

## АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ЗБУРЮЮЧИХ НЕРІВНОСТЕЙ АГРОФОНІВ

Oleksandr Brovaretsch

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
Heroiv Oborony Str. 15, Kiev, 03041, Ukraine

**Анотація.** У статті наведена методика аналізу структури збурюючих нерівностей агрофонів на основі даних отриманих в результаті експериментальних досліджень.

**Ключові слова:** агрофон, збурюючі нерівності, структура агрофонів.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Профіль поверхні поля – одне із головних зовнішніх впливів на будь-яку мобільну сільськогосподарський машину. Він має важливий вплив на стійкість ходу робочих органів [1, 2, 3, 4], лінійні та кутові механічні коливання машини [5, 6], а відповідно і на ефективність їх роботи [7, 8].

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На даному етапі розроблені методики для оцінки нерівностей агрофонів (поверхні поля після виконання певної технологічної операції) [2, 7, 8], відповідно до яких поверхню поля профілюють.

Метою досліджень є встановлення виразу для опису структури збурюючих нерівностей агрофонів.

### РЕЗУЛЬТАТИ І ДИСКУСІЯ

За допомогою профілографа звичайним методом можна отримати кореляційну функцію  $R(L, L+l)$  та спектральну щільність  $S(\omega)$ , одержуючи випадкову функцію  $f(L)$  шляху  $L$ .

При цьому аргументи  $L$  та  $l$  кореляційної функції будуть мати розмірність довжини (м), а аргумент її спектральної щільності – розмірність  $\lambda^{-1}$ . Ці статичні характеристики, в тому числі і дисперсія  $D_z$ , визначають коливання випадкової величини (ординати висот нерівностей) у функції шляху. Однак при розгляді машини приймають значення не випадкових функцій  $f(L)$  та її характеристики  $R(t)$  і  $S(\omega)$ , а вплив цієї функції на машину, який розрізняють залежно від швидкості її руху [2, 9].

Тому для характеристики профілю, як функції впливу на машину, потрібно розглядати як випадковий стаціонарний процес з аргументом  $t$ . Такий процес протікає однорідно протягом часу  $\tau = t_2 - t_1$ , математичне сподівання  $m_x$  і дисперсія  $D_x$  постійні, а кореляційна функція змінюється  $R(t)$ . Тобто  $m_x(t) = m_x = const$ ;  $m_x(t)m_x = const$ ;  $R_x(t_1, t_2) = R_x(t_1 - t_2) = R_x(\tau)$ .

Важливою ознакою випадкової функції зміни висот нерівностей агрофонів є ергодичність [8]. Для такого процесу розрахунок статистичних характеристик суттєво спрощується. Математичне сподівання і кореляційна функція визначаються, як середні значення окремої реалізації:

$$m_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt; \quad R(\tau) = m_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \dot{x}(t) \dot{x}(t + \tau) dt \quad (1)$$

де:  $x^0(t) = x(t) - m_x$  – центровий випадок процесу.

Частотний склад випадкового процесу оцінюють спектральною щільністю  $S(\omega)$ . У порівнянні з кореляційною функцією  $R(t)$ , спектральна щільність  $S(\omega)$  не дає повної інформації про випадковий процес, але у зв'язку із переходом із часової області в частотну наглядно розкриває внутрішню структуру випадкового процесу [2, 10, 11].

Кореляційна функція  $R(t)$  і спектральна щільність  $S(\omega)$ , згідно з методиками [2, 7, 8], зв'язані між собою косинус-перетворенням Фур'є:

$$S_x(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R_x(\tau) \cos \omega \tau d\tau \quad R_x(\tau) = \int_0^{\infty} S_x(\omega) \cos \omega \tau d\omega \quad (2)$$

Для одержання статистичних характеристик поля нами розроблена спеціалізована установка для запису нерівностей поверхні поля.

Одним із основних методичних питань дослідження нерівностей агрофону є вибір довжини вимірювальної ділянки – реалізація. В роботі використані відомі залежності для визначення довжини запису  $l$  випадкових процесів, до яких відноситься мікрорельєф поля [8, 12, 13]:

$$l \geq 10\tau_{\max} \quad (3)$$

де:  $\tau_{\max}$  – максимальна величини кроку кореляції при визначенні кореляційної функції, починаючи з якої значення функції за абсолютною величиною менші  $0,05S^2$ ,  $S$  – середньо квадратичне відхилення.

Згідно з виразом (3), достатньою є довжина 50 – 200 м. Нами прийнято – довжину реалізації  $l = 200$  м, крок виміру 0,2 м.

Довжина поверхні поля, для якого визначається математичне сподівання, визначається за виразом [2]:

$$l = 2 \frac{V}{v_i} \quad (4)$$

де:  $V$  – швидкість руху,  $\frac{m}{c}$ ;  $v_i$  – найнижча частота власних коливань,  $c^{-1}$ .

Досліджені агрофони характеризуються різними параметрами нерівностей (табл. 1).

Таблиця 1. Статистичні характеристики агрофонів

№ п/п	Технологічна операція	Значення висот нерівностей	
		Дисперсія $D_x$ , $cm^2$	Середнє квадратичне відхилення, $S$ , $cm$
1.	Оранка без боронування	15,21	3,9
2.	Оранка з боронуванням	0,49	0,7
3.	Дискування	6,76	2,6
4.	Сівба зернових	1,96	1,4
5.	Посадка картоплі	7,29	2,7
6.	Коткування	0,09	0,3
7.	Міжрядна культивування просапних	3,24	1,8
8.	Збирання зернових культур	0,25	0,5
9.	Збирання картоплі	0,49	0,7
10.	Лушення стерні	5,29	2,3

Найбільші значення  $D_x$  і  $S$  відповідають агрофону після оранки без боронування, а найменші – після коткування. Для аналізу з врахуванням даних досліджень (рис. 1) побудовані нормовані кореляційні функції [2]:

$$\rho(l) = \frac{R(l)}{D_x}, \quad (5)$$

де:  $R(l)$  – кореляційна функція.

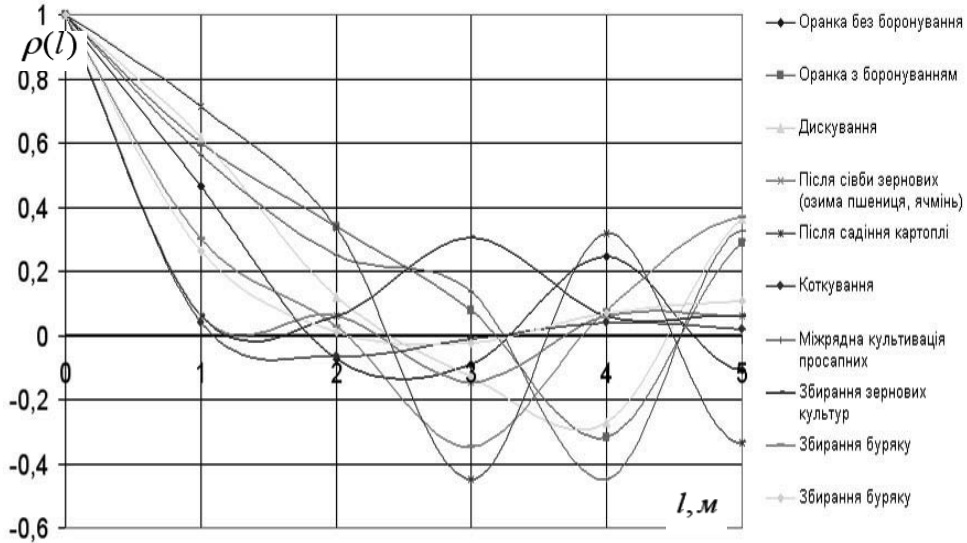


Рис. 1. Нормовані кореляційні функції нерівностей агрофонів

Нормовані кореляційні функції нерівностей агрофонів (рис. 1) виділені із ансамблю (30 шт.) кривих на основі експериментальних досліджень нерівностей агрофонів [1] після виконання відповідної технологічної операції, профілограми яких були отримані при проведенні експериментальних досліджень нерівностей агрофонів.

У випадковому процесі (рис. 1) спостерігається наявність періодичної складової. Із збільшенням  $l$  кореляція між ординатами процесу зменшується. При  $l = l_0$  крива перетинає вісь абсцис, а далі коливання відносно осі затухають. Структура агрофонів поверхні поля для кожного агрофону має свої відмінності. Агрофони складаються із нерівностей більшої довжини, які несуттєво змінюються за висотою, на відміну від нерівностей меншої довжини. У результаті апроксимації графіків нормованих кореляційних функцій встановлено, що можна використати більш простий вираз [1, 2]. Для визначення нормованої спектральної щільності  $S(\omega)$  підставимо значення  $R(l)$  у вираз (2). Встановлено, що нерівності агрофонів властивий вузькосмуговий спектр розподілу дисперсії, який при швидкості у діапазоні швидкостей від 2 – 4 м/с знаходиться у межах  $\omega = 2,0 \dots 10,4 \text{с}^{-1}$  (рис. 2). Причому максимум спектральної щільності спостерігається на частоті  $\omega \approx 6,8 \text{с}^{-1}$  ( $\nu = 1,1 \text{Гц}$ ).

На основі проведених досліджень в результаті апроксимації графіків нормованих кореляційних функцій (рис. 2) та спектральних щільностей нерівностей агрофонів (рис. 2) встановлено функціональну залежність для опису нерівностей агрофонів  $f_{ii}$  від амплітуди  $\lambda$  та кроку  $\alpha$  [1]:

$$R(l) = f_{ii} = \lambda \cdot \left( 1 - \cos \left( \frac{2\pi}{\alpha} \cdot (x + \gamma \cdot \cos(\beta \cdot x)) + \varphi_{ii} \right) \right), \quad (6)$$

де  $f_{ii}$  – висота нерівностей агрофону, м,

$\lambda$  – амплітуда нерівностей агрофону, м,

$\alpha$  – крок нерівностей агрофону, м,

$x = V \cdot t$  – поточна координата машини, м,

$V$  – швидкість руху машини, м/с,

$\gamma$  – коефіцієнт (у нашому випадку  $\gamma = 1\text{м}$ ), м,

$\cos(\beta \cdot x)$  – функція, яка враховує нелінійні явища розподілу нерівностей агрофону,

$\beta$  – коефіцієнт, 1/м; На основі апроксимації результатів експериментальних досліджень встановлено  $\beta = 20$ ,

$\varphi_0$  – початкова фаза, рад,

$t$  – час руху ПМ, с.

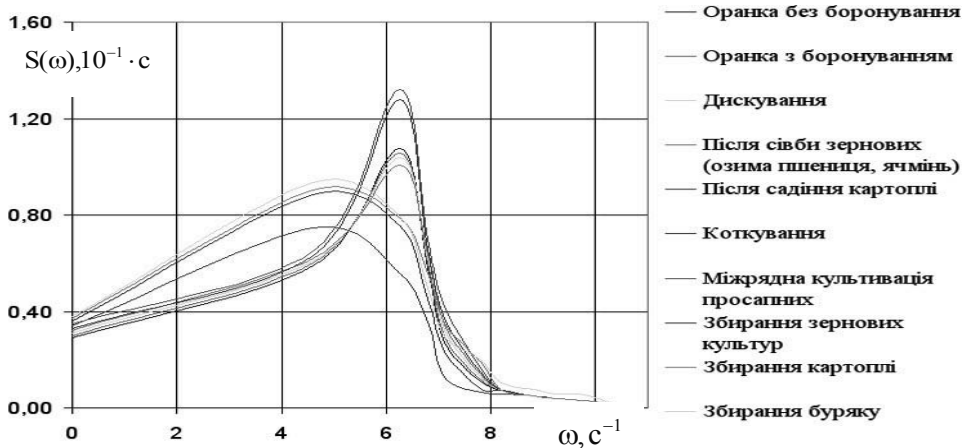


Рис. 2. Спектральні щільності нерівностей агрофонів

У результаті обробки результатів експериментальних досліджень нерівностей агрофонів (рис. 3) встановлено наявність періодичної складової (висоти  $f_{ii}$  та кроку нерівностей  $\alpha$ ), що входить до виразу (6) для кожного класу агрофону (табл. 2).

Таблиця 2. Результати експериментальних досліджень нерівностей агрофонів

№ п/п	Технологічна операція	Величина параметра	
		$\lambda$ , м	$\alpha$ , м
1	Оранка без боронування	0,05	1,15
2	Оранка з боронуванням	0,03	2,25
3	Дискування	0,04	1,35
4	Сівба зернових	0,03	2,20
5	Посадка картоплі	0,04	1,45
6	Коткування	0,02	3,10
7	Міжрядна культивування просапних	0,04	1,35
8	Збирання зернових культур	0,03	2,30
9	Збирання картоплі	0,04	1,55
10	Лущення стерні	0,04	2,80

За допомогою програмного продукту MS «Excel» було змодельовано отримані дані експериментальних досліджень (табл. 2) та визначено для кожного агрофону значення амплітуди –  $\lambda$  та кроку нерівностей –  $\alpha$ . Змодельовано за допомогою виразу (6) та визначено висоту нерівностей агрофонів  $f_{ii}$  (рис. 3).

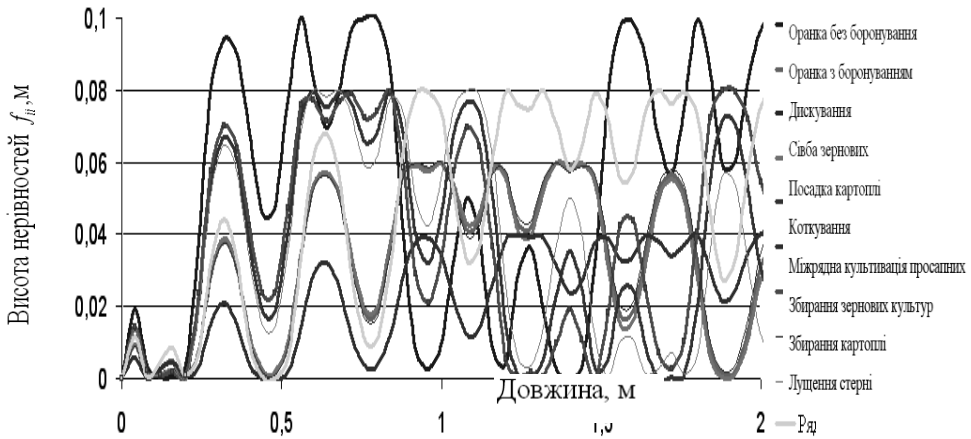


Рис. 3. Змодельовані нерівності агрофонів

Коефіцієнт кореляції між експериментальними даними та їх змодельованими відповідниками за допомогою виразу (6) (рис. 3) значеннями нерівностей агрофонів склав  $R=0,92$ , що засвідчує достатньо високу достовірність апроксимації (6). Виявлення періодичної складової (висоти  $f_{ii}$  та кроку нерівностей  $\alpha$ ) при моделюванні нерівностей агрофонів (поверхня поля після виконання відповідної технологічної операції) дозволило підвищити достовірність теоретичних досліджень функціонування ПІМ.

За результатами моделювання нерівностей агрофонів з використанням програмного продукту MS «Excel» встановлено доцільність їх умовного поділу на три класи залежно від характеру нерівностей – висоти  $f_{ii}$  та кроку  $\alpha$  нерівностей (табл. 3).

Таблиця 3. Параметри нерівностей агрофонів

Агрофон	$\lambda$ , м	$\alpha$ , м	$f_{ii}$ , м
Клас 1	0,02	3,00	0,04
Клас 2	0,03	2,30	0,06
Клас 3	0,04	1,60	0,08

До 1 класу віднесено нерівності агрофонів після коткування; агрофони 2 класу – оранка з боронуванням, сівба зернових, збирання зернових культур; агрофони 3 класу – оранка без боронування, дискування, посадка картоплі, міжрядна культивування просапних, збирання картоплі, лушення стерні. Для експериментальних та теоретичних досліджень приймаємо дані параметрів агрофонів згідно з табл. 3. та було змодельовано отримані класи нерівностей агрофонів даних (рис. 4).

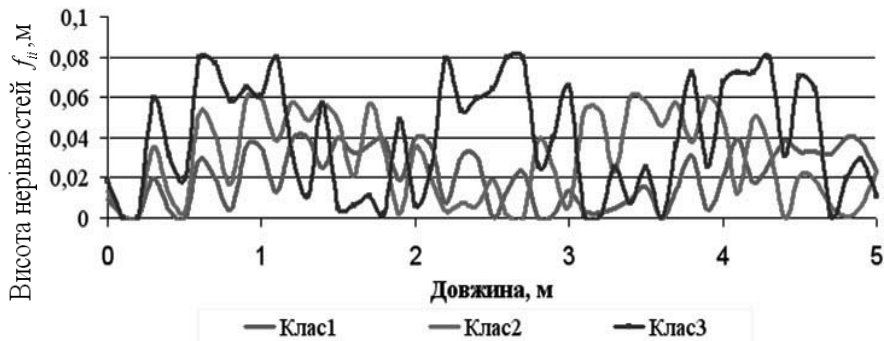


Рис. 4. Змодельовані нерівності різних класів агрофонів

## ВИСНОВОК

На основі одержаних даних (рис. 4, табл. 3) з використанням більш точного виразу для опису нерівностей агрофонів (6) можна змоделювати нерівності агрофонів, що дозволять підвищити достовірність одержаних теоретичних та експериментальних результатів досліджень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Броварець О.О. Дослідження коливань поверхні поля після виконання різних технологічних операцій / О.О. Броварець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2009. – Вип. 134. Ч.2. – С. 177–185.
2. Мартишко В.М. Вплив мікропрофілів полів на ходові системи сільськогосподарських машин / Мартишко В.М., Волянський М.С., Бабій В.П. // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К., 2005. – Вип. 92. Ч.2, – С. 257–263.
3. Дмитричко С.С. Об определении статистических характеристик микропрофилей грунтовых дорог и полей / С.С. Дмитричко, Ю.А. Завялов // Тракторы и с.х. машины. – 1983. – № 5. – С. 10–12.
4. Кириенко Б.Н. Статистические исследования микропрофиля полевых дорог и некоторых типов полей / Б.Н. Кириенко // Пути повышения конструкций сельскохозяйственных машин. – Новосибирск: СХЛ, 1967. – С. 109–114.
5. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления / [Лурье А.Б. и др.]; под ред. А.Б. Лурье. – Ленинград: Ленинградское отделение. 1979. – 312 с.
6. Силаев А.А. Спектральная теория подрессоривания транспортных машин / А.А. Силаев. – М.: Машиностроение. – 1972. – 192 с.
7. Скоробогатый Г.Ф. Статистические свойства неровностей микропрофилей полей / Г.Ф. Скоробогатый // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1985. – № 10. – С. 83–89.
8. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / А.Б. Лурье. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Колос, 1981. – 382 с.
9. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель / [под ред. А.А. Хачатурова]. – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.
10. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. Колебания и плавность хода / Р.В. Ротенберг. – [3-е изд., перер. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
11. Kececloglu D.B., Lall V.R. Reliability approach to rotating-component design, NASA TND-7846. – Wahington. – 1975. – 58 p.
12. Ronkin I.P. Common Cause Failure Analysis // SAE Technical Paper Series. – 1980. – N 0631. – P. 1–8.
13. Statistics'80 of Road Traffic Accidents in Japan, Intern. Ass of TrafficandSafet Sciences, Tokyo. – 1980. – P. 227.

## ANALYSIS OF STRUCTURE OF REVOLTING INEQUALITIES AGRO CLUTTER

**Summary.** In paper there is resulted method of analysis of structure of revolting inequalities of field on basis of given got as result experimental researches.

**Key words:** agro clutter, revolting inequalities, structure.