

УДК 681.518.54

А.Р. МИСЬКА

Одесская национальная морская академия, Украина

ТРЕНДОВЫЙ КОНТРОЛЬ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Рассматривается проблема повышения эффективности систем технической диагностики судовых энергетических установок. Предложено использовать методы трендового анализа в качестве методов анализа статистических данных в системах технической диагностики судовых энергетических установок. Приведены основные критерии выявления тренда временных рядов, которые характеризуют состояние объектов диагностики. Проанализирована эффективность и надежность применения некоторых критериев тренда для реальных данных регистрации контролируемых параметров исходной статистической модели. Выполнен анализ возможностей и условий применения таких методов в задачах диагностики технического состояния судовых дизель-генераторных установок.

Ключевые слова: техническая диагностика, временные ряды, трендовый анализ, критерии тренда, диагностическая модель

Введение

Решение общей проблемы повышения эффективности систем технической диагностики (СТД) энергетических установок, к которым относятся, в частности, судовые дизель-генераторные установки (ДГУ), наряду с совершенствованием аппаратных средств, обусловлено необходимостью повышения надежности статических выводов о техническом состоянии объектов диагностирования с целью prolongации их ресурсов. Важной практической задачей диагностики является расширение возможностей реализуемых систем, охватывая не только традиционный допусковый контроль, но и оценки тенденций изменения контролируемых параметров на основе измеренных их значений в виде временных рядов.

1. Формулирование проблемы

1.1. Постановка проблемы и цель исследования

Трендовый контроль, являясь в настоящее время функционально необходимой частью алгоритмического обеспечения систем технической диагностики, позволяет определить факт необратимого изменения состояния диагностируемых объектов (задачи обнаружения «разладки» [1]), определить степень возникшей тенденции к изменению контролируемых параметров и дать прогнозную оценку их возможного состояния [2, 3].

Применение методов трендового анализа обособлено в отрасли газотурбостроения [4 – 6], в частности опыт эксплуатации комплексной системы

контроля и диагностики двигателя ПС-90А с подсистемой трендового анализа освещается в [5], а двигателя НК-8-24 в [6]. Высокая эффективность трендового контроля вибросостояния двигателя отмечается в [8]. В указанных подсистемах трендового контроля технического состояния двигателей реализуется решающая статистика Хальда-Аббе [6].

Предлагаемые в прикладной статистике методы и критерии обнаружения и оценки тренда временных рядов (Хальда-Аббе [4], кумулятивных сумм [1], Спирмена [3], Фишера [3] и другие) отличаются по сложности реализации и эффективности. Это многообразие дает возможность выбора, при их практической реализации. Но в то же время применение указанных критериев при анализе реальных временных рядов контролируемых параметров зачастую не дает ожидаемых результатов ввиду несоблюдения условий их корректного использования, то есть несоответствия выбранной статистической модели (СМ) реальным данным.

Поэтому необходимо определить факторы, влияющие на эффективность и условия корректного применения тех или иных методов и критериев обнаружения и оценки тренда при решении задачи диагностирования технического состояния дизель-генераторных установок, что и является целью настоящей работы.

1.2. Методы и критерии обнаружения тренда временных рядов

Статистики тренда, наиболее часто применяемые для анализа временных рядов [4], имеют следующий вид:

1.2.1. Критерий Хальда-Аббе (r-критерий)

$$r = 0,5(\text{Var}_y)^{-1} \sum_{k=1}^N (y_{k+1} - y_k)^2, \quad (1)$$

где Var_y – выборочная дисперсия временного ряда $\{y_k\}$.

1.2.2. Модифицированный r-критерий

$$r' = 0,5 \ln[(2-r)/r]. \quad (2)$$

Преобразование (2) при $N > 10$ нормализует распределение критерия (1) с дисперсией $1/(N-3)$, что упрощает определение критических уровней.

1.2.3. Интегральный S-критерий

$$S_N = \sum_{k=1}^N \left[y_k - (1/k) \sum_{n=1}^k y_n \right]. \quad (3)$$

Статистика (3) является кумулятивной суммой [1], центрированной относительно выборочного среднего.

1.2.4. Модернизированный S-критерий

$$S'_N = \sum_{k=1}^N (y_k - \hat{m}_k), \quad (4)$$

где \hat{m}_k - оценка линейной регрессии $\{y_k\}$ с уточнением коэффициентов регрессии на каждом шаге. Согласно [4] критерий (4) позволяет учесть изменение параметров по наработке.

1.2.5. Интегральный критерий приращений

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

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

Сравнительный анализ статистик (1)...(5) по данным стационарного моделирования приведен в [4].

Совершенство более эффективных и, соответственно, более сложных алгоритмов оценки трендов контролируемых параметров ГТД предлагается ЗАО «Диагностика» (г. Москва, Россия). Также используются алгоритмы, основанные на известной [3] статистике Фишера, применяемой в дисперсионном анализе.

Ф-критерий в форме

$$F = \left[\sum_{k=1}^N (y_k - m_N)^2 \right]^{-1} \sum_{k=1}^N (y_k - \hat{m}_k)^2 \quad (6)$$

позволяет не только определить факт наличия тренда, но и оценить его параметры, что выгодно отличает

предъявляемый критерий от известных.

Указанные статистики основаны на опорной гипотезе H_0 об отсутствии тренда в исследуемой выборке. При этом относительно выборки предполагается естественная СМ данных в виде принадлежности к нормальной генеральной совокупности $\{y_k\} \in N$ некоррелированных случайных величин. Альтернативной является гипотеза H_0 о наличии детерминированной составляющей (тренда) в выборке, в простейшем случае линейной функции времени.

Эффективность и надежность используемых критериев тренда (1)...(6) в основном определяется соответствием реальных данных регистрации контролируемых параметров исходной СМ. Такое несоответствие обусловлено негауссовостью законов распределения ошибок регистрации, возможной коррелированностью выборки ввиду свойств объекта диагностирования и выбранных алгоритмов предварительной обработки (фильтрации) данных. Отличие законов распределения ошибок измерения от гауссовского является известным фактом [4], а при использовании методов косвенных измерений негауссовость выборки является скорее правилом, чем исключением [7]. Наличие выбросов в измеряемых данных существенно повышает уровень ложных срабатываний критериев тренда. По этой причине использование наиболее быстродействующих алгоритмов кумулятивных сумм и их модификаций не представляется возможным без предварительной фильтрации данных. Статистики Аббе и Фишера менее чувствительны к наличию у плотности распределения тестируемых данных пологих склонов, однако при наличии явно выраженной асимметрии плотности распределения, наблюдается рост вероятности ошибок первого и второго рода [7]. Возможная коррелированность выборки неблагоприятно влияет на эффективность статистик тренда, в частности, критерия Аббе.

Известно [7], что статистика Аббе с точностью до несущественной случайной добавки сводится к оценке значимости выборочного межотсчетного коэффициента корреляции в нулевой точке H_0 : $r_{k,k+1} = 0$. Поэтому даже слабая коррелированность выборки данных смещает значение решающей статистики и, соответственно, возрастают вероятности ошибок. Как это отмечается в [7], при $N = 20$ и установленном уровне значимости 0,05 при малозначимом априорном значении коэффициента корреляции $\rho = 0,3$ фактический уровень ложных тревог о наличие тренда возрастает в три раза.

Все упомянутые критерии (1)...(6) крайне чувствительны к наличию циклических составляющих в регистрируемых данных, что значи-

тельно понижает достоверность результатов трендового контроля.

Общее представление о характере временного ряда в рамках разведочного анализа можно получить с использованием процедуры Кохрейна [8], основанной на изучении характера изменения отношений дисперсий

$$(VR)_k = \tau_k^2 / \tau_1^2, \quad (7)$$

где $\tau_k^2 = \text{TVar}(y_t - y_{t-k})$ – дисперсия разности $(y_t - y_{t-k})$.

2. Решение проблемы

Рассмотрим обнаружение и идентификацию трендового участка режимного параметра судовой ДГУ на интервале (10057...11665) часов.

Временной ряд образуют выборки измеренных трижды в сутки значений температуры в каждом из цилиндров ДГУ.

Анализ выборки позволил установить ее неоднородность и разделить на недельные циклы, для которых принадлежность к генеральной совокупности является обоснованной.

На рис. 1 представлен первый недельный цикл.

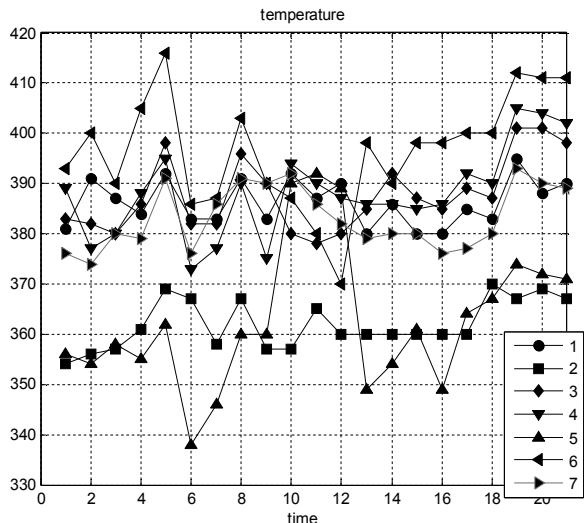


Рис. 1. Временные ряды первой недельной выборки по цилиндрам №1...№7

Диаграммы на рис. 2 отражают изменение функционалов решающих статистик (1)...(6) для первого цилиндра, а на рис. 3 для пятого.

На рис. 4 представлен второй недельный цикл, а рис. 5 и 6 иллюстрируют изменение решающих статистик тех же цилиндров.

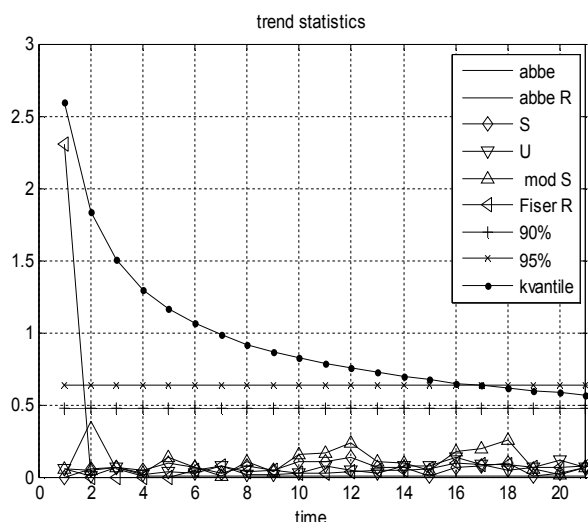


Рис. 2. Решающие статистики для цилиндра №1

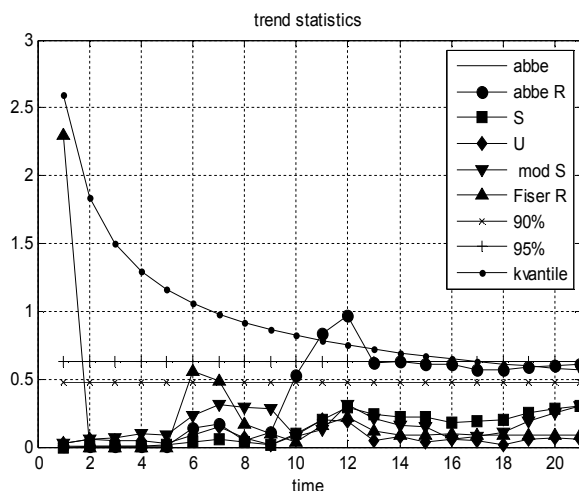


Рис. 3. Решающие статистики для цилиндра №5

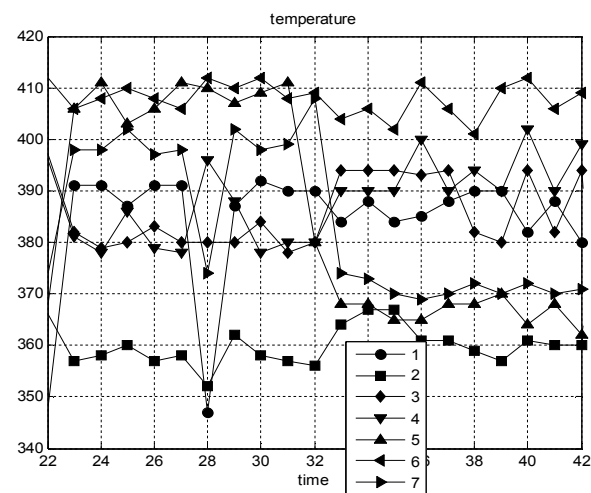


Рис. 4. Временные ряды второй недельной выборки по цилиндрам №1...№7

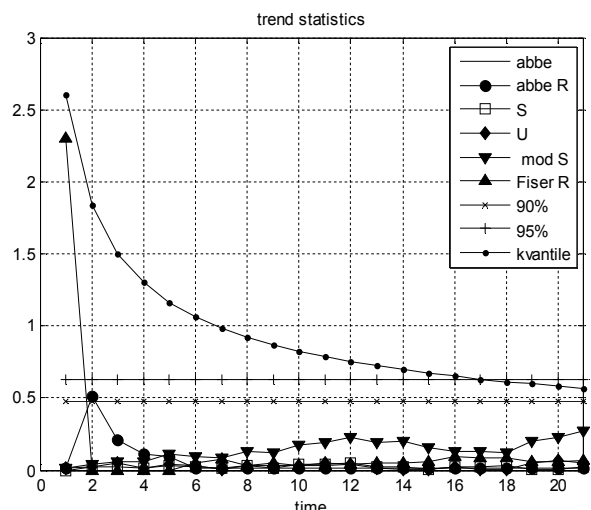


Рис. 5. Решающие статистики для цилиндра №1

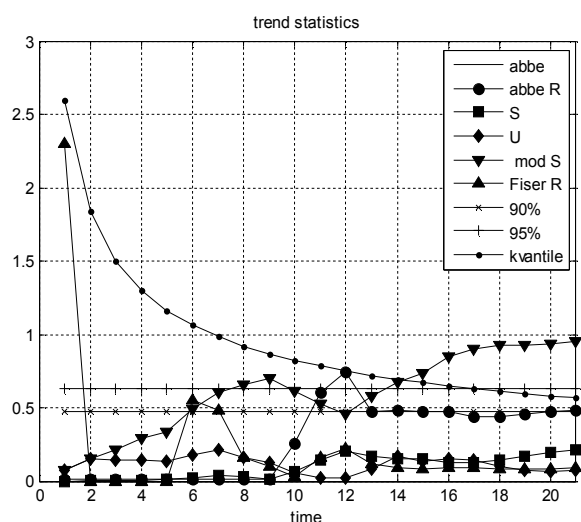


Рис. 6. Решающие статистики для цилиндра №5

Как следует из данных моделирования, применительно к задаче диагностирования технического состояния судовых дизель-генераторных установок по данным измерения температурного режима наиболее целесообразно использовать критерий Аббе в модифицированном виде и критерий кумулятивных сумм. Для цилиндра №5 при помощи указанных критериев обнаруживается трендовый участок температуры, другие трендовые критерии дают ложные срабатывания. Низкая эффективность статистики Фишера обусловлена малым временем развития тренда.

Проведенный трендовый контроль режимного параметра ДГУ в целом установил: для цилиндра №5 ДГУ имеет место тренд в каждой из недельных выборок на 95% уровне значимости по критериям Аббе и кумулятивных сумм.

Заключение

Проведенные исследования, результаты сопоставительного анализа и численного моделирования позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Эффективность критериев тренда, а следовательно и эффективность трендового контроля, существенно зависит от статистических свойств тестируемой выборки: справедливости гипотез о некоррелированности и принадлежности к нормальной генеральной совокупности. Надежность этих гипотез целесообразно установить в результате предварительного разведочного анализа данных.

2. Для предварительной оценки возможности использования выбранного критерия тренда целесообразно определить общие статистические свойства исследуемого временного ряда на основе одного из критериев Фишера, либо процедуры Кохрейна.

3. Для повышения достоверности статистических выводов об отсутствии тренда необходимо предварительное построение диагностических моделей исследуемых процессов в ДГУ, а также тщательная оценка метрологических свойств измерительных каналов, включая алгоритмы цифровой фильтрации данных и оценку вероятностных характеристик ошибок измерений.

Перспективы дальнейших исследований в направлении повышения эффективности трендовых статистик в СТД ДГУ заключаются в обосновании реалистичных статистических моделей исследуемых временных рядов для конкретных прикладных задач диагностики.

Литература

1. Жигалевский А.А. Обнаружение разладки случайных процессов в задачах радиотехники / А.А. Жигалевский, А.Е. Красновский. – Л.: Изд. Ленинград. ун-та, 1988. – 224 с.
2. Отнес Р. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы / Р. Отнес, Л. Жоксон. – М.: Мир, 1982. – 344 с.
3. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 490 с.
4. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей / С.В. Епифанов, В.И. Кузнецов, И.И. Богаенко и др. – К.: Техника, 1998. – 312 с.
5. Комплексная система контроля и диагностики двигателя ПС-90 А на самолетах ИЛ-96-300, ТУ-204, ТУ-214, ИЛ-76 МФ / А.М. Анисимов, В.Л. Ступников, Ю.А. Трубников и др. // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: ХАИ, 2001. – Вып. 26. – С.213-214.

6. Автоматизированный параметрический контроль технического состояния ТРДД НК-8-2У в эксплуатации по полетной информации / Э.Л.Симкин, В.С. Гагай, Т.А. Семенова и др. // *Авиационно-космическая техника и технология*. – Х.: ХАИ, 2001. Вып. 26. – С. 222-227.

7. Миргород В.Ф. Особенности применения

трендовых статистик при обработке данных в системах технической диагностики / В.Ф. Миргород, Г.С. Ранченко // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. – 2005. № 4. – С. 25-27.

8. Cochran I.H. How Big is the Random Walk in GNP / I.H. Cochran // *Journal of Political Economy*. – 1988. – № 96. – С. 893- 920.

Поступила в редакцию 23.04.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., декан факультета автоматизации Л.В. Вишневецкий, Одесская национальная морская академия, Одесса.

ТРЕНДОВИЙ КОНТРОЛЬ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК

О.Р. Миська

Розглядається проблема підвищення ефективності систем технічної діагностики судових енергетичних установок. Запропоновано використовувати методи трендового аналізу на підставі методів аналізу статистичних даних систем технічної діагностики судових енергетичних установок. Приведені загальні критерії виявлення тренду миттєвих рядів, які характеризують стан об'єктів діагностики. Проаналізована ефективність та надійність використання деяких критеріїв тренду стосовно реальних даних реєстрації контролюючих параметрів вихідної статистичної моделі. Зроблено аналіз можливостей та вимог використання таких методів у задачах діагностики технічного стану судових дизель-генераторних установок.

Ключові слова: технічна діагностика, миттєві ряди, трендовий аналіз, критерії тренда, діагностична модель.

TREND CONTROL THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF DIESEL GENERATOR INSTALLATIONS

A.R. Miska

Considered the problem of effectiveness increase the technical diagnostic systems of ship's power installations. Propose to make use of trend analysis methods in the capacity of analysis methods of statistics in the technical diagnostics of the ship's power installations. Adduced the main criterias trend analysis detections which describe the condition of objects diagnostic. Examined the efficiency and reliability application of any trend criterias for actual registration data the controlled variables of input statistical model. Made analysis possibilities and usability conditions of this methods in the diagnostic task of technical condition of ship's power installations.

Key words: technical diagnostics, time-series, trend analysis, trend criteria, diagnostic model.

Миська Александр Романович – аспирант кафедры судовой электромеханики и электротехники Одесской Национального морской академии, Одесса, Украина, e-mail: femire@onma.edu.ua.