

СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ ВІБРОАКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Розглянуто статистичні моделі віброакустичних сигналів та їх характеристики. Приділена увага статистичному підходові, що дає змогу по серії результатів вимірювального експерименту визначити алгоритм, за яким визначається найбільш вірне наближення вимірюваного параметру.

The statistical models vibroacoustic signal and their features are considered. Paid attention statistical approach, which allows on series result measuring experiment to define the algorithm, on which is defined the most effective approach measured parameter.

Вступ

Віброакустична діагностика, будучи розділом технічної діагностики, є галузь знань, що включає теорію і методи організації процесів розпізнавання технічних станів машин і механізмів за початковою інформацією, що міститься у віброакустичному сигналі.

Вібраційне діагностування об'єктів проводиться в три етапи: первинний опис вібраційного стану об'єкту, виділення ознак і ухвалення рішення. Вибір стратегії діагностування визначається видом і частотою повторень неполадок, пов'язаних з певним етапом життєвого циклу механізму, умовами функціонування, степеню необхідності діагностування і очікуваним економічним ефектом.

На етапі пошуку інформативних ознак обмежують кількість вимірюваних параметрів вібрації, шуму і ударів. При цьому з безлічі параметрів, що характеризують вібраційний процес, виділяють тільки ті, які прямо або побічно характеризують стан об'єкту. По цих параметрах формують інформативну систему ознак, використовуваних при діагностуванні.

Вибір діагностичних параметрів вібрації залежить від типів досліджуваних механізмів, амплітудного і частотного діапазонів вимірюваних на них коливань.

У більшості робіт вітчизняних та зарубіжних авторів по дослідженню вібрацій не приділяється потрібна увага щодо побудові математичних і фізичних моделей вібросигналів, а без цього неможливо провести порівняльний аналіз різних статистичних методів контролю та діагностики. Статистичний підхід дає змогу по серії результатів вимірювального експерименту визначити алгоритм, по якому визначається найбільш вірне наближення вимірюваного параметру.

Аналіз досліджень та публікацій

При вивченні експериментально виміряних вібрацій авіаційних двигунів виникає необхідність побудови статистичних оцінок різних параметрів, що характеризують аналізований процес [1—5]. Однак підбір літератури і тим більше її практичне застосування, потребує від спеціалістів високої математичної підготовки. Крім того, багато джерел [6], містять у собі ряд спеціальних питань статистичних оцінок. Ураховуючи важливість цього матеріалу при обробці вихідної експериментально отриманої інформації, приводимо в сконцентрованому вигляді деякі відомі теоретичні результати, терміни визначення, необхідні для побудови статистичних оцінок.

Постановка завдання

Описати математичну модель сигналу та побудувати імітаційну діагностичну модель механізму. Розглянути питання статистичної оцінки таких параметрів: коефіцієнти загасання й частотні пара-метри, третім і четвертим моментами вібрації, коефіцієнтами асиметрії й ексцесу.

Розв'язання завдання

Сучасні машини складаються з великої кількості взаємопов'язаних елементів, відносно переміщення яких породжує коливальні процеси, що підсилюються або змінюються при виникненні дефектів. Усі машини вібрують. У процесі енергії джерела в роботу генеруються сили, збуджуючі коливання окремих частин машини. Ці коливання сприймаються давачами і по них робиться висновок про технічний стан машини.

У теорії інформації *сигналом* називають процес зміни в часі фізичного стану будь-якого об'єкту, що слугує для відображення, реєстрації та передачі інформації [8]. У цьому значенні віброакустичний процес, що є носієм інформації про технічний стан об'єкту діагностування, можна назвати сигналом. Для вивчення і визначення властивостей сигналу, потрібно вказати спосіб його математичного опису, тобто створити математичну модель сигналу, що являє собою функціональну залежність, в якій аргументом і час. Ця модель дає змогу абстрагуватись від фізичної природи сигналу і описати найбільш важливі його властивості, допускаючи певну ідеалізацію.

Прогнозувати характер змін віброакустичних характеристик механізму під дією дефектів, що мають малу віброактивність і тяжко піддаються динамічному моделюванню дуже складно. Тому доцільно побудувати імітаційну діагностичну модель механізму.

Діагностична модель механізму. Моделлю механічної системи авіадвигуна служить багаторезонансна лінійна система. Оскільки місце виникнення імпульсів у процесі, що породжує, постійно переміщаються в просторі, можна умовно локалізувати їх по групах, тобто перейти від механічної моделі з розподіленими входними впливами до багатовходової моделі. На рис. 1

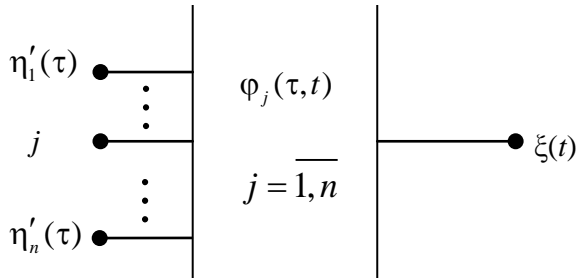


Рис. 1. Багатовходова лінійна система

$\eta'_j(\tau)$, $j = \overline{1, n}$ уведені вище різні компоненти вектора процесу, що породжує; $(\varphi_j(\tau, t), j = \overline{1, n})$ — вектор імпульсних перехідних функцій розглянутої системи; n — число входів системи; $\xi(t)$ — вібраційний процес, що спостерігається у точці розміщення вібродавача.

Вібраційний процес у точці розміщення акселерометра для фіксованого моменту t можна представити у вигляді

$$\xi(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \lambda_{\tau_k} \varphi(\tau_k, t). \quad (1)$$

Використовуючи узагальнений пуассонівський процес $\pi_1(\tau)$, запишемо (1.1) у вигляді

$$\xi(t) = \int_{-\infty}^t \varphi(\tau, t) d\pi_1(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\tau, t) d\pi_1(\tau), \quad (2)$$

тому що $\varphi(\tau, t) \equiv 0$ при $t < \tau$.

Статистична оцінка параметрів віброцигналу. Зупинимося тепер на питанні статистичної оцінки таких параметрів: коефіцієнти загасання й частотні параметри.

Першим етапом при обробці зареєстрованих віброграм є перевірка гіпотези про їхню стаціонарність, що проводиться на основі статистичних методів і критеріїв. Залежно від результатів цієї перевірки вибирається вид усереднень, і тільки після цього здійснюються їхній кореляційний і спект-ральний аналізи для одержання емпіричних кореляційних функцій і спектральних щільностей потуж-ності. За статистичними оцінками кореляційних і спектральних функцій визначаються значення резонансних частот і коефіцієнтів загасання, що виступають як діагностичні ознаки. Є й інші шляхи вирішення цієї задачі.

Як відомо, вигляд кривої щільності розподілу ймовірностей характеризується деякими параметрами. Наприклад, одномірна крива нормального розподілу повністю визначається першими двома моментами (математичним очікуванням і дисперсією).

У результаті численних експериментів, встановлено, що математичне очікування $M[\xi(t)] = M[\eta(1)] \sum_{j=1}^n a_j$ й дисперсія, досліджуваних вібрацій є малоефективними діагностичними ознаками. Більш повну інформацію про характер кривої щільності розподілу ймовірностей несуть третій і четвертий моменти, які можна використати як діагностичні ознаки технічного стану об'єкту. Однак на практиці зручніше користуватися не третім і четвертим моментами вібрації, а коефіцієнтами асиметрії k й ексцесу γ , пов'язаними із третім і четвертим моментами вібрації співвідношеннями:

$$k^2 = \frac{\mu_2}{\mu_2^{3/2}}; \quad (3)$$

$$\gamma = \beta_2 - 3. \quad (4)$$

де $\beta_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2}$, μ_2 , μ_3 й μ_4 визначаються відповідно:

$$\mu_k = \sum_{s=2}^k (ks)(-v_1)^{k-s} v_s + (1)^{k-1} v_1^k (k-1); \quad (5)$$

$$k = 2, 3, \dots$$

При статистичній обробці реалізацій випадкових процесів у разі достатньо великих обсягів вибірових даних застосовують гістограмний аналіз. У цьому випадку виникає проблема заміни кусково-сталих кривих емпіричних функцій щільності розподілу на «згладжені». При аналізі реальних процесів виникає необхідність мати аналітичні вирази неперервних функцій кривих, які згладжують гістограми. Одним з методів згладжування є метод моментів з використанням системи

кривих К. Пірсона. У такому разі процес отримання аналітичних формул легко автоматизувати з використанням певних алгоритмів і програм для підбору відповідних згладжуючих кривих.

При побудові системи кривих К. Пірсон виходив з того, що для більшості неперервних розподілів, щільність розподілу ймовірностей задовольняє рівняння виду:

$$\frac{d \ln p(x)}{dx} = \frac{x - a}{b + cx + dx^2}, \quad (6)$$

де коефіцієнти a, b, c, d — числові сталі, які виражаються через перші чотири моменти розподілу.

Усі можливі значення рівняння розкладаються на 13 типів кривих, як розв'язок цього рівняння [7].

Розроблена програма гістограмного аналізу, яка, крім одержання гістограми, дає змогу одержати оцінки початкових та центральних моментів вібрацій до четвертого включно, в тому числі дисперсії, середньоквадратичного відхилення, коефіцієнтів асиметрії та ексцесу, а також провести згладжування побудованих гістограм по системі кривих Пірсона, тобто знайти в явному вигляді вираз для згладжуючої кривої. Програма має універсальний характер і може використовуватись для обробки будь-яких спостережень над одною випадковою величиною.

На рис. 2 подана гістограма та її згладжуюча крива, яка одержана в результаті вимірювання вібрацій авіаційного двигуна. Криву можна віднести до I типу за Пірсоном, якому відповідає аналітичний вираз (7)

$$\begin{aligned} \mu_2 &= 4,068; \quad \mu_3 = 0,113; \quad \mu_4 = 48,277; \\ A &= -8,53 \cdot 10^{-4}; \quad k = 0,014; \quad E = -0,083; \end{aligned}$$

$$P = 0,021 \left(1 + \frac{x}{2,639}\right)^{-1} \left(1 - \frac{x}{7,869}\right)^{-2,982}. \quad (1.7)$$

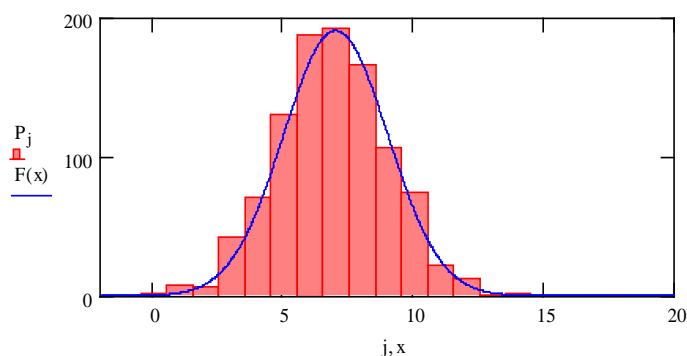


Рис. 2. Гістограма та згладжуюча її крива Пірсона типу 1

Таким чином, отримані способи побудови оцінок для згаданих вище діагностичних параметрів, необхідних для аналізу вібрацій авіаційного двигуна, представляють теоретичну й обчислювальну базу для їхнього діагностування статистичними методами.

Висновок

Із результатів експериментів можна зробити висновок, що найбільш інформативними діагностичними ознаками, що дозволяють встановити дефекти, слугують коефіцієнти асиметрії та ексцесу досліджуємих вібрацій, які пов'язані з третім та четвертим моментом вібрацій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Айвазян С. А., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика : Основы моделирования и первичная обработка данных. — М. : Финансы и статистика, 1983. — 471 с.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных : Пер. с англ. — М. : Мир, 1989. — 540 с.
3. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. — М. : Физматгиз, 1961. — 406 с.
4. Крамер Г. Математические методы статистики. — М. : Мир, 1961 — 648 с.
5. Уилкс С. Математическая статистика: Пер. с англ. — М. : Наука, 1967. — 632 с.
6. Вальд А. Последовательный анализ. — М. : Физматгиз, 1960. — 328 с.
7. Марченко Б. Г., Мыслович М. В. Вибродиагностика подшипниковых узлов электрических машин. — К.: Наук. думка, 1972. — 196 с.
8. Цапенко М. П. Измерительные информационные системы: Структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование: Учеб. пособие для вузов. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — 440 с.