П., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-11-72

Анотація - у роботі розглянуто обґрунтування не лінійності, стаціонарності і ергодичності динамічної системи, та кореляційного аналізу динаміки взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин з ґрунтом.

Ключові слова - нелінійна характеристика, кореляційна функція, спектральна щільність.

Постановка проблеми. В багатьох галузях промисловості використовуються вібраційні методи інтенсифікації технологічних процесів, які дозволяють більш раціонально витратити енергію. Існує достатньо багато досліджень, в яких обґрунтовано зниження тягового опору ґрунтообробних знарядь при пружному закріпленні робочих органів до рами, в результаті чого робочий орган виконує коливання, збудником яких є нерівномірність опору ґрунту. Розроблено ряд конструкцій знарядь з пружно закріпленими робочими органами параметри яких підбирались експериментальними методами, що не дозволяє знизити тяговий опір на полях з різноманітною твердістю ґрунту. Досягнути цього можливо настроюванням роботи пружної підвіски у режимі резонансу, що полегшує руйнування пласта ґрунту.

Аналіз останніх досліджень. З теорії механічних коливань відомо, що у машинах, які призначені для створювання корисних вібрацій, під дією випадкових збуджень можливі флуктуаційні переходи нелінійних коливальних систем з одного стаціонарного стану в другий стаціонарний стан [1]. Особливо важливо враховувати випадкові змушення в вібраційних машинах при рішенні задач оптимізації параметрів машин.

Мета роботи. В роботі поставлено метою обґрунтування припущень не лінійності, стаціонарності і ергодичності динамічної системи, та статистичного аналізу кореляційних функцій та спектральної щільності, що знайдені у результаті експериментального дослідження динаміки взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин з ґрунтом.

Основна частина. Об'єктом дослідження є процес взаємодії робочого органу ґрунтообробного знаряддя з ґрунтом. В конструкціях таких знарядь мається пружний елемент, у результаті деформації якого виникає сила, що відновлює,

залежність якої від узагальнених координат враховуємо нелінійною. Звичайно при дослідженні коливальної системи виконується лінеаризація віх залежностей, проте у випадку великих відхилень від положення рівноваги необхідно враховувати нелінійність позиційних сил. Прийнята апріорі нелінійність потребує переконливого доказу цього допущення. Ступень не лінійності [2] визначаємо по формулі

$$n(\tau) = \sqrt{D_{yx}^2(\tau) - K_{yx}^2(\tau)},$$

(1)

де $D_{yx}(\tau)$ - взаємна дисперсійна функція вхідного $y(t)$ і вихідного $x(t)$ випадкового процесу;

$K_{yx}(\tau)$ - взаємна кореляційна функція вхідного $y(t)$ і вихідного $x(t)$ випадкового процесу.

Вихідна інформація добута з результатів обробки осцилограм реалізацій опору ґрунту $R(t)$ і тягового опору $P(t)$ корпусу знаряддя [3].

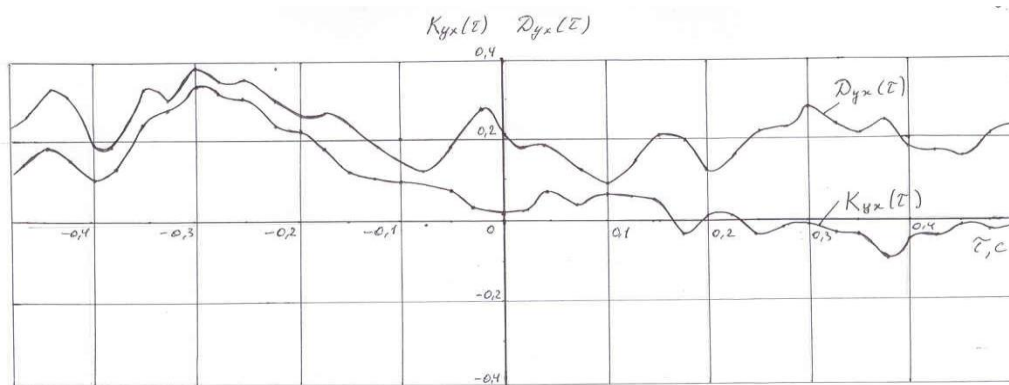


Рис.1. Графіки взаємної дисперсійної і взаємної кореляційної функцій процесу взаємодії корпусу плуга на пружній підвісці з ґрунтом.

Ступень нелінійності процесу $n(\tau) \neq 0$, тому вважаємо процес взаємодії корпусу плуга з ґрунтом нелінійним. Відомо, що побудова рішень статистичних задач динаміки з постійними параметрами, що знаходяться під дією зовнішніх випадкових збуджень виконується за допомогою імпульсний перехідної функції від вхідної дії, але для нелінійних систем такий метод застосувати неможливо, тому раціонально прихилити метод статистичного моделювання [1].

Реальні коливальні процеси, що знайдені з експерименту, нестационарні. Для остационарювання процесу запис осцилограм тягового опору та опору ґрунту виконуємо після згасання початкових перехідних процесів тільки ті коливання, які устанавлюються у системі при тривалому її функціонуванні.

Також при розрахунку статистичних характеристик виконуємо фільтрацію випадкового процесу. Фільтрація нестационарних ділянок виконується центруванням ординат реалізацій відносно математичного очікування $m_x(t)$. Розглянувши випадковий процес як адитивну суміш математичного очікування $m_x(t)$ і центрованої стаціонарної ергодичної функції $\dot{x}(t)$

$$x(t) = m_x(t) + \dot{x}(t), \quad (2)$$

виділимо $m_x(t)$ и $\dot{x}(t)$, використовуючи фільтр низких частот з пам'яттю T_ϕ , з сегментною часовою характеристикою

$$f(t) = \begin{cases} 0.75(1-t^2), & \text{при } |t| \leq 1 \\ 0, & \text{при } |t| > 1 \end{cases} \quad (3)$$

Приймаємо припущення, що процес, який досліджується, є ергодичним, що означає еквівалентність вірогідного усереднення і усереднення по часу. Це дає нам можливість оцінювати статистичні характеристики на основі статистичного аналізу одної реалізації процесу, що досліджується.

Виконуємо аналіз динамічної системи «корпус плуга на пружній підвісці - ґрунт» по результатам попереднього експериментального дослідження системи в умовах нормального функціонування. Апроксимацією кривих кореляційної функції та спектральної щільності, що одержано з експерименту, визначено коефіцієнти кореляційного зв'язку, які характеризують фізико – механічні властивості ґрунту та швидкість оранки.

Таблиця 1. Статистичний параметр	Обозначення	Швидкість руху, м/с		
		1,96	1,78	1,6
Математичне очікування	$m_y(t)$, Н	2679,0	2358,2	2149,1
Середньоквадратичне відхилення	$\sigma_y(t)$, Н	51,02	49,1	45,35
Частота при якій спектральна щільність максимальна	ω_0 , 1/с	0,210	0,628	0,314
Коефіцієнти кореляційного зв'язку	α	0,230	0,290	0,320
	β	3,100	2,295	2,282

Графіки кореляційної функції опору ґрунту вказують на ергодичність процесу (рис.2), тому що $K_y(\tau)$ прямує до нуля при $\tau \rightarrow \infty$. Загасання кривих свідчить про наявність у процесі прихованих періодичних складових наряду з випадковими. Процес змінення опору ґрунту має різномірний, низькочастотний спектр дисперсії з частотою зрізу ω_c до $5,03 \text{ с}^{-1}$. Коефіцієнти варіації достатньо великі ($v_R = 9,1 \dots 9,8 \%$), отже амплітуди

коливань опру ґрунту також великі, що вказує на неоднорідність твердості ґрунту поля на якому проводилося експериментальне дослідження. З підвищенням швидкості руху V_0 від 1,5 до 1,96 м/с середні значення опору ґрунту декілька зростають, спектри дисперсії декілька зміщуються у бік підвищення значень ω (табл.2).

Таблиця 2. Значення ширини спектру частот

Параметр	Швидкість руху агрегату, V_0 , м/с		
	1,96	1,78	1,5
ω_0	0,210	0,628	0,314
$S(\omega_0)$	0,085	0,10	0,09
$\Delta\omega$	11,8	10,0	11,1

Для визначення чи процес широкополосний, чи вузькополосний проаналізуємо ширину спектру частот. Бачимо, що у всіх випадках ширина спектру $\Delta\omega$ значно більше частоти ω_0 , тому процес, що досліджується, є широкополосним. Цей аналіз дає можливість вибору рівняння формуючого фільтру дії, що необхідно для моделювання динамічної системи.

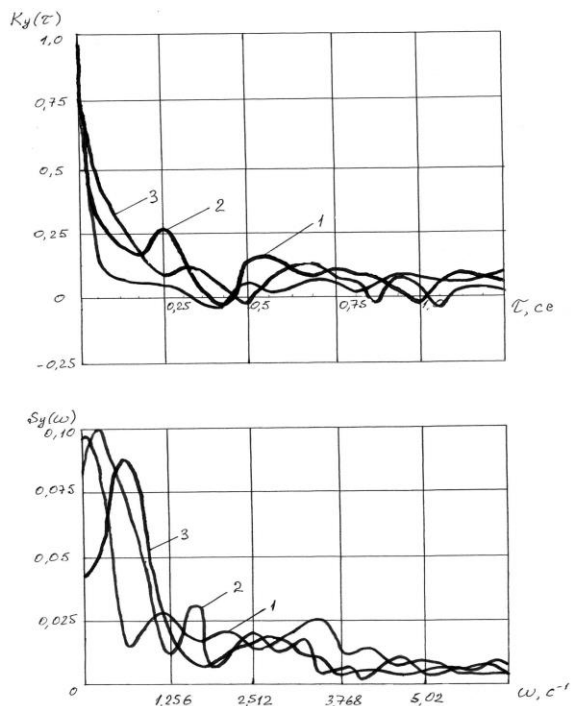


Рис. 2. Кореляційна функція $K_y(\tau)$ і спектральна щільність $S_y(\omega)$ повздожньої твердості ґрунту на швидкості руху агрегату: 1 – $V = 1,5$ м/с; 2 – $V = 1,78$ м/с; 3 – $V = 1,96$ м/с.

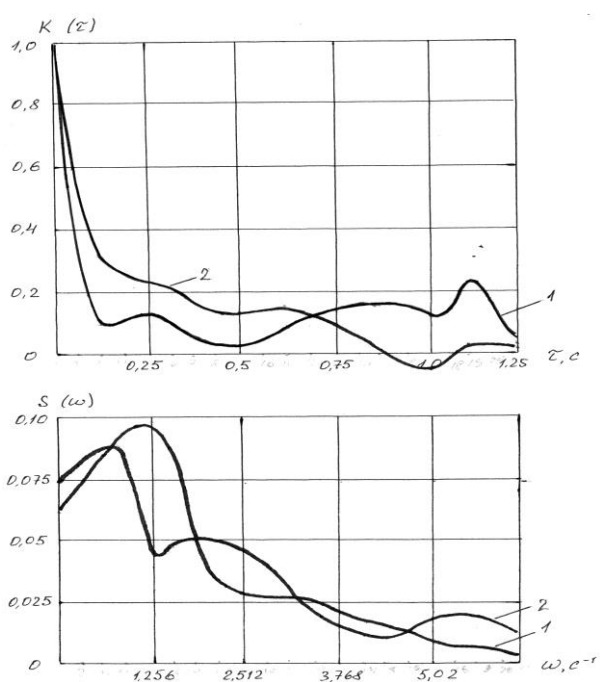
У результаті моделювання [4] визначено раціональні параметри пружної підвіски корпусу плуга та проведено апробування результатів моделювання для оцінювання пружної підвіски, що налагоджена на оптимальний режим роботи у порівнянні з стандартним, жорстким закріпленням корпусу плуга. Аналіз графіків кореляційної функції $K(\tau)$ і спектральної щільності $S_y(\omega)$ процесів, що досліджені (рис. 3), показав, що: процес зміни тягового опору корпусу плуга на пружній підвісці має однорідний, низькочастотний спектр дисперсії з частотою зрізу ω_c до $5,02 \text{ c}^{-1}$, процес зміни повздовжньої твердості ґрунту має порівняно однорідний низькочастотний спектр дисперсії з частотою зрізу ω_c до $4,4 \text{ c}^{-1}$, процес зміни тягового опору жорстко закріпленого корпусу плуга має різномірний, низькочастотний спектр дисперсії з частотою зрізу ω_c до $4,08 \text{ c}^{-1}$. Порівняння частоти ω_0 , відповідної максимуму спектральної щільності $S_0(\omega)$ пружно закріпленого корпусу плуга з частотою ω_0 повздовжньої твердості ґрунту, показує, що ці частоти знаходяться у діапазоні $0,942...1,57 \text{ c}^{-1}$, отже частота дії співпадає з власною частотою коливальної системи, що каже про роботу у режимі резонансу або в режимі биття.

Таблиця 3. Оцінка тягового опору корпусу плуга

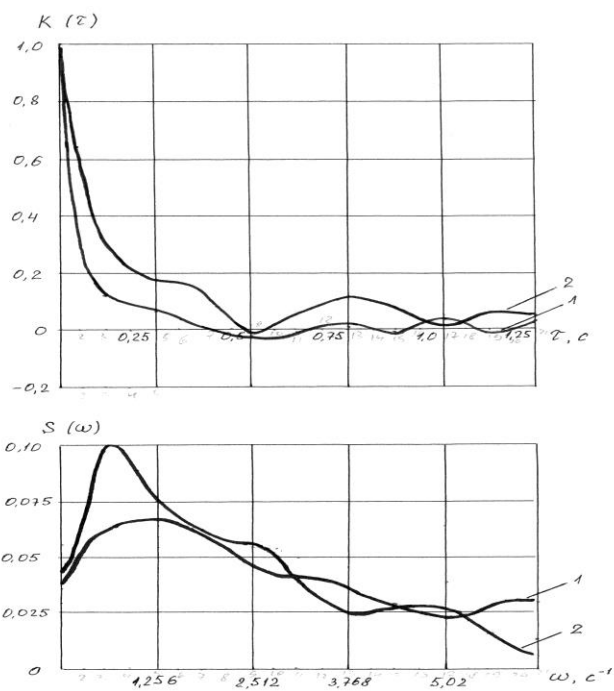
Параметр	Тяговий опір корпусу плуга, $P(t)$, Н					
	жорстке кріплення		циліндрична пружина		конічна пружина	
	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 1	Дослід 2
Математичне очікування, m_x , Н	4896,0	4910,2	4279,5	4396,5	4057,3	4184,1
Середньоквадратичне відхилення, σ_x , Н	898,5	925,1	771,6	710,2	600,1	594,2
Коефіцієнт варіації, v , %	18,3	18,8	18,0	16,1	14,8	14,2

Математичне очікування m_x і коефіцієнт варіації пружно закріпленого корпусу плуга з конічною пружиною декілька менше, чим математичне очікування і коефіцієнт варіації корпусу з циліндричною пружиною. Це каже про те, що корпус плуга з конічною пружиною більш задовільно перероблює вхідний сигнал – опір ґрунту за рахунок

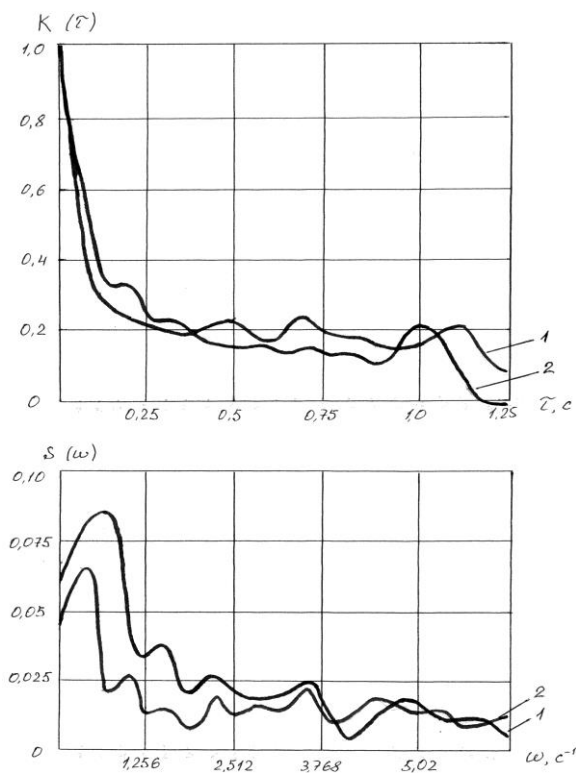
зменшення розброду амплітуд коливань відносно математичного очікування, в порівнянні з корпусом плуга з циліндричною пружиною.



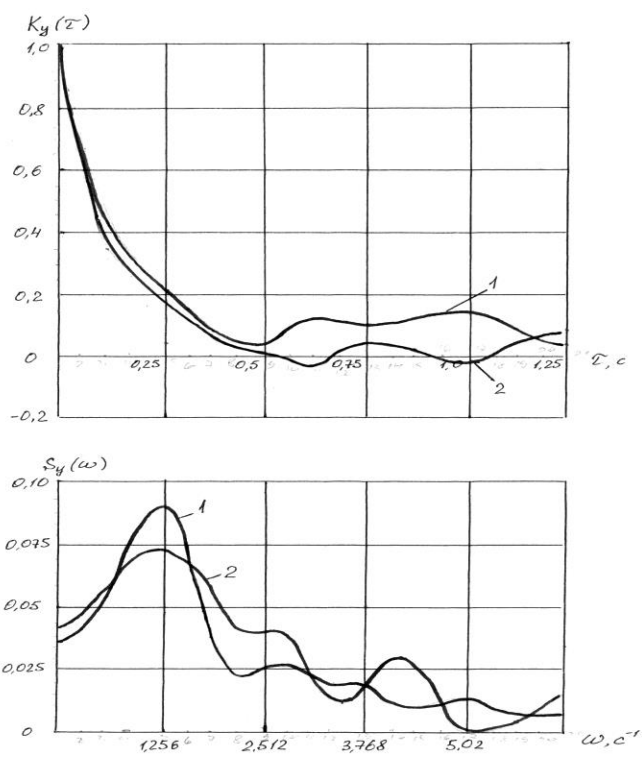
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Кореляційні функції $K(\tau)$ і спектральні щільності $S(\omega)$ реалізацій тягового опору пружно закріпленого корпусу плуга: а) з циліндричною пружиною, б) з конічною пружиною, в) жорстко закріпленого корпусу плуга і г) повздовжньою твердістю ґрунту: 1- дослід 1, 2- дослід 2.

Висновки. У результаті статистичного аналізу динамічної коливальної системи доведено не лінійність, стаціонарність і ергодичність коливальної системи. Підтверджено наявність сталих коливань робочих органів, коли можливі переходи системи з одного сталого періодичного руху у другий періодичний рух. При цьому амплітуда і період коливань змінюються випадковим образом.

Література.

- Диментберг М.Ф. Нелинейные стохастические задачи механических колебаний. – М.: Наука, - 1980. – 368 с.
- Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. – Ленинград: Колос, - 1970. – 376 с.
- Кушнар'ов А.С., Рогач Ю.П., Дюжаєв В.П. Визначення ступеня не лінійності процесу взаємодії корпусу плуга на пружній підвісці з ґрунтом // Праці /ТДАТА. – Мелітополь, 2004. – Вип. 19. - С.17-18.
- Дюжаєв В.П. Исследование математической модели динамической системы «корпус плуга на упругой подвеске - почва»// Праці/ ТДАТА.- Вип.27 – Мелітополь, 2005. – С.97 – 101.

CROSS-CORRELATION-SPECTRAL ANALYSIS of NONLINEAR OSCILLATING SYSTEM

V.Dyuzhaev

Summary

The ground of non-linearity is in-process considered, stationarity and ergodicity of the dynamic system, and cross-correlation analysis of dynamics of co-operation of the job organs of machines with soil.