

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОГО СКЛАДУ НИЗЬКОЧАСТОТНОЇ ВІБРАЦІЇ НА ПІДЛОЗІ КАБІНИ І СИДІННІ ВОДІЯ ТРАКТОРІВ ТИПУ Т-150К

Лук'яненко В.М., к.т.н., доц., Жиліна О.О., ст. викл.,  
Кісь В.М., к.т.н., Ярошик Н.В., студ.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства  
імені Петра Василенка*

*Стаття присвячена дослідженню рівнів і частотного складу вібрації, що діє на віброзахисну підвіску і оператора трактору Т-150 К*

**Постановка проблеми.** Віброзахисні сидіння є складовою частиною системи підресорювання трактора і тому оптимізація параметрів сидіння повинна ув'язуватися і узгоджуватися з конструкцією і характеристиками машини в цілому.

У зв'язку з цим представляється необхідним для вибору оптимальних і раціональних параметрів підвісок сидінь досліджувати режими вібронавантаження робочих місць водіїв в найбільш характерних ґрунтово-дорожніх умовах роботи тракторів.

**Аналіз останніх досліджень** показав, що інформація про коливання при русі транспортних машин явно недостатня. Відсутні стандартизовані методики для її збору і обробки. Результати різних досліджень (лабораторних і польових) важко, а деколи і неможливо зіставити, унаслідок відмінностей в цілях і методах експериментів, вживаної апаратури, реєстрації і обробки експериментальних матеріалів.

**Мета.** Метою є визначення рівнів і частотного складу вібрації, що діє на віброзахисну підвіску і оператора в реальних умовах експлуатації машин.

**Результати досліджень.** Необхідно провести глибокий аналіз частотного складу досліджуваних параметрів низькочастотної вібрації на вході і виході віброзахисної підвіски сидіння.

Виходячи з поставленого завдання, вибираються апаратура для реєстрації процесів низькочастотної вібрації і методи обробки і аналізу цієї інформації.

Для запису випадкових процесів прискорень використовувався комплект тензометричної апаратури, блок-схема якої наводиться на рисунку 1.

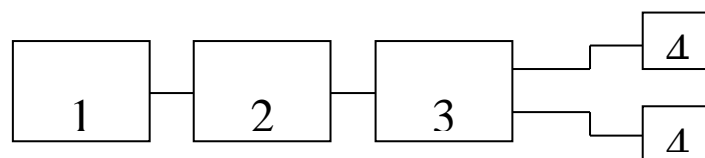


Рис. 1 – Блок-схема вимірювального комплексу для реєстрації низькочастотної вібрації

1 – осцилограф Н-700; 2 – обмежувальний фільтр LF-6В (Японія); 3 – підсилювач 8АНЧ-7М;  
4 – акселерометри АТ-2

При реєстрації на осцилографічний папір записувалися безперервні знакозмінні коливальні процеси.

Оскільки енергія коливань трактора, в основному, знаходиться в діапазоні частот 0,5-10 Гц, то частота зрізу обмежувального фільтру (рисунок 1) встановлювалася 10 Гц.

Тривалість реєстрації процесу вибираємо по формулі (1).

$$T \geq \frac{1}{\xi_0^2 \cdot \Delta f}, \quad (1)$$

При  $\xi_0 = 20\%$  і  $\Delta f = 0,52$  Гц,  $T \geq 50$  с. Осцилограф Н-700, який використовувався при реєстрації процесів коливань забезпечує тривалість реєстрації 120 ... 130 с. залежно від швидкості протягання. Такий запис є статистично показним і достатнім для розрахунків спектральній щільності для частот 0,5 Гц і вище.

Великий об'єм інформації, необхідної для здобуття статистично достовірних характеристик процесу, що вивчається, при обробці вимагає виконання громіздких розрахунків із застосуванням ЕОМ. Отже, безперервний або аналоговий сигнал потрібно відлічувати в дискретні моменти часу і відлічені значення переводити в числа, що містять кінцеве число цифр.

Переклад інформації з безперервної в дискретну форму (квантування) і запис її на перфострічці в модифікованому коді М2 здійснювався на напівавтоматичній установці для обробки осцилограм типа Ф-001.

Необхідний крок квантування за часом  $\Delta t$  процесу, що вивчається, знаходимо з умов Найквіста-Котельникова [1, 2]

$$f_B \leq \frac{1}{2\Delta t}, \quad (2)$$

де  $f_B$  – вища частота процесу, що вивчається, Гц.

Приймаючи  $f_B = 10$  Гц, отримуємо по формулі (2)  $\Delta t = 0,05$  с.

З врахуванням швидкості протягання осцилографа Н-700 і стрічкопротяжного механізму установки для обробки осцилограм крок квантування коливається від 0,00625 з до 0,05 с., тобто умова (2) виконується.

Крок по частоті спектральної щільності вибираємо  $\Delta f = 0,2$  Гц, що дозволить не пропустити на графіці спектральної щільності можливі екстремуми.

Приймаємо в програмі кількість точок кореляційної функції, що розраховуються,  $K = 200$ . Цієї кількості вистачає для виявлення на графіках кореляційних функцій періодичних складових прискорень. Рух тракторного агрегату в сталому режимі розглядаємо як стаціонарний випадковий, ергодичний процес [1].

В процесі розробки програм рахунку статистичних характеристик застосовуємо алгоритм, в якому визначалися оцінки математичного очікування  $\tilde{M}_x$  дисперсії  $\tilde{D}_x$ , нормованій кореляційній функції  $\tilde{R}$  і спектральній щільності випадкового процесу по відомих в математичній статистиці залежностях [1, 2].

1. Оцінка математичного очікування визначалася для контролю якості запису випадкового процесу: при дотриманні необхідних умов  $\tilde{M}_x = 0$  або

трохи відрізняється від 0.

$$\tilde{M}_x = N^{-1} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3)$$

де  $N$  – число точок в реалізації випадкового процесу;  
 $X_i$  – поточне значення ординати оброблюваної реалізації в  $i$ -ій точці.

2. Оцінка дисперсії випадкового процесу:

$$\tilde{D}_x = N^{-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{M}_x)^2 \quad (4)$$

3. Оцінка кореляційної функції випадкового процесу:

$$\tilde{k}_x(\tau) = M[\dot{x}(t) \cdot \dot{x}(t + \tau)] = (T - \tau)^{-1} \sum_0^{T-\tau} \dot{x}(t) \cdot \dot{x}(t + \tau), \quad (5)$$

де  $\dot{x}(t) = x(t) - M_x$  – центроване по математичному очікуванню значення випадкового процесу;  
 $x(t)$  – поточне значення ординат прискорень у момент часу  $t_{c1}$ ;  
 $x(t + \tau)$  – поточне значення ординат прискорень у момент часу  $t + \tau$ ;  
 $0 < \tau < t_k = k \cdot \Delta t$ ;  
 $t_k$  – інтервал кореляції;  
 $K$  – число точок кореляційної функції.

4. Пронормувавши кореляційну функцію по дисперсії, отримаємо:

$$R_x(\tau) = \frac{k_x(\tau)}{\tilde{D}_x}, \quad (6)$$

5. Використовуючи перетворення Фур'є кореляційної функції, отримаємо вираження для оцінки спектральної щільності процесу, що вивчається, в загальному випадку

$$\tilde{S}_x(\omega) = 2(\pi \cdot \tilde{D}_x)^{-1} \cdot \int_0^{\infty} k_x(\tau) \cos \omega \tau \cdot d\tau, \quad (7)$$

де  $\omega$  - кругова частота.

У програмах рахунку всі вище перелічені характеристики представлені в дискретному вигляді, зручному для проведення розрахунків на ЕОМ.

Послідовність алгоритму обчислень наводиться нижче.

1. Оцінки математичного очікування і дисперсії проводяться по формулах (3) і (4).

2. Середньоквадратичне відхилення процесу:

$$\sigma_x = \sqrt{\tilde{D}_x} \quad (8)$$

3. Дискретний вигляд формули для оцінки нормованої кореляційної функції

$$\tilde{R}_j = [(N - j)^{-1} \cdot \sum_{i=1}^{N-j} (x_i - \tilde{x}_x)] / \tilde{D}_x, \quad (9)$$

де  $j = 0 \dots k$ ;  $i = 1 \dots N - j$ .

4. Для виявлення характеру коливального процесу здійснюється виділення

періодичних складових випадкового процесу з параметрами:  $\alpha$  - амплітуда,  $T_1$  - період.

Параметри гармонійної складової процесу:

$$M_1 = \alpha^2 / 2; T_1$$

визначаються по вигляду графіка нормованої кореляційної функції.

Виділення гармонійних складових, при їх наявності, з кореляційної функції здійснюється по формулі:

$$\tilde{R}_{b_j} = \left(1 - \frac{\alpha^2}{2} \tilde{D}_x\right)^{-1} \cdot \left[\tilde{R}_j - \alpha^2 \cdot (2\tilde{D}_x)^{-1} \cos 2\pi t/T\right], \quad (10)$$

де  $t = j \cdot \Delta t$ ;  $j = 0 \dots k$ .

5. Перед розрахунком спектральної щільності здійснювалося "згладжування" нормованої кореляційної функції кореляційним "вікном" Бартлета [3]

$$R_{c_j} = \begin{cases} \tilde{R}_{b_j} (1 - j/i); & j < i \\ 0; & j \geq i \end{cases} \quad (11)$$

6. Формула дискретного рахунку спектральної щільності має вигляд

$$S(t) = 2\Delta t \left[1 + 2 \sum_{j=2}^{i=1} \tilde{R}_j \cos(2\pi j f \Delta t)\right], \quad (12)$$

де  $f = f_H; f_H + \Delta f \dots$ ;  $f \leq f_B$ ;  $f_H$  и  $f_B$  - граничні значення частот смуги досліджуваного процесу в 1/с.

По цій методиці були оброблені записи прискорень на підлозі кабіни і сидінні водія тракторів Т-150К.

Кореляційні функції випадкових коливань на сидінні водія і підлозі кабіни трактора мають вигляд, представлений на рисунку 2.

Така крива характеризує процес, в якому явно присутні гармонійні складові, тобто близький до гармонійного, а процес називається вузькосмуговим, випадковим.

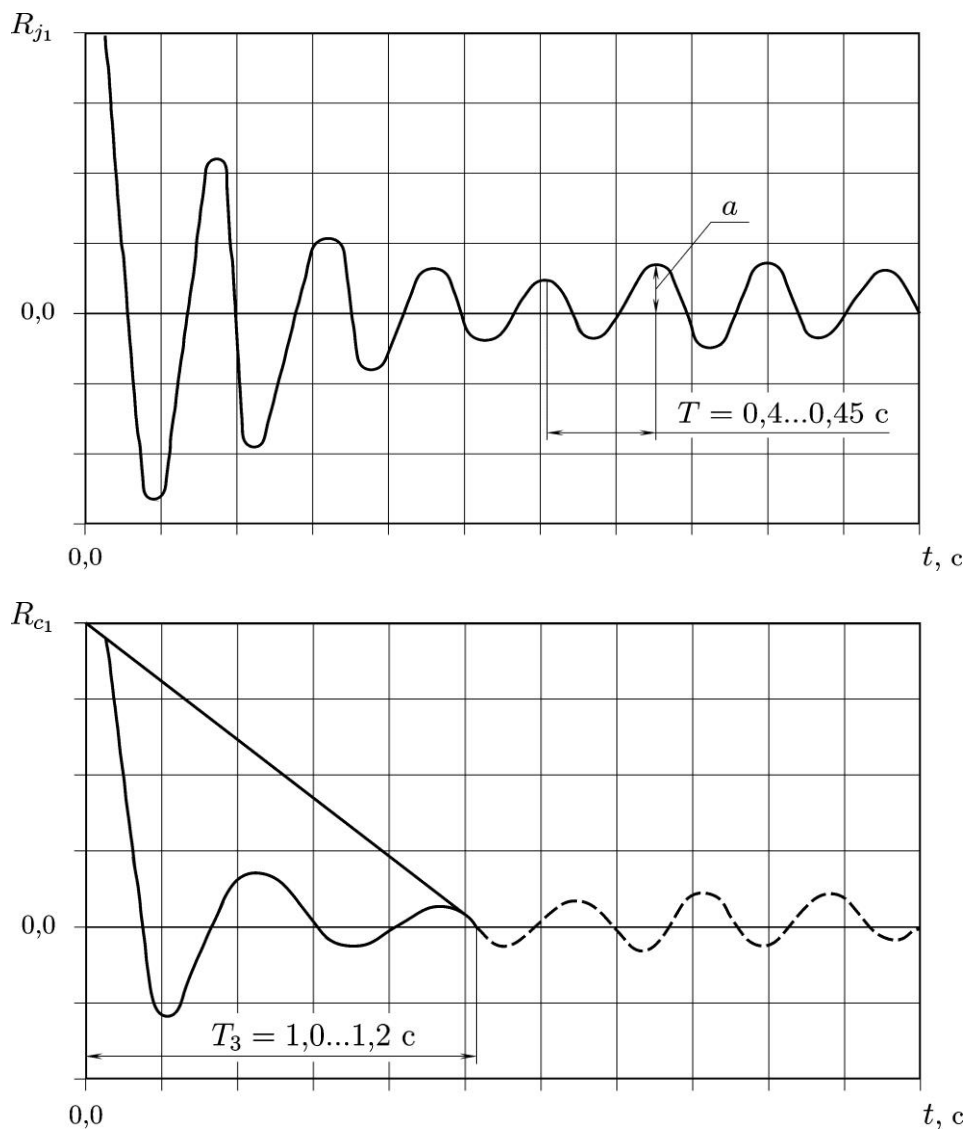


Рис. 2 – Нормована кореляційна функція у вихідному вигляді (а) і після "згладжування" (б)

Виділення періодичних складових, що проводилося, показало наявність у випадковому процесі однієї гармонійної складової з частотами близькими до власних частот трактора і сидіння. Так на сидінні водія частота коливань періодичної складової знаходилася в діапазоні  $f_{Г.С.} = 1,6 \dots 1,9 \text{ Гц}$ , на підлозі кабіни  $f_{Г.П.} = 2,0 \dots 2,4 \text{ Гц}$ .

Енергія періодичної складової коливається в межах 15-55 % від загального рівня прискорень. Після виділення періодичній складовій проводимо "згладжування" отриманої кореляційної функції "вікном" Бартлета з тимчасовим інтервалом 1,3 ... 1,5 с.

Типовий вигляд згладженої кореляційної функції наводиться на рисунку 2.

Після цього проводиться розрахунок спектральної щільності. Характерний вигляд кривої спектральної щільності прискорень на сидінні оператора наводиться на рисунку 3.

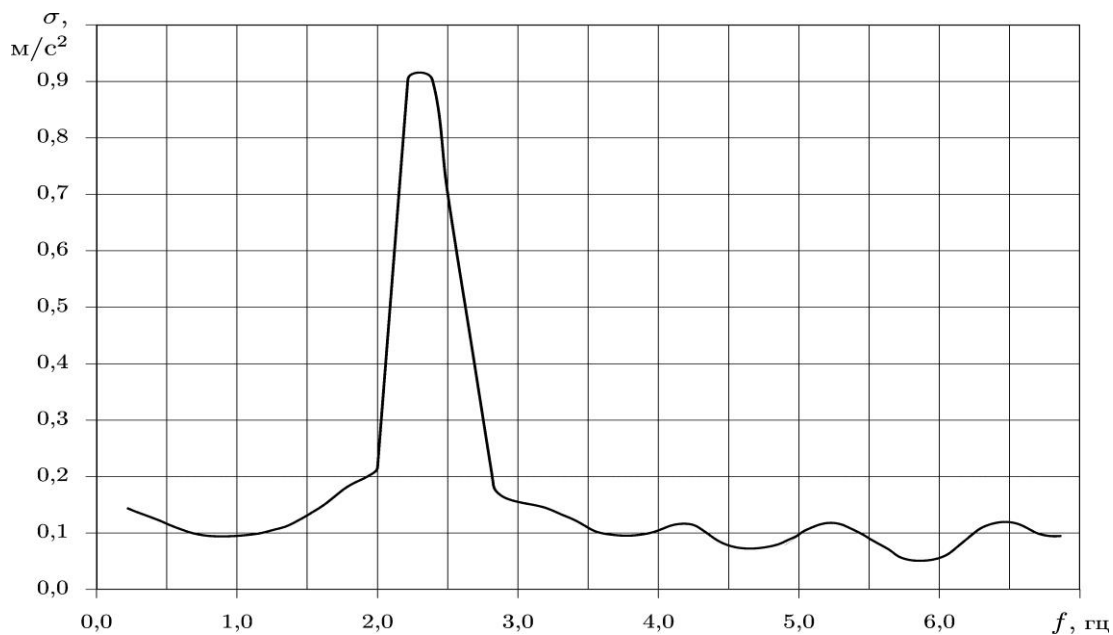


Рис. 3 – Типовий вигляд розподілу енергії коливань по частоті, характерній для трактора Т-150К

Енергія коливань випадкового процесу зосереджена у вузькому частотному діапазоні з домінуючою частотою, співпадаючою з власною частотою досліджуваного елемента.

**Висновки.** Аналіз графіків спектральної щільності випадкових процесів прискорень, записаних на оранці і транспортних роботах показав, що домінуюча частота знаходиться в діапазоні 2 ... 2,3 Гц залежно від режиму руху. В даному випадку частоти підвіски сидіння і збурювальної дії близькі за значенням, що приводить до нестійкої роботи підвіски.

Результати дослідження можна поширити для застосування на повнопривідні трактори із шарнірно-спряженою рамою.

### Список використаних джерел

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. - 576с.
2. Менли Р. Анализ и обработка записей колебаний [Текст] / Р. Менли. – М.: Машиностроение, 1972. - 367 с.
3. Дженкинс Г. Спектральный анализ и его приложения [Текст] / Г. Дженкинс, Д. Ватс. Выпуск 1. – М.: Мир, 1971. - 316 с. (часть 1).

### Аннотація

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА НИЗКОЧАСТОТНОЙ ВИБРАЦИИ НА ПОЛУ КАБИНЫ И СИДЕНИИ ВОДИТЕЛЯ ТРАКТОРОВ ТИПА Т-150К

Лукьяненко В.М., Жилина Е.А., Кись В.Н., Ярошик Н.В.

*Статья посвящена исследованию уровней и частотного состава вибрации,*

*которая действует на виброзащитную подвеску и оператора трактора T- 150K*

**Abstract**

**RESEARCH OF SPECTRAL COMPOSITION OF LOW-FREQUENCY VIBRATION ON THE FLOOR OF BOOTH AND SEAT OF DRIVER OF TRACTORS OF TYPE OF T-150K**

V. Lukyanenko, E. Zhilina, V. Kys, N. Yaroshik

*The article is sanctified to research of levels and frequency composition of vibration that operates on a vibroprotective pendant and operator of tractor T- 150 K*