

## ВИКОРИСТАННЯ ОЦІНОК ПОКАЗНИКІВ ВІБРОАКТИВНОСТІ МАШИН ЗВОРОТНО-ПОСТУПАЛЬНОЇ ДІЇ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЇХ ВИРОБНИЦТВА

Воронцов О.Г. к.т.н. доцент, Дегтяренко І.В. аспірант  
Донецький державний технічний університет

*В статті наведено опис застосування методу частотно-часового аналізу для побудови автоматизованої системи віброакустичного контролю та управління якістю виробництва машин зворотно-поступальної дії. Наведено алгоритм синтезу та використання квадратичного частотно-часового детектора для формування управління процесом виробництва машин.*

*The article gives description of usage of time-frequency analysis method for construction of automated vibroacoustic control system. This system is assigned for control of reciprocation machine quality production. Quadratic time-frequency detector synthesis algorithm and its application for generation of control action on a machine production process is shown.*

Машини зворотно-поступальної дії (МЗПД) є інтенсивним джерелом вібрації та акустичного шуму. Шум МЗПД викликає почуття дискомфорту, а також шкідливо впливає на організм людини, погіршує умови її праці. Підвищена вібрація МЗПД також знижує її надійність і термін експлуатації. Все це визначає необхідність виробництва машин, що відповідають показникам якості, і зокрема, показникам віброакустичної активності.

Рішення задачі забезпечення, підтримки і перевірки виконання заданих параметрів якості МЗПД на етапі виготовлення можливо тільки з використанням автоматизованих систем контролю і управління якістю продукції. Основним призначенням цих систем є безупинне або періодичне регулювання окремих характеристик або параметрів технологічного процесу з метою усунення виникаючих в останньому відхилень від установленної норми, що веде до випуску бракованої продукції.

На рис. 1 наведено структурну схему автоматизованої системи віброакустичного контролю та управління на прикладі її застосування

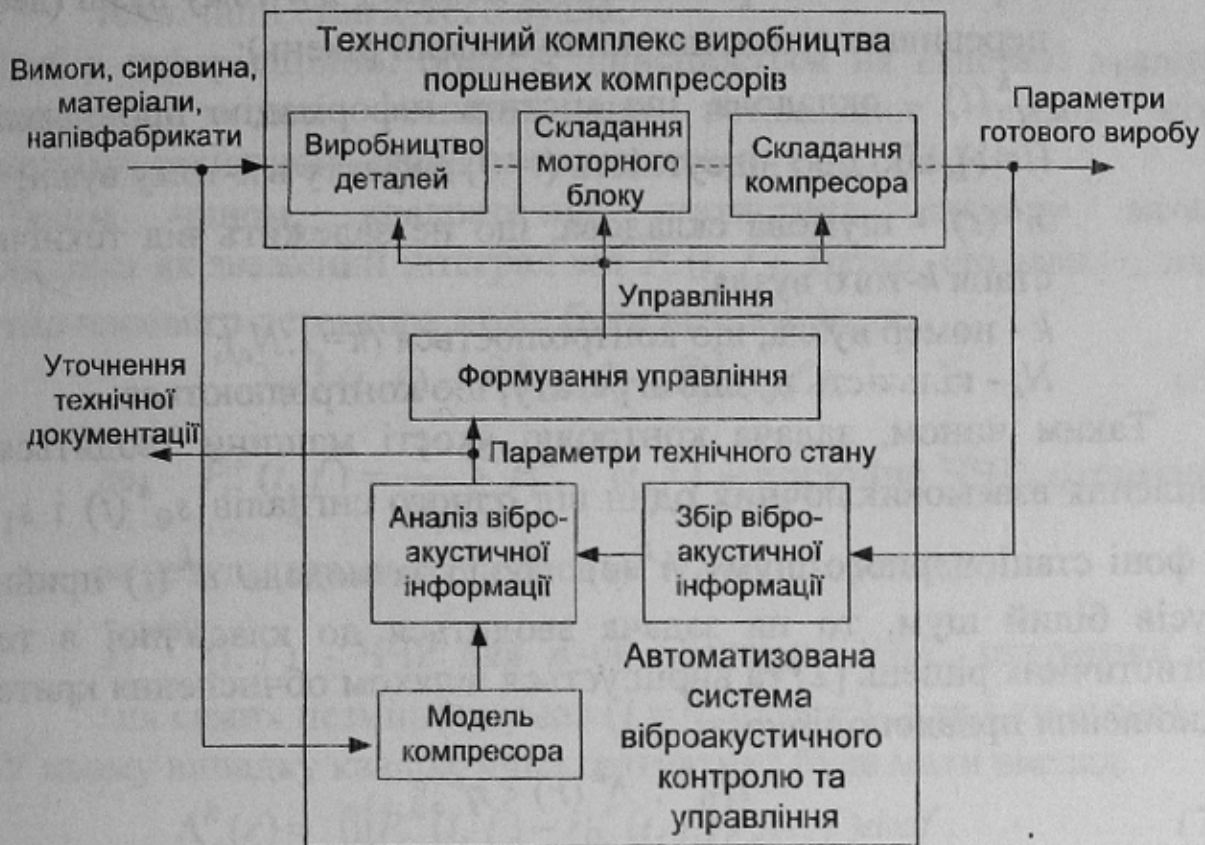


Рисунок 1 – Структурна схема автоматизованої системи віброакустичного контролю та управління

для управління технологічним комплексом виробництва малих холодильних поршневих компресорів. Ця система збудована на базі автоматизованої системи віброакустичного контролю МЗПД [1].

На етапі вихідного контролю продукції відбувається реєстрація (блок збору віброакустичної інформації) і аналіз (блок аналізу віброакустичної інформації) віброакустичних сигналів агрегату. Аналіз здійснюється за допомогою лінійки детекторів. Кожний з детекторів налаштований на окремий тип дефекту (під дефектом тут розуміється відхилення якогось показника якості від норми, що зв'язаний з тим чи іншим показником віброактивності). При цьому віброакустичний сигнал, що генерується машиною, подається у вигляді такої моделі:

$$\begin{aligned}
 H_0^k &: r_0(t) = s_0^k(t) + n^k(t), \\
 H_1^k &: r_1(t) = s_1^k(t) + n^k(t),
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

де  $H_0^k$  - гіпотеза про відсутність дефекту в  $k$ -тому вузлі (дефект не перевищив гранично припустимий рівень);

$H_1^k$  - гіпотеза про наявність дефекту в  $k$ -тому вузлі (дефект перевищив гранично припустимий рівень);

$s_i^k(t)$  - складова, що містить інформацію про наявність ( $i=1$ ), або про відсутність ( $i=0$ ) дефекту в  $k$ -тому вузлі;

$n^k(t)$  - шумова складова, що не залежить від технічного стану  $k$ -того вузла;

$k$  - номер вузла, що контролюється ( $k=1:N_0$ );

$N_0$  - кількість вузлів агрегату, що контролюються.

Таким чином, задача контролю якості машини зводиться до виділення взаємовиключних один від одного сигналів  $s_0^k(t)$  і  $s_1^k(t)$  на фоні стаціонарного шуму  $n^k(t)$ . Якщо за модель  $n^k(t)$  прийняти Гаусів білий шум, то ця задача зводиться до класичної в теорії статистичних рішень [2] та вирішується шляхом обчислення критерію відношення правдоподібності

$$\begin{aligned} H_0^k &: \Lambda^k(r) < \eta^k, \\ H_1^k &: \Lambda^k(r) \geq \eta^k, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\Lambda^k(r)$  - відношення правдоподібності;

$\eta^k$  - поріг прийняття рішення.

Для знайдення відношення правдоподібності можуть бути використані квадратичні статистики [3]

$$\Lambda^k(r) = \langle H_r^k, r \rangle = \int_0^t \int_0^{t'} h^k(t, t') r(t') r^*(t) dt dt', \quad (3)$$

де  $h^k(t, t')$  - імпульсна характеристика детектора;

(\*) - позначає комплексно-сполучену величину,

$t$  - інтервал спостереження,  $0 \leq t' \leq t$ .

Зокрема, квадратичні статистики можуть бути знайдені через надання сигналів у частотно-часовій області [1,3]:

$$\Lambda^k(r) = \langle H_r^k, r \rangle = \langle \rho^k, P_r \rangle = \iint_{D^k} \rho^k(t, f) P_r^k(t, f) dt df, \quad (4)$$

$$\text{де } \rho^k(t, f) = \int_0^{\tau} h^k\left(t + \frac{\tau}{2}, t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (5)$$

- символ Вейла;

$P_r^k(t, f)$  - частотно-часовий розподіл (ЧЧР);

$D^k$  - частотно-часова область, яка містить інформацію про технічний стан  $k$ -того вузла.

Вибір інформаційної області здійснюється на підставі аналізу математичної моделі машини, що встановлює зв'язок між показниками технічного стану та показниками вібрацій [4].

Таким чином, квадратична статистика сигналу може розглядатися як зважений інтеграл від  $P_r(t, f)$ . Вікно, що зважує, для частотно-часового детектора може бути визначене як

$$\rho^k(t, f) = \hat{P}_1^k(t, f) - \hat{P}_0^k(t, f), \quad (6)$$

де,  $\hat{P}_i^k(t, f) = \frac{1}{N_i} \sum_{n=1}^{N_i} P_i^{k(n)}(t, f)$  - еталонне ЧЧР, отримане

за результатами усереднення  $N_i$  спостережень;

$P_i^{k(n)}(t, f)$  - ЧЧР для  $n$ -ої реалізації ВАС, отриманої за тих самих незмінних умов ( $i = 0$  або  $i = 1$ , для  $k$ -го вузла).

У цьому випадку квадратична статистика буде мати вигляд

$$\Lambda^k(r) = \iint_{D^k} (\hat{P}_1^k(t, f) - \hat{P}_0^k(t, f)) P_r(t, f) dt df. \quad (7)$$

Ця квадратична статистика є локально-оптимальною при низькому співвідношенні сигнал-завада [3].

На сьогоднішній день існує велика кількість методів одержання ЧЧР. Найбільш вдалим, з погляду управління рівнем та мінімізацією інтерференційних компонент, є розподіл Цзюя-Уільямса. Тому цей розподіл найбільш придатний для аналізу віброакустичних сигналів МЗПД [5].

Алгоритм синтезу частотно-часового детектора для контролю технічного стану МЗПД можна описати в такому вигляді:

1. Створюється бібліотека частотно-часових уявлень віброакустичних сигналів для випадків нормальної роботи ( $\hat{P}_0^k(t, f)$ ) і відмови ( $\hat{P}_1^k(t, f)$ ) кожного контрольованого вузла машини. ЧЧР повинні бути прив'язаними до робочого циклу машини.

2. Виділяються інформаційні області  $D^k$  для кожного вузла в частотно-часовому уявленні сигналів, які б забезпечували необхідне співвідношення сигнал - завада (під сигналом тут розуміються частотно-часові компоненти, які залежать від технічного стану контрольованого вузла, а під завадою - усі інші компоненти). Вибір інформаційної області здійснюється на підставі аналізу математичної

моделі машини, що встановлює зв'язок між показниками технічного стану та показниками вібрацій.

3. Здійснюється тестування детекторів шляхом наведення на їх вхід даних, що відповідають дефектному і бездефектному стану вузла, що контролюється. Визначаються параметри законів розподілу результатів детектування і на цих даних будуються його робочі характеристики.

4. Задаючись припустимим значенням співвідношення між можливістю помилкової тривоги ( $P_F$ ) та можливістю правильного виявлення ( $P_D$ ) по робочій характеристиці, визначається поріг прийняття рішення  $\eta^k$  [2].

Процес аналізу віброакустичного сигналу здійснюється таким чином:

1. Виділення фрагментів реалізації віброакустичного сигналу, що відповідають по довжині одному циклу роботи машини [1].

2. Одержання частотно-часових уявлень виділених фрагментів реалізацій за допомогою ЧЧР Цзуя-Уільямса.

3. Обчислення квадратичних статистик  $\Lambda^k(r)$  по формулі (7) із вікнами, що зважують, отриманими для контролю технічного стану різноманітних вузлів машини.

4. Порівняння квадратичних статистик із відповідними порогами ухвалення рішення  $\eta^k$  і прийняття тієї або іншої гіпотези про технічний стан відповідного вузла машини (2).

Примітка: Всі віброакустичні сигнали повинні записуватися при однакових налаштуваннях апаратури реєстрації і при тому самому режимі роботи машини.

Таким чином, у результаті аналізу віброакустичного сигналу машини формується вектор технічного стану виробу (МЗПД)  $\bar{N} = \{N^1, N^2, \dots, N^{N_e}\}$ , що складається з елементів, які вказують на наявність чи відсутність дефекту у вузлах машини.

На підставі аналізу даного вектора за допомогою масок відбувається поділ потоків готової продукції в залежності від її якості (наприклад, зовнішній ринок, внутрішній ринок, брак). Крім того, визначення типу дефекту дозволяє робити лише заміну дефектного вузла замість повного розбирання відбракованого агрегату.

За результатами аналізу типів дефектів, виявлених в агрегаті, виробляється управління визначеними ділянками технологічного комплексу виробництва машин, що відповідають за виникнення

даних типів дефектів. У загальному випадку це можуть бути вказівки на наладку устаткування, заміну інструментів або матеріалів, регулювання технологічних параметрів і т.і. На підставі цих даних може також проводитись уточнення технічної документації та вимог до процесу виготовлення МЗПД.

## Висновки

Подано структуру автоматизованої системи віброакустичного контролю і управління якістю виробництва МЗПД. Особливістю даної структури є те, що вона побудована на основі лінійки частотно-часових квадратичних детекторів, що формує вектор технічного стану машини  $\bar{N} = \{N^1, N^2, \dots, N^{N_s}\}$ . Цей вектор складається з елементів, які вказують на наявність чи відсутність дефекту у вузлах машини.

Описано алгоритм синтезу частотно-часового детектора для контролю технічного стану МЗПД, а також підхід що до формування вектору технічного стану машини. Особливістю цих алгоритмів є те, що вибір інформаційних областей детекторів здійснюється на підставі аналізу математичної моделі машини, що встановлює зв'язок між показниками технічного стану та показниками вібрацій.

На підставі аналізу вектору технічного стану відбувається формування управління технологічним процесом виробництва МЗПД з метою усунення виникаючих в останньому відхилень від установленної норми, що веде до випуску бракованої продукції, а також здійснюється поділ потоків готової продукції в залежності від її якості.

## Список джерел

1. Воронцов А.Г., Дегтяренко И.В. Система виброакустического контроля технического состояния машин возвратно-поступательного действия// Наукові праці ДонДТУ. Серія: Гірничо-електромеханічна, випуск 16: - Донецьк: ДонДТУ, 2000. С 55-62.
2. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. - М.: Сов. радио, Том 1, 1977. - 744 с.
3. Matz G., Hlawatch F. Time-Frequency formulation and design of optimal detectors. Proc. IEEE-sp. Time-Frequency and Time-Scale Analysis, -Paris, June, 1996. P. 213-216.
4. Воронцов А.Г., Дегтяренко И.В. Математическая модель малого поршневого компрессора// Наукові праці ДонДТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 3: - Донецьк: ДонДТУ, 1999. С 32-39.
5. Дегтяренко И.В. Об использовании частотно-временного анализа виброакустических сигналов при построении систем оценки технического состояния машин возвратно-поступательного действия// Наукові праці ДонДТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 12: - Донецьк: ДонДТУ, тов "Лебідь", 1999. С. 47-53.