раметров, включая производительность и энергопотребление, возможным выбором является сигнальный процессор семейства BLACKFIN от фирмы Analog Devices.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЦ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МАЛЫХ РАЗМЕРОВ В РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ГИДРОСИСТЕМ

М.А.Ковалев, Д.С.Рысин
Самарский государственный аэрокосмический университет, г.Самара

В настоящее время все более широкое применение находят гидросистемы, функциональную диагностику которых целесообразно проводить на основе анализа дисперсного состава частиц износа (концентрация и размер частиц), генерируемых узлами трения в рабочую жидкость [1,2,3]. Анализируя количество и размер таких частиц, можно достаточно точно прогнозировать состояние и остаточный ресурс того или иного агрегата и узла системы.

Важной тенденцией в развитии гидросистем воздушных судов (ВС) является увеличение в них рабочего давления, что позволяет при малых массово - габаритных характеристиках элементов гидросистем достичь высокой мощности и производительности. Однако увеличение рабочего давления в гидросистеме приводит к значительному возрастанию требований к уровню чистоты рабочей жидкости и к тонкости ее фильтрации. Использование фильтрации тонкостью 5 мкм и менее приводит к существенному увеличению гидравлического сопротивления фильтра и к возрастанию стоимости эксплуатации авиационной техники, связанной с усложнением методики обслуживания фильтров. На этом фоне существенно возрастет актуальность решения задачи оперативного контроля уровня загрязнения рабочей жидкости гидросистем ВС.

Для решения задачи диагностики узлов трения по изменению дисперсного состава примесей рабочих жидкостей используются различные датчики встроенного контроля (ДВК), разработанные в ОНИЛ-16 СГАУ, которые с высокой точностью и надежностью определяют дисперсный состав частиц размером более 5 мкм. Однако разработать ДВК, определяющие дисперсный состав частиц размером менее 5 мкм, до настоящего времени пока не удалось в силу определенных технических проблем [2].

Одним из направлений решения задачи определения дисперсного состава частиц износа размером менее 5 мкм является разработка сверхчувствительных ДВК. Однако это направление сопряжено с серьезными техническими сложностями и требует дополнительных материальных затрат.

Другим направлением решения поставленной задачи является разработка новых методов обработки сигналов, формируемых ДВК. Для этого предлагается использовать математический аппарат аппроксимативного анализа [4]. Учитывая, что распределение дисперсного состава частиц загрязнения рабочей жидкости подчиняется логнормальному закону и, 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.

С учетом отмеченного выше плотность вероятности дисперсного состава частиц износа может быть описана следующей функцией

$$f(x,a,\sigma_x)=\frac{1}{x\sigma_x\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(\ln x-a)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (1)$$

где a и σ_x – соответственно натуральные логарифмы математического ожидания и среднеквадратического отклонения значений размеров частиц износа x.

Для определения параметров аппроксимирующей функции (1) целесообразно воспользоваться методом наименьших квадратов [4], который предполагает выбор таких значений a и σ_x , которые минимизировали бы суммы квадратов отклонений измеренных значений $\hat{f}_j$ – значений плотности распределения вероятности в середине j - того дифференциального коридора x_j, от соответствующих значений функции (1), т.е.

$$\Delta=\sum_{j=1}^{M}\left[\hat{f}_j-f(x_j,a,\sigma_x)\right]^2\rightarrow\min, \quad (2)$$

где $M=\frac{x_{\max}-x_{\min}}{\Delta x}$ - число дифференциальных коридоров; x_{min} и x_{max} – соответственно минимальное и максимальное значения размеров частиц износа; Δx – интервал дискретизации, значение которого выбирается из следующего условия:

$$\Delta x=\sqrt{\frac{8\delta}{\left|F''(x)\right|_{\max}}}. \quad (3)$$

Здесь δ – погрешность аппроксимации функции распределения; $\left|F''(x)\right|_{\max}$ - максимальное значение модуля второй производной функции распределения.

Формула (1) определяет некоторое множество функций, из которого надлежит выбрать наилучшую в смысле (2). Поскольку величина Δ есть функция a и σ_x, то необходимое условие минимума (2) сводится к приравниванию производной от Δ по a и σ_x к нулю

$$f_1\left(a,\sigma_x\right)=\sum_{j=1}^{M}\left[\hat{f}_j-f(x_j,a,\sigma_x)\right]\frac{\partial f(x_j,a,\sigma_x)}{\partial a}=0,$$
$$f_2\left(a,\sigma_x\right)=\sum_{j=1}^{M}\left[\hat{f}_j-f(x_j,a,\sigma_x)\right]\frac{\partial f(x_j,a,\sigma_x)}{\partial \sigma_x}=0, \tag{4}$$

где

$$\frac{\partial f(x_j,a,\sigma_x)}{\partial a}=\frac{\ln x_j-a}{\sigma_x^2}f(x_j,a,\sigma_x),$$
$$\frac{\partial f(x_j,a,\sigma_x)}{\partial \sigma_x}=\frac{\left(\ln x_j-a\right)^2-\sigma_x^2}{\sigma_x^3}f(x_j,a,\sigma_x). \tag{5}$$

В виду сложности нахождения аналитического решения задачи (4) - (5) для решения нелинейных уравнений использовался численный метод Ньютона. При этом было получено:

$$a_{n+1}=a_n-\frac{1}{\Delta'}\left[\frac{\partial f_2}{\partial \sigma_x}f_1\left(a_n,\sigma_{x_n}\right)-\frac{\partial f_1}{\partial \sigma_x}f_2\left(a_n,\sigma_{x_n}\right)\right], \tag{6}$$

$$\sigma_{xn+1}=\sigma_{xn}-\frac{1}{\Delta'}\left[\frac{\partial f_2}{\partial a}f_1\left(a_n,\sigma_{x_n}\right)-\frac{\partial f_1}{\partial a}f_2\left(a_n,\sigma_{x_n}\right)\right], \tag{7}$$

где $\Delta'=\frac{\partial f_1}{\partial a}\frac{\partial f_2}{\partial \sigma_x}-\frac{\partial f_1}{\partial \sigma_x}\frac{\partial f_2}{\partial a}$.

В качестве начальных условий для решения уравнений (6), (7) целесообразно использовать значения, рассчитанные на основе опытных данных согласно выражениям

$$a=\ln\left(\sum_{j=1}^{M}\left(\hat{f}_j\cdot x_j\right)\right),\quad \sigma_x=\ln\left(\sum_{j=1}^{M}\left(\hat{f}_j\cdot\left(x_j-a\right)^2\right)\right). \tag{8}$$

В целях подтверждения работоспособности полученного алгоритма был проведен машинный эксперимент, в ходе которого решались две задачи:

1) аппроксимация опытных данных функцией (1) в полном диапазоне размеров частиц износа (в том числе и на интервале 1…5 мкм), проверка соответствия полученной функции опытным данным на основе критерия Пирсона и оценка погрешности аппроксимации;

2) аппроксимация опытных данных функцией (1) в диапазоне размеров частиц износа более 5 мкм, проверка соответствия полученной функции опытным данным на основе критерия Пирсона, оценка погрешности аппроксимации в полном диапазоне размеров частиц и оценка погрешности предсказания в диапазоне менее 5 мкм.

При решении второй задачи предполагалось, что значения распределения дисперсного состава частиц износа в диапазоне менее 5 мкм неизвестно. Это значительно усложняет задачу аппроксимации, поскольку при этом общее количество частиц становится неизвестным. В результате в системе, образуемой уравнениями (6), (7), появляется третья неизвестная величина, и для того, чтобы систему можно было решить необходимо включить в нее еще одно уравнение. В качестве такого уравнения было использовано условие нормировки для плотности вероятности

$$\int_0^{\infty} f(x,a,\sigma_x)dx = 1 \quad \text{или} \quad \sum_{j=1}^{M}\left[f(x_j,a,\sigma_x)\cdot \Delta x_j \right] = 1. \qquad (9)$$

Таким образом, для решения задачи аппроксимации опытных данных функцией (1) при неизвестном количестве частиц размером менее 5 мкм необходимо решить систему, состоящую из уравнений (6) - (8) (в которых j изменяется в диапазоне от 5 до $M{=}x_x$) и (9).

Для удобства обработки экспериментальных данных на основе алгоритма (6) – (9) с использованием среды программирования Delphy была разработана программная оболочка, которая позволяет вводить опытные данные, рассчитывать оптимальные значения a и σ_x , а также строить графики экспериментального $\hat{f}_j$ и расчетного $f(x,a,\sigma_x)$ распределений плотностей вероятностей дисперсного состава частиц износа.

В результате проведения эксперимента на основе опытных данных, приведенных в [3], было установлено, что аппроксимация дисперсного состава частиц износа в рабочих жидкостях гидравлических систем на основе логнормального закона дает вполне приемлемый результат. Кроме того, существует возможность предсказания с достаточной точностью дисперсного состава частиц и в диапазоне размеров менее 5 мкм на основе аппроксимации опытных данных в диапазоне размеров более 5 мкм.

Следует также отметить, что в настоящее время контроль чистоты рабочих жидкостей гидравлических систем осуществляется с использованием ГОСТ 17216-2001. Для гидросистем ВС рекомендуется использовать рабочие жидкости с уровнем загрязнения, соответствующим 3...12 классу ГОСТа. Для этих классов предполагается определение дисперсного состава частиц износа в 6 дифференциальных коридорах с различными интервалами дискретизации размеров частиц: 5...10, 10...25, 25...50, 50...100, 100...200 мкм и волокна. Причем волокна и пятый дифференциальный коридор

(100...200 мкм) для анализа на основе рассмотренного алгоритма не подходят поскольку количество частиц в данных группах небольшое, а следовательно, велик фактор случайности. Такого количества дифференциальных коридоров M явно недостаточно для определения параметров a и σ_x аппроксимирующей функции (1) с достаточной точностью. Отсюда вытекает необходимость применения некоторой отличной от используемой на практике методики подсчета частиц износа. Согласно такой методики число частиц износа должно определять в таком количестве дифференциальных коридоров, которое бы с учетом (3) обеспечило заданную точность определения параметров распределения (1), и, соответственно, требуемую точность прогнозируемых значений распределения дисперсного состава частиц износа.

Список использованных источников

1. Логвинов Л.М. Техническая диагностика жидкостных систем технологического оборудования по параметрам рабочей жидкости. – М.: ЦНТИ Поиск, 1992. 91с.
2. 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.
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. - 329с.

ПРОГРАММА КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

А.П. Погодин, А.В. Пияков

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Задача нахождения траекторий заряженных частиц в электростатических системах произвольных заданных геометрических конструкций и проведения различных статистических экспериментов с ними приводит к необходимости численного решения уравнения Лапласа и уравнений движения. Существует большое число коммерческих программных продуктов подобные и более сложные задачи от учебно-вспомогательных таких как MathLab до профессиональных инженерных – ANSYS. Однако первые мало приспособлены для решения реальных задач так как имеют небольшую точность