закону). Такой характер зависимости $\Delta d(d)$ в наилучшей степени соответствует требованиям.

Таким образом, особенностью построения МПУ, используемого в составе системы диагностирования технического состояния гидроагрегатов по параметрам частиц износа, генерированных в рабочую жидкость узлами трения, является необходимость применения в их составе логарифмического преобразователя для коррекции нелинейности зависимости $U(d)$ ДВК.

Список использованных источников

1. Логвинов Л.М., Поминов Е.И., Кудрявцев И.А. и др. Концепция функциональной диагностики гидравлических систем технологического оборудования по параметрам частиц износа // Ремонт, восстановление, модернизация. 2002. №3. С.8-13.
2. Логвинов Л.М., Ковалев М.А. Математическое моделирование технического состояния трибомеханических узлов // Ремонт, восстановление, модернизация. 2007. №2. С.25-28.

АППРОКСИМАТИВНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРИБОМЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ ГИДРОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ЛАГЕРРА

М.А.Ковалев, К.Ю.Мальчиков

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Рост числа летных происшествий в последний период времени, а также высокая конкуренция в сфере авиаперевозок вынудили общественность и специалистов пристальнее взглянуть на проблему надежности авиационной техники.

Значительная доля отказов авиационной техники приходится на агрегаты гидросистемы. Поэтому актуальной является проблема разработки диагностических средств, позволяющих повысить надежность гидроагрегатов. Одним из направлений разработки таких средств является создание систем функциональной диагностики, определяющих техническое состояние гидроагрегатов на основе анализа дисперсного состава частиц (концентрация и размер частиц) износа, генерируемых узлами трения этих агрегатов в рабочую жидкость. Анализируя количество и размер таких частиц в рабочей жидкости, можно прогнозировать состояние и остаточный ресурс агрегата гидросистемы [1-3].

Для решения задачи диагностики узлов трения по изменению дисперсного состава частиц износа в рабочей жидкости наиболее широкое распространение нашли датчики встроенного контроля (ДВК), определяющие дисперсный состав частиц загрязнения на основе фотоэлектрического метода [2]. Такие ДВК имеют порог чувствительности (минимальный размер регистрируемой частицы загрязнения) 5 мкм. Это ограничение обусловлено действием шумов фотоэлектрического преобразователя и параметрического усилителя ДВК. Однако для решения некоторых задач важно знать распределение дисперсного состава частиц износа в диапазоне размеров менее 5 мкм.

Для преодоления ограничения по чувствительности предлагается использовать математический аппарат аппроксимативного анализа [4]. Известно, что распределение дисперсного состава частиц загрязнения рабочей жидкости подчиняется логнормальному закону [3]. Поэтому в данном случае можно применить метод аппроксимации плотности вероятности распределения дисперсного состава частиц износа на основе функции заданного вида (логнормальной функции) [4]. Определив параметры этого распределения на основе значений, полученных в диапазоне более 5 мкм, можно с достаточной точностью спрогнозировать значения распределения дисперсного состава частиц в диапазоне размеров менее 5 мкм. Однако, анализ результатов такой аппроксимации показал, что в некоторых ситуациях она не дает требуемой точности прогнозирования.

В этих случаях целесообразно раскладывать плотность вероятности в ряд по той или иной системе ортогональных функций. Одной из таких систем являются ортогональные функции Лагерра [4,5], имеющие вид

$$Lag_k(x,\alpha) = \sum_{s=0}^{k} \frac{k!}{(k-s)!} \cdot \frac{(-\alpha \cdot x)^s}{(s!)^2} e^{\frac{-\alpha \cdot x}{2}}, \tag{1}$$

и удовлетворяющие условию:

$$\int_0^{\infty} Lag_k(x,\alpha) \cdot Lag_n(x,\alpha)\,dx = \begin{cases} 0, & если\ k \neq n, \\ \dfrac{1}{\alpha}, & если\ k = n. \end{cases} \tag{2}$$

После того, как будут найдены оптимальные параметры, плотность вероятности может быть представлена в виде:

$$f_a(x) = \sum_{k=0}^{M} \beta_k Lag_k(x - x_{\min}, \alpha) \tag{3}$$

где

$$\beta_k = \alpha \int_0^{\infty} f_a(x + x_{\min}) \cdot Lag_k(x,\alpha)\,dx \tag{4}$$

Формула (4) – коэффициенты разложения ортогонального ряда;
M – количество членов разложения ортогонального ряда,

$x_{\min}$ – минимальное значение абсциссы в области определения плотности вероятности;
α – параметр аппроксимирующего выражения.

Так как аппроксимируемая функция не монотонна (имеется максимум), то для повышения точности в некоторых случаях можно использовать метод двусторонней аппроксимации с максимумом в точке $x_{\max}$. В этом случае полученная модель плотности вероятности примет вид:

$$f_a(x) = y_{\max}\left(\sum_{k=0}^{M_Л} \beta_{k,Л} Lag_k(x_{\max} - x, \alpha_Л) 1(x_{\max} - x) + \right.$$
$$\left. + \sum_{k=0}^{M_n} \beta_{k,n} Lag_k(x_{\max} - x, \alpha_n) 1(x_{\max} - x)\right), \quad (5)$$

где $\beta_{k,л} = \alpha_л \int\limits_0^\infty f_a(x_{\max} - x) \cdot Lag_k(x, \alpha_л) dx$ - коэффициенты разложения левой ветви, $\beta_{k,n} = \alpha_n \int\limits_0^\infty f_a(x + x_{\max}) \cdot Lag_k(x, \alpha_n) dx$ - коэффициенты разложения левой ветви,

$$1(x) = \begin{cases} 1, & x > 0, \\ \frac{1}{2}, & x = 0, \\ 0, & x < 0, \end{cases} \quad 1(-x) = \begin{cases} 0, & x > 0, \\ \frac{1}{2}, & x = 0, \\ 1, & x < 0. \end{cases}$$

В некоторых случаях для повышения точности аппроксимации в формулах (3) и (5) рекомендуется вместо коэффициентов β_k и $\beta_{k,л(n)}$ использовать коэффициенты:

$$b_k = \beta_k + \frac{f_a(x_{\min}) - \sum_{k=0}^{M} \beta_k}{M+1},$$
$$b_{k,л(n)} = \beta_{k,л(n)} + \frac{y_{\max} - \sum_{k=0}^{M_{л(n)}} \beta_{k,л(n)}}{M_{л(n)} + 1}. \quad (6)$$

С целью проверки работоспособности синтезированного алгоритма (1) – (4) и (6) была разработана программная оболочка, позволяющая вводить экспериментальные данные и обрабатывать их на основе синтезированного алгоритма. Для проверки алгоритма использовались экспериментальные данные [3]. Расчет проводился для 20 дифференциальных коридоров при $M=10$ и при α=1. Результаты обработки представлены на рисунках 1 и 2. Анализ результатов показал, что в случае использования коэффициента разложения β_k относительная погрешность δ [4] составляет 0,605%, а при использовании b_k - δ =1,021%, то есть применение коэффициентов b_k в данном случае не позволяет повысить точность аппроксимации. Оценивая степень соответствия рассчитанных значений погрешностей требуемой точности, необходимо учитывать высокую нестабильность дисперсного состава частиц износа в рабочих жидкостях гидросистем.

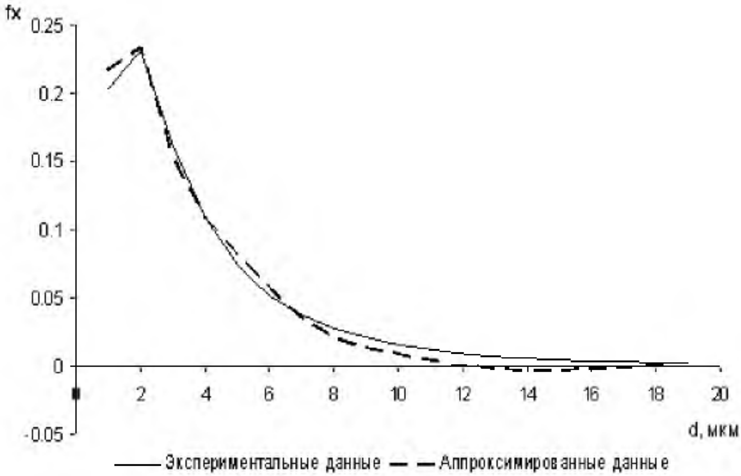

Рис. 1. Аппроксимация функциями Лагерра с использование коэффициентов разложения β_k

Эта нестабильность обусловлена процессами коагуляции (объединения), раскола, осаждения частиц, протекающими с большой скоростью. Поэтому на практике допустимым значением погрешности определения дисперсного состава частиц износа является величина δ = 20…30% [1]. Из этого следует, что аппроксимация опытных данных дисперсного состава частиц износа, генерированных в рабочую жидкость гидравлических систем парами трения, на основе ортогональных функций Лагерра дает вполне приемлемый результат.

Рис. 2. Аппроксимация функциями Лагерра с использование коэффициентов разложения b_k

Эта нестабильность обусловлена процессами коагуляции (объединения), раскола, осаждения частиц, протекающими с большой скоростью. Поэтому на практике допустимым значением погрешности определения дисперсного состава частиц износа является величина δ = 20…30% [1]. Из этого следует, что аппроксимация опытных данных дисперсного состава частиц износа, генерированных в рабочую жидкость гидравлических систем парами трения, на основе ортогональных функций Лагерра дает вполне приемлемый результат.

Список использованных источников

1. Логвинов Л.М., Поминов Е.И., Кудрявцев И.А. и др. Концепция функциональной диагностики гидравлических систем технологического оборудования по параметрам частиц износа // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2002. №3. С.8-13.
2. Логвинов Л.М. Техническая диагностика жидкостных систем технологического оборудования по параметрам рабочей жидкости. – М.: ЦНТИ Поиск, 1992. - 91 с.
3. Fitch E.C. Fluid contamination control // Technology transfer Series #4, Oklahome, FFS, INC. 1988. – 433 p.
4. Прохоров С.А. Аппроксимативный анализ случайных процессов. – Самара: СГАУ, 2001. - 329 с.
5. Прохоров С.А., Дегтярева О.А. Аппроксимация плотности вероятности ортогональными функциями Лагерра и получение аналитических выражений для характеристических функций по параметрам модели. – Электронный научный журнал ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ.