

УДК 631.316.022

DOI: 10.15276/pidtt.1.62.2020.04

Шаніна З. М., Мартовицький Л. М., Глушко В. І.

Національний університет «Запорізька Політехніка»

## ОЦІНКА ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ҐРУНТУ ЗУБЧАСТИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ

*Анотація.* В процесі обробки (подрібнення) ґрунтів, в тому числі сільськогосподарських, відбувається складний динамічний процес взаємодії інструмента та суцільного ґрунту і його подрібнених частин. Аналіз осцилограм показує, що в абсолютній більшості процес подрібнення є стаціонарним випадковим процесом. Проведено спектральний аналіз коливальних процесів різних зубчастих органів під час обробки ґрунтів та запропонована кореляційна оцінка отриманих моделей

**Ключові слова:** обробка ґрунтів, подрібнення ґрунтів, зубчасті робочі органи, динаміка процесу обробки, імовірно-випадкові процеси, дисперсія, кореляційна функція, частота, спектральна щільність.

**Постановка проблеми.** Вихідним матеріалом вивчення роботи ґрунтообробного робочого органу в реальних умовах є осцилограми контрольованих величин. На сталому режимі роботи зубчастих робочих органів записи на осцилограмах можна характеризувати як стаціонарні випадкові процеси [1, 2]. Статистичні методи обробки цих записів дозволяють отримати ряд динамічних характеристик об'єкта, що використовують потім при аналізі роботи робочих органів ґрунтообробних машин в реальних виробничих умовах.

Загальне положення про вибір довжини реалізації в залежності від необхідної точності оцінок імовірнісних характеристик ґрунтується на тому, що математична статистика дозволяє отримати кількісну міру залежності оцінок від довжини реалізації. Але специфіка випадкових процесів, що спостерігаються при роботі зубчастих робочих органів як і інших ґрунтообробних робочих органів не допускає необмеженого збільшення довжини реалізації. При збільшенні довжини реалізації збільшується ймовірність отримання реалізації нестационарного процесу. Тобто може змінитися як математичне очікування, так і дисперсія процесу.

**Аналіз останніх досліджень.** В практиці вивчення і випробування сільськогосподарських мобільних агрегатів [1, 3, 4] при обробці осцилограм процесів обмежуються обчисленням середніх

показників параметрів і середньоквадратичних їх відхилень  $m_e$ . Проте оцінка характеристики процесів тільки по указаним значенням, як відомо, недостатня. Найбільш повною статичною характеристикою випадкового процесу є його кореляційна функція  $R_x(t_1, t_2)$ , що характеризує ступінь залежності між значеннями випадкової функції  $x(t)$  в момент часу  $t_1$  і  $t_2$ . Для стаціонарних процесів суттєвою статичною характеристикою є спектральна щільність  $s_x(\omega)$ , що описує частотний склад кореляційної функції випадкового процесу.

**Постановка задачі.** Метою даної роботи є визначення кореляційної функції, що характеризує випадковий процес ґрунтоподрібнення зубчастими робочими органами та спектральної щільності цієї функції.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз процесів, що протікають при роботі сільськогосподарських агрегатів показав, що в абсолютній більшості вони є стаціонарними в широкому сенсі, тобто математичне очікування і дисперсія постійні, а кореляційна функція залежить тільки від різниці моментів часу  $t_2 - t_1 = t$ .

$$R_x(t_1 - t_2) = R(t_2 - t_1) = R(t) \quad (1)$$

В першому наближенні випадкові процеси при роботі ґрунтообробних агрегатів у сталих режимах можуть бути віднесені до категорій стаціонарних з властивостями ергодичності. Тому вихідним матеріалом для обчислення кореляційної функції  $R_x(\tau)$  і спектральної щільності  $s_x(\omega)$  може служити одна реалізація (осцилограма) випадкового процесу  $x(t)$ , отримана за достатньо тривалий період часу  $T$ .

При визначенні необхідного числа  $n$  вимірів для достатньо надійного обчислення математичного очікування і кореляційної функції рекомендується виходити з умови, що в інтервалі довжиною один період найбільш високоякісної гармоніки розміщується не менше 10 точок досліджуваної випадкової функції. При цьому найбільш допустиме число (число, що визначає величину зсуву по осі абсцис) не повинно перевищувати чверті числа  $n$ , а інтервал запису  $T$  повинен бути достатньо великим для того, щоб кореляційна функція обчислювалася по формулі (2) і була близька до нуля для всіх  $m$  близьких до  $\frac{1}{4}n$ . Рекомендується брати тривалість реалізації в залежності від числа  $m_{\max}$ . Кількість точок кривої кореляційної функції, можна визначити по формулі (3)

$$m_{\max} = \frac{\tau_{\max}}{\Delta t}, \quad (2)$$

де  $\Delta t$  - крок квантації.

Тривалості реалізації  $T$  провідні вчені рекомендують брати в межах [3] та [4] відповідно

$$T = 10\tau_{\max}; \quad (3)$$

$$T = 4\tau_{\max}. \quad (4)$$

При визначенні мінімально допустимої тривалості реалізації  $T$  можна користуватися умовою (4) при необхідності більш точного визначення характеристик випадкової функції слід користуватися умовою (3).

Кореляційна функція  $R_x(\omega)$  стаціонарного випадкового процесу є математичним очікуванням множини ординат випадкової функції в момент часу  $(t + \tau)$ , тобто

$$R_x(\tau) = M[x(t) - x(t + \tau)]. \quad (5)$$

Визначивши  $R_x(\tau)$  як середнє за часом  $T$ , маємо

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t)x(t + \tau)dt, \quad (6)$$

де  $T$  - тривалість запису реалізації.

Так як експеримент проводиться за обмежений проміжок часу  $T$ , вихідною наближеною формулою для обчислення  $R_x(\tau)$  буде

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t + \tau)dt. \quad (7)$$

Зв'язок спектральної щільності з кореляційною функцією здійснюється косинусперетворенням Фур'є

$$s(\omega) = \frac{\pi}{2} \int_0^{\infty} R(\tau) \cos \omega\tau d\tau. \quad (8)$$

Отримані при тензометруванні осцилограми показують, що процес зміни тягового опору зубчастих робочих органів має вид безперервних випадкових коливань відносно середнього значення, тобто коливань різної частоти. Частота і розмах коливань залежать від стану ґрунту і характеру взаємодій з ним робочого органу.

Якщо в процесі зміни тягового опору переважають коливання з переважною частотою і амплітудою, то такий процес є упорядкованим, що протікає з певною закономірністю. Якщо ж переваги будь-яких частот не спостерігається, то процес зміни тягового опору набуває характер, так званого, «білого шуму».

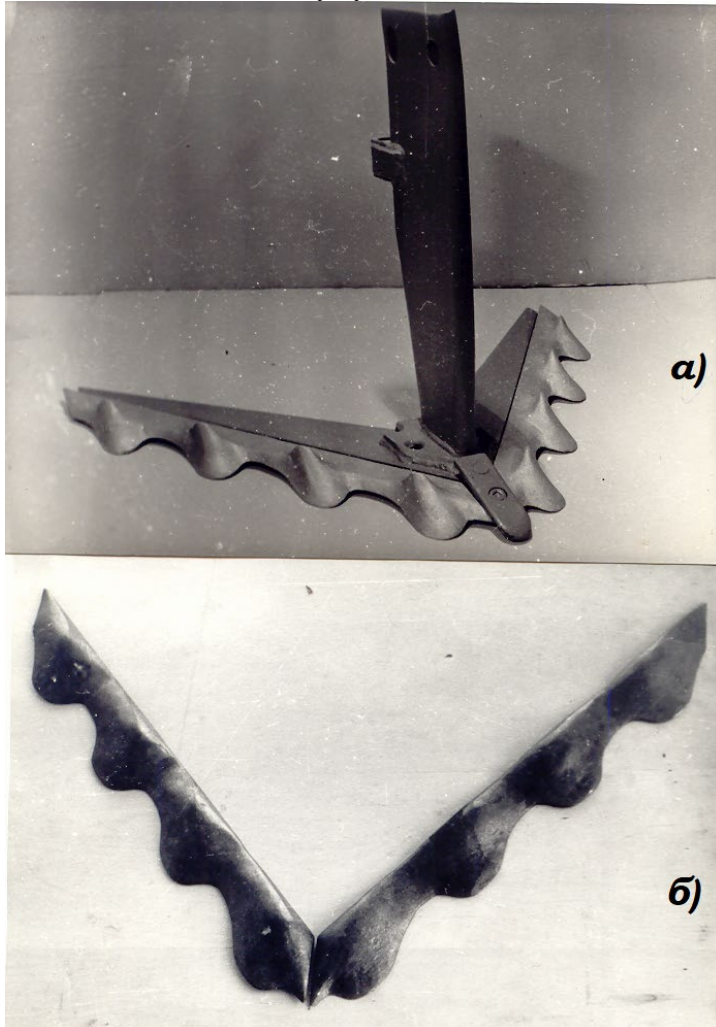
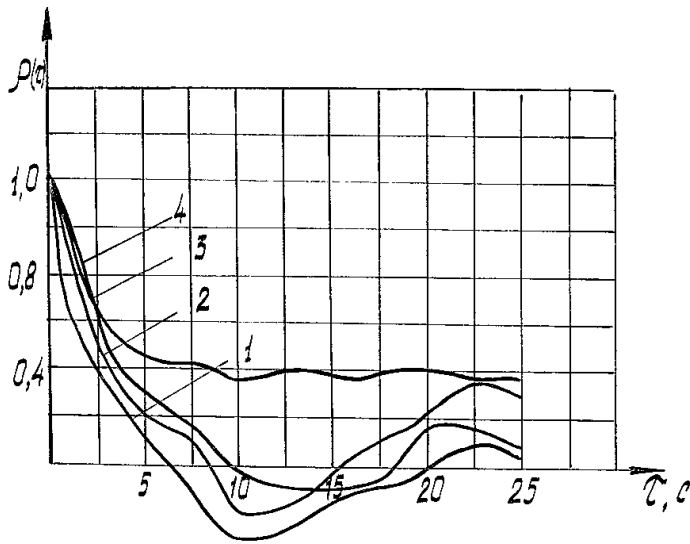


Рисунок 1 – Новий зубчастий робочий орган а)  
та його ріжуча частина б)

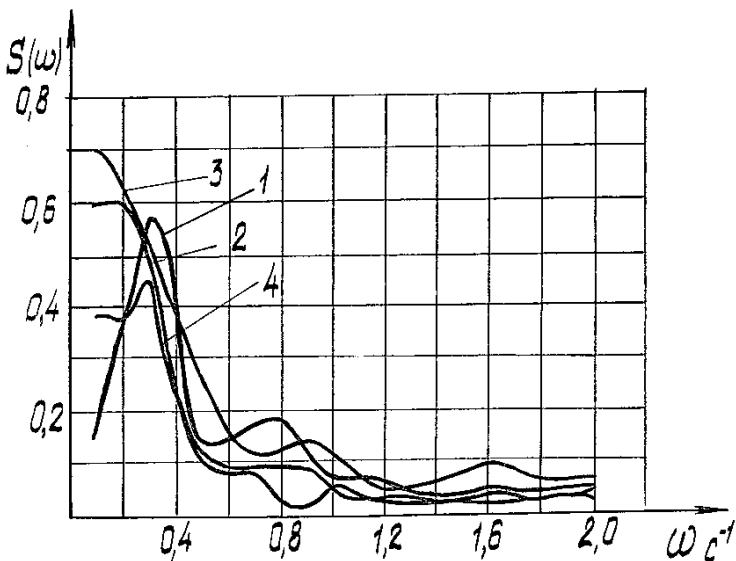
В результаті обробки ряду реалізацій при експериментальному дослідженні роботи одного нового (рис.1), трьох серійних зубчастих

робочих органів були отримані нормовані кореляційні функції (рис.2) і побудовані криві спектральної щільності (рис.3) для чотирьох типів зубчастих робочих органів.



1, 2, 3 – запропоновані нові типи робочих органів;  
4 – серійний робочий орган

Рисунок 2 – Нормована кореляційна функція для різних типів зубчастих робочих органів



1, 2, 3 – запропоновані нові типи робочих органів;  
4 – серійний робочий орган

Рисунок 3 – Спектральна щільність для різних типів зубчастих робочих органів

З теорії випадкових функцій відомо, що чим більше «упорядкованим» є випадковий процес, тим кореляційна функція спадає повільніше, а крива спектральної щільності має виражений максимум на інтервалі переважаючих частот, тобто витягується вгору, стискаючись горизонтально. Якщо ж випадковий процес має характер «білого шуму», то значення кореляційної функції дуже швидко згасає, а спектральна щільність має вид лінії паралельної вісі зміни частоти коливальності.

Характер отриманих кривих  $R(\tau)$  і  $s(\omega)$  дозволяє зробити деякі висновки про особливості коливальності тягових опорів зубчастих робочих органів. Графіки нормованих кореляційних функцій вказують на ергодичність процесу, так як  $R(\tau)$  прямує до нуля при  $\tau \rightarrow \infty$ . Згасання кривих свідчить про наявність в процесі прихованих періодичних складових з випадковими, що проявляється при роботі зубчастих робочих органів. Аналіз кореляційних функцій показує, що зубчасті робочі органи мають стійкі коливальності.

Порівняно з кривими кореляційної функції криві спектральної щільності не дають нової інформації про випадковий процес, але в зв'язку з переходом із часової області в частотну вони наочно розкривають внутрішню структуру випадкового процесу. Розташування максимумів спектрів в області частот до  $2...3$  рад/с при  $V = 1\text{ м/с}$  є характерним для ґрунтообробних робочих органів. При швидкості руху  $V = 1,46\text{ м/с}$  максимуми спектрів знаходяться в діапазоні  $\omega = 0,5$  1/с. Цей діапазон частот при невисоких швидкостях руху складає, в основному, дорезонансну область для коливальних систем, власна частота коливальності яких дорівнює  $f_0 = \omega_i / 2\pi \leq 3...4$  1/с.

Зниження тягового опору, що спостерігається при роботі зубчастих робочих органів можна пояснити тим, що міжзубчастий простір ріжучої частини лемеха рухається в тріщинах ґрунту, утворених виступом зуба. Тому витрати енергії на руйнування ґрунтового пласту зменшуються, що в свою чергу приводить до зниження енергомісткості процесу.

### **Висновки.**

1. Графіки нормованих кореляційних функцій вказують на ергодичність коливального процесу, який є при обробці ґрунту зубчастими робочими органами. При цьому мають місце приховані періодичні, а також випадкові складові коливальності.

2. Спектральний діапазон коливальності зубчастих органів при обробці ґрунтів є дорезонансним.

---

### Список використаної літератури

1. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментальных исследований и обработка опытных данных. – М. 1967.
2. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. – М.: Наука. 1968.
3. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. Л.: Колос, 1970.
4. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. – 3-е изд., испр. – М., Физматгиз. 1962.
5. Пугачев В.С. Основы теории вероятностей и математической статистики. – М.: Наука, 1979.

### EVALUATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS TO THE PROCESS OF TREATMENT OF RUNTU WITH TOOTH PARTS

Shanina Z. M., Martovyts'kyi L. M., Hlushko V. I.  
*Zaporizhzhia Polytechnic National University*

**Abstract.** In the process of processing (grinding) soils, including agricultural soils, there is a complex dynamic process of interaction between the tool and the solid soil and its crushed parts. Analysis of the waveforms shows that in the vast majority of the grinding process is a stationary random process. Spectral analysis of oscillatory processes of different gear tools during soil processing is performed and correlation estimation of the obtained models is proposed

**Keywords:** soil treatment, soil grinding, toothed working bodies, dynamics of the treatment process, probability-random processes, dispersion, correlation function, frequency, spectral density.