

Т. Кадильникова

Д-р техн. наук,
Національна металургійна
академія України,
м. Дніпропетровськ

П. Носко

Професор, д-р техн. наук

Л. Сушко

Інженер

Східноукраїнський національний
університет імені Володимира Даля,
м. Луганськ

УДК 621.833

СТРУКТУРА СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

Запропоновано систему оцінювання і базовий алгоритм проведення досліджень технічного стану зубчастих передач та методику розроблення робочих алгоритмів і програм аналізу їхніх технічних характеристик. Опрацьована специфіка формування первинної інформації про стан зубчастих передач на базі пакета програм DREAM for Windows.

зубчаста передача, працездатність, дефект, моделювання, технічний стан, програмно-апаратний комплекс

Зубчасті передачі входять до складу приводів багатьох сучасних машин. Технічний стан зубчастого приводу може відігравати вирішальну роль у працездатності машини, визначаючи її технічний рівень. Тому оцінювання технічного стану таких передач є актуальною задачею.

Вибору раціональних параметрів зубчастих передач на етапі проектування присвячено велику кількість праць, наприклад [1 – 3]. Для оцінювання їхньої працездатності звичайно використовують якісні показники [4 – 6]. Усіх їх визначають для «ідеальної» передачі та не враховують поточного стану зубчастих коліс і їхнього ресурсу. Теоретичне визначення якісних показників працездатності реальної передачі, яка відпрацювала певну частину свого ресурсу, ускладнене через випадковий характер похибок виготовлення та складання. Тому для реальної передачі доцільнішим є створення системи контролю, яка відстежувала б показники працездатності в режимі реального часу.

Метою статті є створення базового алгоритму визначення технічного стану зубчастих передач і методики опрацювання даних.

Розв'язання задач програмно-апаратного моделювання технічного стану зубчастих передач можливе лише при використанні широкої номенклатури математичних і

обчислювальних методів, прикладних алгоритмів, підсумковому синтезі розроблених методів, комп'ютерних програм і апаратних засобів. Реалізація такого завдання можлива тільки в рамках автоматизованої системи керування технічним станом зубчастих передач.

Програмно-апаратний комплекс моделювання технічного стану зубчастих передач передбачає розв'язання чотирьох окремих задач:

1. Необхідність дослідження стаціонарних і нестаціонарних завад, що супроводжують вимірювання кожного з досліджуваних параметрів, і у реальному масштабі часу оптимально здійснюють процедуру фільтрації всіх досліджуваних параметрів з урахуванням статистичних властивостей і завад.

2. На етапі навчання для сукупності структурних параметрів досліджувати форму й інтенсивність потоку сигналів у зв'язку з подіями, що відбуваються.

3. Вибрати з безлічі обраних цілей дослідження інформативні параметри, тобто ті, які дають стійкий статистичний зв'язок з майбутніми подіями.

4. Аналіз великих обсягів різноманітної інформації в реальному масштабі часу, що породжує дві проблеми: виділення фрагментів інформації, що неперервно потрапляє і надалі розглядається як сигнал (завдання

ідентифікованого виявлення); вимірювання параметрів сигналу.

Система оцінювання технічного стану зубчастих передач може використовувати три групи порогів, що розділяють безліч припустимих і небезпечних станів об'єкта контролю [7]. Перші дві групи використовуються в задачах оцінювання вібраційного стану устаткування і його вузлів, задаючи гранично припустимі значення або самі параметри вібрації, або їхню зміну. Третя група порогів використовується для виявлення дефектів і визначення ступеня їхньої небезпеки.

Основна група порогів визначає звичайно три межі для величини кожного з вимірюваних параметрів. Нижня межа (слабкого сигналу) служить для контролю якості виконаних вимірів, перша верхня межа – припустимих величин параметрів при нормальній роботі зубчастої передачі, і друга – межа небезпечних змін контрольованого параметра. Ця група порогів будується автоматично або за всіма раніше виконаними вимірами вібрації контрольованого вузла, або за вимірами вібрації групи ідентичних вузлів в ідентичних точках контролю. Користувач може відкоригувати ці пороги або автоматично, або вручну, з урахуванням свого досвіду та діючих на підприємстві норм і вимог до вібрації зубчастої передачі.

Другу групу порогів використовують тільки для виявлення стрибкоподібних змін контрольованих параметрів. Найчастіше ці пороги встановлюють при роботі системи в стаціонарному режимі, коли керування вимірами в точках контролю зі стаціонарно встановленими сенсорами виробляються автоматично, з мінімально можливими інтервалами між вимірами. У цих випадках зазвичай автоматично встановлюються дві межі – припустимих відхилень і небезпечних змін для кожного з параметрів. Середнє значення, від якого починається відлік відхилення параметрів, визначається за попередніми вимірами за обмежений (порядка декількох годин або днів) час.

Дещо інакше будуються пороги для виявлення й ідентифікації дефектів. За розміром виявляють дефекти, що поділяються, як правило, на слабкі, що не впливають на роботу зубчастої передачі, середні, що скорочують залишковий ресурс, і сильні, при яких можливий аварійний вихід вузла з ладу. Однак, дефекти, що виявляються за вузькосмуговим спектром вібрації, діляться тільки на дві групи (середні й сильні), бо при дослідженні не вдається з високою ймовірністю розділити безліч бездефектних станів вузлів і станів зі слабкими дефектами.

Якщо дефекти у зубчастій передачі виявляються за результатами аналізу огинаючого спектра вібрації, параметром, відповідальним за ступінь розвитку дефекту, є глибина модуляції випадкової вібрації [8]. Для кожного виду дефекту існує свій набір частот модуляції, а з граничних значенням порівнюється максимальна з парціальних глибин модуляції вібрації цими частотами.

Поріг слабого дефекту визначається чутливістю програмно-апаратного комплексу до кожного з дефектів і задається програмою автоматично. Поріг сильного дефекту задається користувачем, а поріг середнього дефекту визначається автоматично як середнє значення від двох порогів сильного й слабого дефектів. Звичайно

його величина близька до половини порогу сильного дефекту.

За початкову величину порогу виявлення сильних дефектів зубчастих передач можна використати граничні значення глибини модуляції, автоматично запропоновані програмою. Ці значення найбільш часто зустрічаються при опрацюванні статистичних даних за параметрами вібрації зубчастої передачі, що мають сильні дефекти. Треба, однак, підкреслити, що остаточне значення порогу сильного дефекту після збору й опрацювання статистичних даних може бути різним для різних дефектів і відрізнятися від початкової величини в 2 – 3 рази.

Якщо дефекти виявляються за результатами аналізу вузькосмугового спектра вібрації зубчастої передачі, параметром, відповідальним за ступінь розвитку дефекту, є перевищення рівнів окремих складових спектра над середнім значенням, отриманими за результатами або вимірювань вібрації групи ідентичних вузлів однакових машин у тих самих точках і напрямках вимірів, або за результатами попередніх вимірів вібрації тієї ж машини, виконаних до того, як почав розвиватися виявлений дефект [8]. Звичайно поріг слабого дефекту в цьому випадку не визначається. Величина порогу сильного дефекту встановлюється користувачем у децибелах перевищення рівня складової над середнім значенням. Поріг середнього дефекту визначається автоматично як половина від значення порогу сильного дефекту. Як початковий поріг виявлення сильного дефекту можна рекомендувати величину перевищення рівня $\Delta L=20$ дБ [7].

До складу системи, що забезпечує оцінювання технічного стану зубчастих передач, входять: аналізатор-збирач даних СД-11; персональний комп'ютер, сумісний з IBM PC/AT Pentium; принтер, переважно кольоровий; операційна система "Windows 95" або наступні версії; пакет програм DREAM for Windows; електронний ключ для програми DREAM for Windows; інструкції для експлуатації аналізатора-збирача даних СД-11, пакет програм DREAM for Windows.

Для зручності введення фотозображень зубчастих передач з точками вимірів і місцями встановлення сенсора зручно мати додатково цифрову фотокамеру або сканер.

Якщо потрібно певний час використовувати систему в стаціонарному режимі роботи, наприклад, після виявлення в одній із зубчастих передач розвинених дефектів, то вводять у систему такі додаткові елементи: розширювач каналів вимірювання (від двох до шістнадцяти) з сенсорами вібрації; додатковий пакет програм для роботи DREAM for Windows у стаціонарному режимі з інструкцією для експлуатації; сенсор обертів ротора (для машин з різними частотами обертання в різних режимах).

Для всіх видів вимірів, що виконуються для оцінювання технічного стану зубчастих передач з пакетом програм DREAM for Windows, використовують засоби вимірювань, обов'язковими вимогами до яких є можливість спектрального аналізу сигналу вібрації та спектрального аналізу огинаючої його високочастотних складових, попередньо виділених смуговим фільтром [9]. Такі види вимірів можна проводити за допомогою збирача даних СД-11, технічні характеристики якого наведені в табл. 1, де зазначені усі види доступних вимірів.

Таблиця 1

Технічні характеристики збирача даних СД-11

Вхід	
Тип сенсорів	акселерометр ІСР, зарядний акселерометр, акселерометр з підсилювачем, сенсор положення вала (обертів)
Частотний діапазон	0.02 – 25600 Гц
Лінійний вхід	1 мкВ – 3 В
Підсилення	авто, 0 – 54 дБ кроками по 6 дБ
Спектральний аналіз	
Верхні граничні частоти	25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400, 12800, 25600 Гц
Частотний дозвіл	400, 800, 1600 смуг
Динамічний діапазон	70 дБ, не гірше
Кількість осереднюваних спектрів	1 – 256
Вікно	ханінг
Детектор огинаючої зі смуговими фільтрами	1/3 октави
	800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200, 4000, 5000, 6400, 8000, 10000, 12800, 16000, 20000 Гц
	1/1 октави: 8000, 16000 Гц
Вимір амплітуди й фази для балансування	
Діапазон частот обертання	2 – 300 Гц
Похибка за частотою	± 1%
Похибка за фазою	± 5 градусів
Похибка за амплітудою	± 1 дБ
Автоматичний контроль	сигналу від сенсора положення вала, якості вимірів
Одиниці виміру амплітуди	дБ, г, м/с ² , мм/с, мкм (СКЗ, Пік, Пік-Пік)
Живлення сенсора положення вала (сенсора обертів)	5 В постійного струму, 15 мА
Загальні дані	
Діапазон робочих температур	-20 / + 50С
Вага	1.7 кг
Розміри	150×225×45 мм
Акумулятор	нікель-метал-гідридний
Час роботи акумулятора	10 год, не менше
Час повного перезарядження акумулятора	2 год
Інтерфейс	RS-232
Керування енергоспоживанням	Автовідімкнення; відімкнення підсвічування
Обсяг енергонезалежної пам'яті для зберігання даних	
Спектри на 400 ліній	700
Спектри на 800 ліній	400
Спектри на 1600 ліній	200

Вузкосмуговий спектральний аналіз сигналів і огинаючих їх високочастотних складових, що виконується СД-11, проводиться, залежно від конструктивних особливостей зубчастої передачі, з кількістю частотних смуг від 400 до 1600. Подальше збільшення кількості смуг недоцільне через нестабільність частоти обертання машини за час виміру вібрації об'єкта, що призводить до «розмивання» гармонічних складових і впливає на результат обстеження. Як правило, потрібно забезпечувати стабільність частоти обертання за час вимірювання на рівні 0,1 – 0,2 % від її величини. З припустимими похиб-

ками результат можна отримати й за меншої стабільності, але не більше, ніж 1% за час вимірювання.

Для успішного аналізу високочастотної вібрації, інтенсивність якої для багатьох типів зубчастих передач з низькою кількістю обертів виявляється в сотні разів нижчою від інтенсивності низькочастотної вібрації, збирач СД-11 має високу лінійність (не гіршу за 0,1%) і великий динамічний діапазон (понад 70 дБ).

Отримані у процесі контролю розгортання сигналів підсумовуються, накопичуються і збільшуються в суматорі лінійно, пропорційно частоті обертання вала. Всі інші сигнали, які некорельовані з частотою, накопичуються, і при великій кількості усереднень корисний сигнал перевищує рівень завади. В частотному діапазоні до 1 кГц та сама зубчаста передача не дає сигналів від зубців, але відображає сигнали вальної частоти і їхньої гармоніки.

Висновки. Застосування базового алгоритму виявлення дефектів зубчастих передач дасть змогу створити ефективну систему оцінювання технічного стану зубчастих передач. Впровадження такої системи сприятиме створенню різних комплексів для контролю зубчастих передач і проводити випробування на нестационарних режимах – на розгоні й вибігу зубчастої пари. Для цього реалізуються методи кореляції та синхронного нагромадження сигналів.

Література

1. Вулгаков Э.Б. Зубчатые передачи с улучшенными свойствами. – М.: «Машиностроение», 1974. – 264 с.
2. Гавриленко В.А. Задачи синтеза зацеплений и передач // VII Всес. совещан. по основным проблемам теории механизмов и машин. – Тбилиси, 1974. – С. 54-58.
3. Шишов В.П., Носко П.Л., Филь П.В. Теоретические основы синтеза передач зацеплением. – Луганск: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2006. – 408 с.
4. Коростелев Л.В. Кинематические показатели несущей способности пространственных зацеплений. – Машиностроение, 1964. – № 10. – С. 5–15.
5. Кудрявцев В.Н. Детали машин. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1980. – 464 с.
6. Шишов В.П., Носко П.Л., Ревякина О.А. Цилиндрические передачи с арочными зубьями. Монография. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2004. – 336 с.
7. Azovtsev A.Y., Barkov A.V., Carter D.L. Improving the accuracy of Rolling Element Bearing Condition Assessment / Proceedings of the 20th Annual Meeting of the Vibration Institute, Saint Louis, Missouri, USA, 1996, pp. 27-30.
8. Barkov A.V., Barkova N.A., Mitchell J.S. Condition Assessment and Life Prediction of Rolling Element Bearings - Part 1, Sound and Vibration, June, 1995, p. 10-17.
9. Дьяконов В.П., Абраменкова И.В. Matlab. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.

Отримана 24.06.10

T. Kadilnikova, P. Nosko, L. Sushko
Structure of gears technical state evaluation system
 Eastward Ukrainian National University, Luhansk

The system of evaluation and the basic algorithm research technical condition of gears and methods development work the algorithms and programs for the analysis of their performance. Revised specific formation of primary information on gears based software package DREAM for Windows.