

Е. М. АНОДИНА-АНДРИЕВСКАЯ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ ШАРИКОПОДШИПНИКОВ

Предложена методология построения систем неразрушающего диагностического контроля шарикоподшипников различных конструктивных разновидностей.

Ключевые слова: входной контроль, вибродиагностика.

Качество многих видов приборостроительной и машиностроительной продукции определяется характеристиками подшипников, входящих в состав изделия. Использование шарикоподшипников, не обеспечивающих заданные показатели качества изделий, может привести к значительным временным и материальным затратам. В связи с этим при производстве приборов необходимо проведение входного контроля их элементов, в частности шарикоподшипников различных типов.

В настоящее время существуют методы неразрушающего контроля, которые позволяют определять технологические погрешности рабочих поверхностей элементов шарикоподшипников, оказывающие существенное влияние на вибрацию подшипников, износ их деталей, ресурс рассматриваемых шарикоподшипников и, в итоге, на надежность изделия в целом. Однако использование этих методов в настоящее время ограничено и затруднено вследствие отсутствия единой методики построения систем входного контроля, применимой ко всей номенклатуре шарикоподшипников, используемых в промышленности.

Таким образом, проблема создания методологии построения систем неразрушающего входного контроля шарикоподшипников различных типов является весьма актуальной. Данная проблема включает в себя такие вопросы, как: построение обобщенной математической модели, позволяющей учитывать конструктивные особенности различных типов подшипников и многообразие их технологических погрешностей; разработка алгоритма диагностирования, отвечающего требованиям к номенклатуре и точности определения диагностируемых параметров; создание методики прогнозирования изменения параметров и расчета технического ресурса подшипников различных типов; выбор технического и информационного обеспечения системы контроля.

Выбор структуры системы контроля шарикоподшипников позволяет выделить три ее основных элемента: объект контроля, средства контроля и оператор. В настоящей статье особое внимание уделено разработке средств контроля, включающих в себя математическое, техническое и информационное обеспечение. Математическим обеспечением процесса входного контроля служат диагностическая модель и математическое описание процесса диагностирования. Техническое обеспечение — это устройства измерения вибрации подшипников, каналы связи, программные средства для математического моделирования работы и диагностирования состояния шарикоподшипников, устройства отображения информации. К информационному обеспечению относятся данные о значениях конструктивных параметров шарикоподшипников и параметров подшипникового узла, а также эталонных векторах вибрации [1, 2].

Последовательность действий при построении систем входного диагностического контроля шарикоподшипников определяется алгоритмом, включающим в себя следующие этапы:

- ввод исходных данных;
- выбор конструкции и режима работы подшипников;
- выбор диагностической модели;
- выбор программного обеспечения для определения технологических погрешностей, расчета и контроля технического ресурса;
- выбор средств измерения вибрации подшипника;
- выбор алгоритма диагностирования шарикоподшипников;
- вывод результатов.

Применение данного алгоритма в совокупности с разработанными средствами позволяет построить системы контроля шарикоподшипников любых типов, конструктивных разновидностей и классов точности.

Выбор конструкции и режима работы подшипников осуществляется с использованием созданной базы данных по конструктивным параметрам и показателям вибрации шарикоподшипников.

Выбор диагностической модели основан на применении представленной в работе [3] обобщенной диагностической модели шарикоподшипников с учетом сведений о конструктивных параметрах подшипника и диагностируемых технологических погрешностях.

Обобщенная диагностическая модель шарикоподшипников, структурная схема которой приведена на рисунке, описывает соотношения между основными параметрами исследуемой системы: параметрами подшипникового узла (U), конструктивными (H) и технологическими ($R(\tau)$) параметрами подшипника, а также статическими параметрами ($S(\psi, \tau)$) и вибрацией ($Y(t)$), где τ и t — время, ψ — угол поворота подвижного кольца.

Для построения диагностической модели введены следующие обозначения параметров подшипника: n — номер совокупности шариков ($n=0, \dots, N$), l — номер ряда ($l=1, \dots, L(n)$), i — номер шарика ($i=1, \dots, I(n, l)$), q — номер дорожки качения подшипника ($q=0, \dots, 2N+1$), s — номер стороны дорожки качения подшипника ($s=0, 1, 2$).

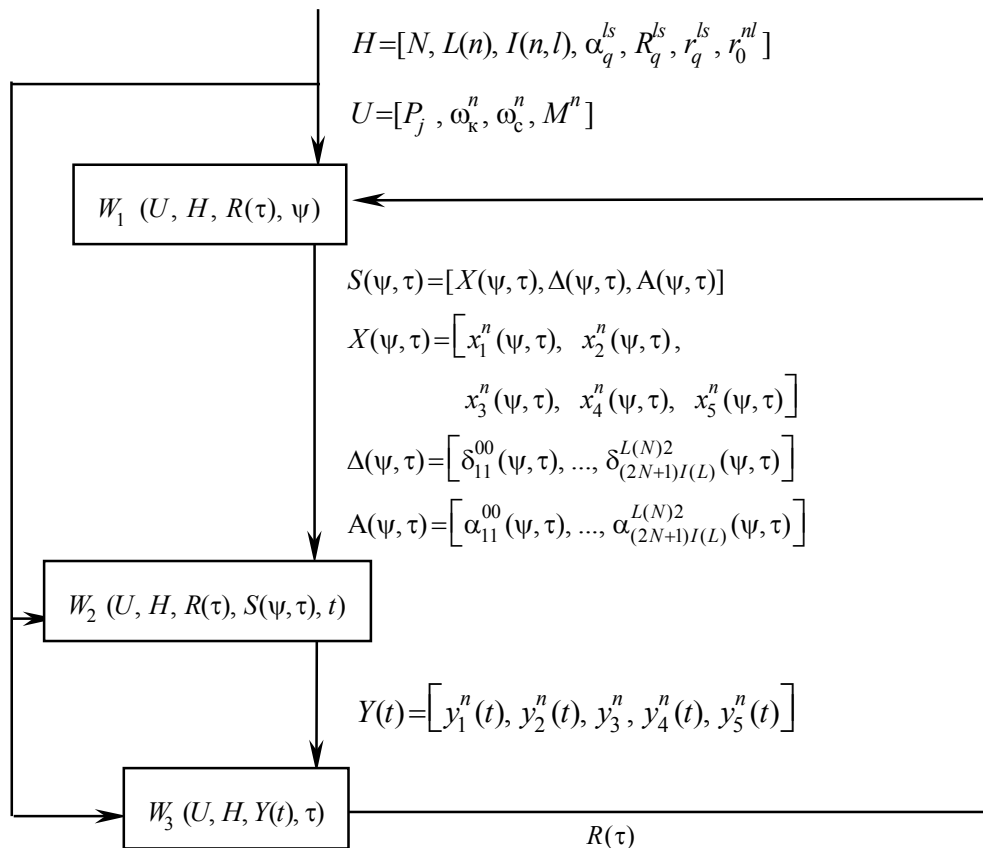
Параметрами подшипникового узла являются: частоты вращения внутреннего кольца (ω_k) и совокупностей шариков (ω_c^n , n — номер совокупности шариков или сепаратора), массы подвижных колец с оправками (M^n , $n=0, \dots, (N+1)$ — номер кольца), нагрузки (P_j^n , $j=1, 2, 3$).

Основные конструктивные параметры подшипника — это количество совокупностей шариков в подшипнике (N), количество рядов ($L(n)$, $n=0, \dots, N$), число шариков в ряду ($I(n, l)$, $l=1, \dots, L(n)$), начальный угол контакта шариков с кольцами (α_q^{ls}), радиусы дорожек качения колец (R_q^{ls}), радиусы профилей дорожек качения колец (r_q^{ls}), радиусы шариков (r_0^{nl}).

Технологическими параметрами подшипника служат технологические погрешности изготовления его элементов.

Статическими параметрами подшипника называются перемещения колец ($X(\psi, \tau) = [x_1^{nl}(\psi, \tau), x_2^{nl}(\psi, \tau), x_3^{nl}(\psi, \tau), x_4^{nl}(\psi, \tau), x_5^{nl}(\psi, \tau)]$), деформации шариков ($\Delta(\psi, \tau) = [\delta_{11}^{10}(\psi, \tau), \dots, \dots, \delta_{(2N+1)I(L)}^{L(N)2}(\psi, \tau)]$) и углы контакта шариков с кольцами ($A(\psi, \tau) = [\alpha_{11}^{10}(\psi, \tau), \dots, \dots, \alpha_{(2N+1)I(L)}^{L(N)2}(\psi, \tau)]$).

Система уравнений статики получена исходя из геометрических соотношений между параметрами шарикоподшипника и уравнений его равновесия.



Оператор W_2 (см. рисунок) устанавливает связь осевой ($y_1^n(t)$), радиальной ($y_2^n(t), y_3^n(t)$) и угловой ($y_4^n(t), y_5^n(t)$) вибрации с параметрами $U, H, S(\psi, \tau), R(\tau)$, а оператор W_3 — связь между технологическими параметрами подшипника ($R(\tau)$) и параметрами $U, H, Y(t)$.

Модель вибрации подшипника может быть описана системой уравнений движения. Результатом решения системы уравнений движения являются значения осевой, радиальной и угловой вибрации, которые служат диагностическими признаками подшипника и используются в технологическом процессе входного контроля.

Разработанная модель является универсальной и описывает соотношения между параметрами шарикоподшипников любых типов, конструктивных разновидностей и классов точности.

Для реализации построенной обобщенной диагностической модели шарикоподшипников разработана методика расчета статических параметров и показателей вибрации подшипников с использованием комплекса модульных программ. При создании программного комплекса была применена система автоматизации математических расчетов MatLab.

Сопоставление результатов расчета показателей вибрации подшипников с результатами измерения подтвердило достоверность разработанной обобщенной диагностической модели

(погрешность приблизительно равна 10%) и обоснованность ее применения в технологическом процессе входного контроля шарикоподшипников любых типов, конструктивных разновидностей и классов точности.

Методика определения технологических погрешностей изготовления элементов шарикоподшипников базируется на использовании методов общей теории технической диагностики.

В данной задаче определение технологических параметров подшипника осуществляется по минимуму обобщенного расстояния [4]:

$$d_p = \left[\sum_{b=1}^B \lambda_{pb} |\hat{y}_b - \tilde{y}_{pb}|^v \right]^{\mu/v},$$

где \hat{y} — вектор измеренной вибрации, \tilde{y}_p — эталонный вектор вибрации, λ — вектор весовых коэффициентов.

Прогнозирование состояния объекта осуществляется по методике, изложенной в работе [5].

Для реализации поэтапного процесса прогнозирования определенная промежуток времени разбивается на интервалы, что позволяет применить линейную модель для определения технологических погрешностей элементов подшипников в заданные моменты времени.

С целью использования в процессе входного контроля разработан программный комплекс для диагностирования шарикоподшипников. Он состоит из модуля определения технологических параметров подшипника, влияющих на вибрацию, модуля прогнозирования изменения состояния подшипника и оценки его ресурса, а также модуля контроля ресурса подшипника.

Универсальный алгоритм диагностирования [5] шарикоподшипников определяет последовательность действий в процессе входного контроля. Использование данного алгоритма позволяет осуществить диагностирование состояния подшипников и тем самым получить всю необходимую информацию об объектах исследования на начальной стадии изготовления изделий приборостроения.

Сравнение результатов экспериментальной проверки шарикоподшипников разнообразных конструкций и результатов диагностирования (погрешность определения технологических параметров подшипников не превышает 12 %, а погрешность расчета ресурса — 15 %) подтверждает обоснованность применения разработанной системы для осуществления входного контроля шарикоподшипников любых типов и конструктивных разновидностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анодина-Андреевская Е. М. Разработка комплексных автоматизированных систем диагностического контроля шарикоподшипников / СПбГУАП. СПб, 2000. Деп. в ВИНТИ. 04.02.00. N 261-B00.
2. Явленский К. Н., Анодина-Андреевская Е. М. Автоматизированная система диагностирования шариковых подшипников // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. „Диагностика, информатика, метрология, экологическая безопасность — 98“. СПб, 1998. С. 34.
3. Анодина-Андреевская Е. М. Обобщенная диагностическая модель шариковых подшипников // Там же. С. 35.
4. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. М.: Мир, 1978. 411 с.
5. Приборные шариковые подшипники: Справочник / Под ред. К. Н. Явленского и др. М.: Машиностроение, 1981. 351 с.

Сведения об авторе

Елена Михайловна Анодина-Андреевская — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра измерительных технологий и компьютерной томографии

Рекомендована кафедрой
мехатроники

Поступила в редакцию
15.06.09 г.