

МЕТОДЫ ТРЕНДОВОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ

В технической диагностике дизель-генераторов трендовый анализ трактуется как одна из задач прикладной статистики, а именно как задача выявления тенденций к изменению статистических характеристик результатов регистрации контролируемых параметров ДГ с целью определения их стационарности [1].

Объектом трендового анализа являются так называемые временные ряды: совокупность эмпирических данных, представляющих собой измеряемые в дискретные моменты времени значения переменных, скалярных либо векторных, характеризующих на заданном промежутке времени состояние объекта исследования (в данном случае ДГ) [2, 3]. Указанные переменные понимаются как реализации случайных процессов (СП), в общем случае нестационарных, свойства которых в виде соответствующих многомерных плотностей вероятности (МПВ), известны лишь частично, либо неизвестны вовсе, а заданы лишь некоторые их ограничения.

Предметом трендового анализа является обнаружение факта и момента времени изменения свойств СП (называемого «разладкой» [2]), фиксируемых в виде временных рядов. В частном случае, возможно фиксирование момента выхода за установленные пределы одного либо нескольких оцениваемых параметров СП (оценка тренда в интересах допускового контроля). Главным условием успешного решения задачи «разладки» является несмещенная, эффективная и состоятельная оценка выбранного параметра СП, в частности параметра положения (среднего).

Для решения задачи трендового анализа привлекаются следующие методы математической статистики:

- оценки случайности расхождения между заданным математическим ожиданием и выборочным средним в последовательностях данных контролируемых параметров;

- оценки принадлежности выборок контролируемых параметров одной генеральной совокупности;

- выявления закономерностей в последовательностях данных контролируемых параметров.

Задачи первой группы охватывают параметрические методы, основанные на учете априорной информации о МПВ, и являются тради-

ционными в прикладной статистике [4, 5]. Наиболее полно алгоритмы решения этих задач отражены в [6, 7], где приведены готовые программы по их реализации.

Задачи второй группы решаются обычно непараметрическими методами оценивания [6, 8] с использованием порядковых (ранговых) статистик.

Наиболее сложными являются задачи третьей группы – классические задачи о "разладке" [1, 2, 9], для решения которых используются как параметрические, так и непараметрические методы.

Как это следует из постановки задачи, в трендовом анализе обычно реализуется двухальтернативная задача статистического различения гипотез, при которой используется либо критерий Неймана-Пирсона, либо критерий оптимального наблюдателя [1, 4, 5, 6]. При этом, важное значение приобретает обоснованное установление порога принятия решения, с которым сравнивается решающая статистика. В допусковом контроле такой порог назначается исходя из опыта эксплуатации заданного типа ДГ, а при решении задач обнаружения "разладки" – исходя из априорно заданной вероятности ложных решений. Оптимальное назначение порога, в свою очередь требует использования представительных выборок, что связано с получением и обработкой массивов данных ресурсных испытаний диагностируемого ДГ.

При анализе технического состояния ДГ используются следующие типовые критерии выявления тренда [1]:

1. Критерий Хальда-Аббе

$$r = \frac{1}{2(N-1) \hat{D}_y} \sum_{k=1}^N \Delta y_k^2 \gg r_{kp}(N, \alpha), \quad (1)$$

где $\Delta y_k = (y_{k+1} - y_k)$ - первая последовательная разность элементов временного ряда, \hat{D}_y - выборочная дисперсия, α - уровень значимости.

2. Модифицированный r' -критерий

$$r' = \frac{1}{2} \ln[(2-r)/r]. \quad (2)$$

Преобразование (2) при $N > 10$ нормализует распределение критерия (1) с дисперсией $\sigma_{r'} = (N-3)^{-0,5}$, что упрощает определение критического значения, т. к. не требует специальных таблиц распределения (1).

3. Интегральный S-критерий

$$S_N = \sum_{k=1}^N \left(y_k - \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k y_n \right) \gg S_{kp}(N, \alpha), \quad (3)$$

является кумулятивной суммой, центрированной относительно выборочного среднего. Граничное значение критерия определяется по уровню значимости.

4. Модифицированный S' -критерий, учитывающий изменение параметров по наработке.

Выборочное среднее в (3) заменяется оценкой линейной регрессии

$$\hat{m}_y = a(\tau - \bar{\tau}) + b, \quad (4)$$

где коэффициенты регрессии уточняются для каждого нового значения времени

$$b_k = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k y_j,$$

$$a_k = \left[\sum_{j=1}^k y_j (\tau_j - \bar{\tau}_j) / \left(\sum_{\zeta=1}^k (\tau_j - \bar{\tau}_j) \right) \right].$$

Граничные значения критерия имеют, соответственно другой вид.

5. Интегральный критерий приращений

$$I_k = \sum_{k=1}^N (y_k - y_{k-i}), \quad (5)$$

где $I_{10} = y_{11} - m_y$, $m_y = 0,1 \sum_{i=1}^{10} y_i$.

В качестве примера рассмотрен дизель-генератор фирмы Nishishiba контейнеровоза на 8400 контейнеров, имеющий следующие основные характеристики: 4-тактный, рядный, мощность 2880 кВт, с номинальной частотой вращения 720 мин^{-1} , максимальное давление сгорания 190 бар. Используемое топливо - HFO выше $700 \text{ cSt}/50^\circ\text{C}$ (BSMA 100-M9).

В табл. приведены основные параметры исследуемого ДГ, которые могут использоваться для диагностики его технического состояния.

В продолжение работы планируется проведение компьютерного моделирования трендового анализа основных параметров ДГ фирмы Nishishiba, с целью их минимизации и выделения наиболее значимых, с точки зрения диагностирования технического состояния ДГ.

Параметры ДГ фирмы Nishishiba

Параметры	Пределы работы параметров
Давление предварительной смазки ДГ	не ниже 0,12 бар
Давление пускового воздуха	не ниже 15 бар
Давление воды контура низкой температуры	не ниже X+0,4 бар
Давление воды контура высокой температуры	не ниже X+0,4 бар
Давление смазки ДГ	не ниже 3,5 бар
Давление топлива (MDO)	не ниже 1,0 бар
Давление топлива (HFO)	не ниже 3,0 бар
Разница давления выхода и входа в фильтре смазки ДГ	не более 1,5 бар
Температура воды контура высокой температуры	не более 90° С
Температура смазки ДГ	не более 80° С
Температура выхлопных газов после турбокомпрессора	не более 450° С
Температура выхлопных газов до турбокомпрессора	не более 570° С
Разница температуры выхлопных газов относительно установленной	не более $\pm 50^\circ$ С
Низкое давление смазки турбокомпрессора	не менее 0,9 бар

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елифанов С.В., Кузнецов В.Л. Богаенко И.Н. и др. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей. - К.: Техніка, 1998. - 312 с.

2. Жигалевский А.А., Красковский А.Е. Обнаружение разладки случайных процессов в задачах радиотехники. - Л.: Изд. Ленигр. ун-та, 1988. - 224 с.

3. Мартин Р.Д. Устойчивый авторегрессионный анализ временных рядов // Устойчивые статистические методы оценки данных. Под ред. Н.Г. Волкова. - М.: Машиностроение, 1984. - С. 121 - 146.

4. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. - М.: Финансы и статистика, 1983. - 422 с.

5. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Исследование зависимостей. - М.: Финансы и статистика, 1985. - 488 с.

6. Иванов В.В. Методы вычислений на ЭВМ. - К.: Наукова думка,

1986. - 584 с.

7. Марпл мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990. – 584 с.

8. Хетманспергер Т. Статистические выводы, основанные на рангах. - М.: Финансы и статистика, 1987. - 334 с.

9. Колемаев В.А., Староверов О.В., Торундаевский В.В. Теория вероятности и математическая статистика. – М.: Высш. шк., 1991. – 400 с.