

Л.С. Сікора, д.т.н., НУ «Львівська політехніка»  
Н.Р. Друк, магістр, ВПТУ - КіБ. Львів.

## **ЛАЗЕРНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗОНДУВАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ПОЛІВ ДЕФОРМАЦІЇ ПОВЕРХНЕВИХ СТРУКТУР ЕНЕРГОАКТИВНИХ АГРЕГАТІВ ТА БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

*Анотація.* В статті розглянуто підходи до побудови моделей вібраційних полів деформації поверхні та їх лазерне зондування для оцінки рівня надійності конструкцій.

*Abstract.* The article deals with approaches to building models of surface deformation vibration field and laser sensing to assess the level of reliability structures.

*Аннотация.* В статье рассмотрены подходы к построению моделей вибрационных полей деформации поверхности и их лазерное зондирование для оценки уровня надежности конструкций.

*Ключові слова:* деформація, поверхнєве поле, агрегат, лазерне зондування, вібрація.

### Актуальність.

Сучасний етап виробництва електроенергії для забезпечення потужних енергоємних технологічних процесів з агрегатною структурою характеризується високим рівнем зношеності обладнання, яке має великий термін експлуатації (10–70) років. Для таких виробничих структур з великими затратами енергії на агрегат є важливою задачею діагностування стану машини, двигунів, механізмів передачі потужностей а також оцінка ступеня небезпеки (ризик) пошкоджень із за можливих перевантажень. Тому актуальною є задача контролю вібрації та діагностування граничних режимів, оцінки вібраційних навантажень, що відповідно може забезпечити підвищення надійності обладнання та безаварійності його роботи, важливою є також оцінка вібростійкості споруд і конструкцій в які вмонтовані енергоактивні агрегати [1, 2].

### Проблемна задача вібраційного діагностування енергоактивних об'єктів в граничних режимах.

Для проведення діагностичних досліджень формується стратегія експерименту, яка включає три етапи [2]:

- первинний опис вібраційного стану енергоактивного об'єкта, класифікація станів;
- формування ознак та виділення альтернативних областей в просторі станів і цільовому відносно граничних і нормативних режимів агрегата;

- перевірка гіпотез про динамічну вібраційну ситуацію і прийняття рішень для забезпечення нормальних режимів;

Такий підхід дає підстави настанню можливих аварійних режимів, що дає змогу випередити входження агрегату в аварійну ситуацію.

Для кожного етапу реалізації стратегії контролю вібронавантаження є характерними певні підходи і особливості оцінки ситуації [2]

- на етапі пошуку інформативних ознак формують бази даних про параметри вібрації, можливі фактори збурень, шуму, удару;
- З множини характеристик, характеризуючи вібраційний процес в агрегаті, конструкції на яку він встановлений, виділяють тільки ті, які характеризують динаміку об'єкта в його параметризованому просторі станів;
- Згідно набору конструктивних параметрів, які відображають структуру і динаміку, формують інформативну систему класів ознак, як базис діагностування;
- Визначають структуру амплітудного і частотного діапазону в залежності від типу енергоактивного об'єкта;
- Виділяють класи вібраційних ознак динаміки об'єкта, як породжених ним, так і збурюючі факторів, як – віброзміщення, віброшвидкість, віброприскорення;
- Формують процедури прийняття рішень на основі класів вибраних ознак.

Вимірювання віброзміщення забезпечує оцінку зміщення або деформацію агрегата в фіксованому базисі. Віброшвидкість як параметр динаміки, пов'язана з оцінкою імпульсу сили і кінематичною енергією динамічних механізмів в енергоактивному об'єкті, агрегаті. Для оцінки надійності агрегатів в нормальних і граничних режимах оцінюють віброприскорення.

В процесі діагностики виконують вимірювання і оцінку параметрів сигналу:

- спектрального складу вібросигналу;
- розподіл потужностей компоненту по спектру і в часі;
- обчислення квадратичних значень амплітуди, середні значення в діапазоні частоти, середньоквадратичні.

На сучасному етапі розвитку засобів вібродіагностики використовують наступні методи відбору даних [1,2]:

- Кінематичний, який заключається в тому що вимірюють координати рухомих точок агрегату відносно нерухомого базису;
- Динамічний метод обґрунтовано на тому, що параметри вібрації вимірюють відносно штучної нерухомої системи відліку, яка упрugo пов'язана з конструкцією об'єкта.

Розглянемо моделі опису вібраційних сигналів і методів оцінки параметрів та характеристики коливань [2]:

- Клас моделей моно гармонічної вібрації поверхні енергоактивного об'єкта; з яких можна виділити вимірювання
  - віброзміщення:  $\chi(t) = \chi_0 \sin(\omega t + \varphi)$
  - віброшвидкість:  $\vartheta(t) = \omega \chi_0 \cos(\omega t + \varphi)$
  - віброприскорення:  $\alpha(t) = \omega^2 \chi_0 \sin(\omega t + \varphi)$

- Клас полігармонічної вібрації точки поверхні енергоактивного агрегату.

$$\chi(t) = \frac{1}{2} \chi_0 + \sum_{n=1}^m \chi_n (n\omega t + \varphi_n), \text{ де маємо}$$

$$\chi_n = (a_n^2 + b_n^2)^{\frac{1}{2}}; a_n = \frac{2}{T} \int_0^T \chi(t) \cos(n\omega t) dt;$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T \chi(t) \sin 2n\omega t dt; \varphi_n = \arctg\left(\frac{b_n}{a_n}\right)$$

- Клас широкосмугової випадкової вібрації з характерними параметрами:

$$\chi^*(t) = \sum_{i=1}^n \xi_n \chi_n(t) - \text{визначає А-М-модель;}$$

$$\chi^*(t) = \sum_{i=1}^m (\chi_n(t) + \xi(t)) - \text{визначає А модель;}$$

для яких оцінюються статистичні параметри і характеристики:

$$D_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \left[ \chi(t) - m_x(t) \right]^2 dt - \text{дисперсія;}$$

$$M_x(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \chi^*(t) dt - \text{математичне сподівання;}$$

$$S_x = [D_x]^{\frac{1}{2}} - \text{середньоквадратичне відхилення;}$$

$$S(\omega, t) = \frac{1}{2u} \int_{-\infty}^{\infty} R(t, i) \exp(-j\omega i) di - \text{спектральна густина потужності.}$$

Відповідно формуються параметричні компоненти вібродіагнозу, як результат дії збурення на об'єкт в залежності від моделі дії фактору впливу (силового), для ударної вібрації маємо [2].

- Лінійне зміщення в залежності від часу дії збурення.

$$\chi(t, F_i) = \begin{cases} x_0 + \int_0^t \vartheta(t) dt, t \in [0, t_k] \\ x_0 + \int_0^{t_k} \vartheta(t) dt, t \geq t_k \end{cases},$$

- Лінійна швидкість точки при дії удару

$$\mathcal{G}(t, F_i | x) = \begin{cases} \mathcal{G}_0 + \int_0^t a(t_1 F_i) dt, t \in [0, t_k] \\ \mathcal{G}_0 + \int_0^{t_k} a(t_1 F_i) dt, t \geq t_k \end{cases}$$

- Лінійне прискорення надане ударом точки віброконтролю:

$$a(t, F_i | x) = \frac{d}{dt} \mathcal{G}(t, F_i | x), t \in [0, t_k]$$

де  $t_k$  – протяжність в часі дії удару.

- Ударний спектр віброаналізу

$$S(t/x) = 2u f[F_i(t)], F_i(f) = \int_{-\infty}^{\infty} F_i(t) \exp(-j\omega t) dt$$

В загальному вигляді сумарна дія факторів збурення  $F_i$  на поверхню конструкції можна виразити через  $K_d \sum_{i=1}^n F_i(t, x_i, y_i) = \Delta(t(x, y))$ , якщо сили прикладені в одній точці з координатами  $(x_i, y_i)$ .

Задача оцінки зміщення в точці  $z_i(x_i, y_i)$  поверхні при розподілі факторів впливу з різними координатами  $\{(x_i, y_i)_{i=1}^n, F_i\}$ , набагато складніша і не завжди має аналогічний розв'язок. Відповідно до цільової задачі, схема розв'язання ґрунтується на результатах експерименту або на польових моделях. Можлива композиція аналітичних і експериментальних методів для побудови процедури розв'язання задачі оцінки параметрів поля деформацій поверхні конструкції енергоактивного об'єкта.

Для випадкового розподілу дії факторів впливу на поверхню конструкції динамічне зміщення можна виразити у вигляді

$$\Delta(t(x_i, y_i) \vec{F}_k) = \sum_{i=1}^k W_{ki}(x_i, y_i) F_i(x_i, y_i), \text{де } W_{ki} - \text{функція впливу дії}$$

фактора на зону контролю деформації поверхні структури.

Для  $\{F_j |_{i=1}^k\}$  - факторів можна побудувати поле зі скалярної або векторної структури, а поле деформації поверхні буде визначатись через  $k$  - фактори в  $R^3 \times T$  - просторі .

Тоді модель поля деформації можна вивести у вигляді [1]

$$\Delta S(\vec{r}, t | \theta, t_n) = \sum_{j=1}^k Am(\vec{r}, t | \theta, T) \otimes F_j(x_j, y_j, t),$$

де  $\theta$  - динамічний параметр середовища, передавальна функція каналу впливу на зону деформації поверхні конструкції,  $t_n$  - час проходження збурення до місця вимірювання.

Відповідно можна побудувати поверхневу хвилю при збуренні через

амплітудне представлення:

$$A_e(t, r, r_0) = \left[ \sum_{i=1}^k q_i(t, i | R - r) \right] \otimes S(\Omega, t) \\ = \sum_{i=1}^k A_i(r, t) \exp(-\alpha_i r / (R - r)) \exp(-\alpha i) \frac{\sin \Omega, t}{T},$$

де  $A_e()$  – амплітуда хвилі в напрямку  $\vec{e}$ ,

$A_i(r, t)$  - хвиля від локального фактора  $F_i$ ,

$\Omega$  - резонансна частота середовища.

Просторово – часовий спектр деформації збуреної поверхні відповідно буде мА представлення у вигляді:

$$S_{\Delta}(\Omega, \omega, t | B_{TS}) = \sum_{i=1}^k H_i^2(\omega_i, \Omega, t | B_{TS}) S_{jF}(\Omega, t | B_{Fi}),$$

де  $S_{jF}(\Omega, t | B_{Fi})$  - функції від факторів впливу сильного,

$H_i^2(\omega_i, \Omega, t | B_{TS})$  - передавальна функція

Спектр локальних ухилів поля деформації пов'язаний зі спектром нормального вектора і відображає поверхневу структуру поля деформації, що є важливим для побудови моделі відбитого лазерного променя при оцінці рівня деформації; Він задається у вигляді спектральних функцій від поперечних і поздовжніх ухилів поверхні деформації в зоні локації у вигляді:

$$S_{\Delta}(\Omega, \omega, t | B_{\Delta}) = \alpha_k^{\omega} (S_{\gamma x}(\Omega, t) + S_{\gamma y}(\Omega, t)),$$

де  $\Omega$  – поверхнева частота,  $W$  – частота збурення,  $\alpha_k^w$  – коефіцієнт впливу фактора.

Модель поверхневого поля можна виразити через імпульсну реакцію середовища на збурення у вигляді:

$$S_{\Delta}(t, r | B_p) = q_A(r, t | B_{TS}) \otimes \left[ \sum_{i=1}^k \lambda_i q_i(r, \tau) \otimes F_i(r, t) \right]$$

де  $q_i$  – імпульсні характеристики каналів передачі збурень з коефіцієнтом впливу  $x_i$ .

### Висновок.

В статті розглянуто підхід до розв'язання проблемної задачі контролю вібрації поверхні перекриттів, на яких розміщені агрегати енергоблоків, та методи оцінки рівня їх деформаційного поля, яке формується під дією динамічних факторів впливу. Показано, що дія ідентифікації факторів впливу на рівень деформації точок поверхні необхідно побудувати моделі поверхневих полів, описати їх властивості як індикаторів ознак при лазерному зондуванні.

1. Сікора Л.С. Лазерні інформаційно-вимірвальні системи для управління

технічними процесами. – Львів: Каменярь, 1981. – 445с.

2. Технические средства диагностирования // ред. Клюев В.В. – М.: Машиностроение. 1989. – 672с.

*Поступила 6.09.2010р.*

УДК 621.39

Л.О. Шебанова (Україна, м. Донецьк)

## **БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ КРИТЕРІЇВ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ**

### **Abstract**

**L.A. Shebanova.** Designing communication networks is a complex, multi-constraint and multi-criterion optimization problem. We present a multi-objective optimization approach to setting up a network while simultaneously minimizing network overloads and installation costs subject to reliability and flow constraints.

These multi-criteria problems place great demands on mathematical formulation and method. In the literature different approaches for solving these kinds of multi-criteria problems can be found, whereby two basic approaches are distinguished. On the one hand there are aggregation methods, e.g. the weighted sum function and the search for an object function, and on the other hand there are the so-called Pareto-based solution techniques. In this article Pareto-based solution techniques are presented.

### **Вступ**

У результаті будівництва та експлуатації транспортної телекомунікаційної мережі (ТКМ) оператор зв'язку зацікавлений у тому, щоб мережа відповідала необхідним критеріям надійності та якості послуг, що надаються. Тому досить часто виникає питання забезпечення оптимальності мережі, що проектується, одночасно за кількома критеріями, до того ж ці критерії найчастіше суперечливі.

У випадку розробки моделі транспортної ТКМ вирішуються задачі планування нових мереж, а також модернізації та реконфігурації існуючих. На підставі створеної моделі проводиться багатокритеріальна оптимізація транспортної мережі за показниками функціональної надійності вузлів і каналів (за критерієм імовірності відмов у мережі), пропускної здатності (перевантаження в мережі) і вартості мережі (за критерієм капітальних витрат).

В роботі проводиться пошук компромісного рішення одночасно за трьома частинними показниками, а не визначення оптимальних значень для кожного з показників окремо. Запропонована методика дозволить проводити оптимізацію мережі не тільки на етапі планування, але й на етапі