

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТРЕНДОВ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. В работе предлагается подход к совместному трендовому контролю и анализу временных рядов, образованных параметрами регистрации состояния сложных технических объектов в их длительной эксплуатации. Предлагаемый подход основан на формировании диагностической модели в виде полиномиальной аппроксимации взаимозависимостей измеряемых выходных переменных в установившихся режимах и выделении отклонений от указанной модели. Для полученных многомерных массивов отклонений рассмотрены методы их двумерного анализа а также решается задача на собственные числа и собственные векторы соответствующих корреляционных массивов, что позволяет последовательно использовать известные методы сингулярного спектрального анализа и трендового контроля. Разработано программно-алгоритмическое обеспечение для предлагаемого подхода.

Ключевые слова: диагностика, временные ряды, трендовый контроль и анализ.

Введение

Проблемным вопросом продления жизненного цикла сложных технических объектов (СТО) является достоверная оценка технического состояния по данным регистрации координат состояния и выходных координат в течение эксплуатации.

Переход к более совершенным стратегиям управления ресурсом СТО требует разрешения ряда научных и прикладных задач, важнейшими из которых являются задачи построения адекватных диагностических моделей и методов оценки отклонений параметров СТО в эксплуатации от номинального состояния.

Важнейшей задачей для разрешения указанной проблемы является повышения надежности статистических выводов о техническом состоянии диагностируемых объектов на основе использования и развития методов трендового контроля и анализа временных рядов,

образуемых регистрируемыми параметрами (измеряемыми переменными состояниями и выходными переменными).

Основная часть

Объектом исследования являются процессы изменения многомерной совокупности координат состояния и выходных координат СТО в долговременной эксплуатации.

Предметом настоящего исследования являются математические модели трендов изменения состояния СТО и методы их определения, исследования зависимостей и прогнозирования [1,2,3].

Изменение состояния СТО определяется по их выходным переменным, ряд из которых (располагаемая мощность, крутящий момент, и др.) являются косвенно измеренными или недоступны для непосредственного измерения в эксплуатационных условиях. Оценки таких переменных могут быть получены только методами математического моделирования, для реализации которых в современных технических средствах контроля и диагностирования состояния необходимы соответствующие математические модели (ММ) [4,5,6]

Известные теоретические математические модели, которые основаны на нелинейных уравнениях сохранения и равновесия, позволяют получить требуемые оценки при обеспечении необходимой точности, однако вычислительная сложность численной реализации таких моделей ограничивает возможность их применения в технических системах диагностирования. Известные феноменологические математические модели, основанные на линеаризации нелинейных уравнений, позволяют получить требуемые оценки, однако для рассматриваемого класса объектов ошибки моделирования при численной реализации таких моделей многократно превышают допустимые.

Известные математические модели не разрешают имеющее место противоречие между необходимой и достижимой (на их основе) точностью оценки косвенно измеренных и недоступных для непосредственного измерения выходных переменных, обеспечивающей реализацию перспективных методов контроля и диагностирования технического состояния СТО, а также противоречие между вычислительной сложностью ММ и

возможностями их реализации в технических средствах диагностирования.

В связи с этим тема исследования имеет важное научное и практическое значения, поскольку она направлена на решение актуальной научно-прикладной задачи, сущность которой заключается в разрешении указанного противоречия путем создания комплекса математических моделей оценки состояния СТО в длительной эксплуатации, предназначенных для компьютерной реализации непосредственно в составе средств контроля состояния и диагностирования СТО, для получения оценок трендов выходных переменных, в том числе, косвенно измеренных и недоступных для непосредственного измерения.

Целью настоящего исследования является обоснование подхода к трендовому анализу многомерной совокупности координат состояния и выходных координат СТО в долговременной эксплуатации, комплексному применению методов трендового анализа и контроля технического состояния путем последовательной реализации этапов установления трендовых компонент многомерных временных рядов, образованного совокупностью отклонений параметров регистрации объектов диагностирования от его СМ, и применения предлагаемых методов многомерного трендового анализа и контроля с установлением уровня статистической значимости – Рис. 1.

Центральной идеей (гипотезой) исследования является предположение, что в процессе эксплуатации сложных энергетических объектов неизбежно присутствует долговременный тренд параметров, однако этот тренд является следствием постепенной и естественной деградации их характеристик (взаимозависимостей переменных состояния) ввиду выработки ресурса [6]. Поэтому только отклонение от таких многомерных взаимозависимостей дает информацию о техническом состоянии объекта. Предлагаемый подход может быть определен как обобщение методов трендового анализа и контроля на многомерные временные ряды отклонений от СМ. Математические модели контроля состояния СТО в длительной эксплуатации рассмотрены в виде статистических моделей порождения данных для выборок данных регистрации технического состояния.

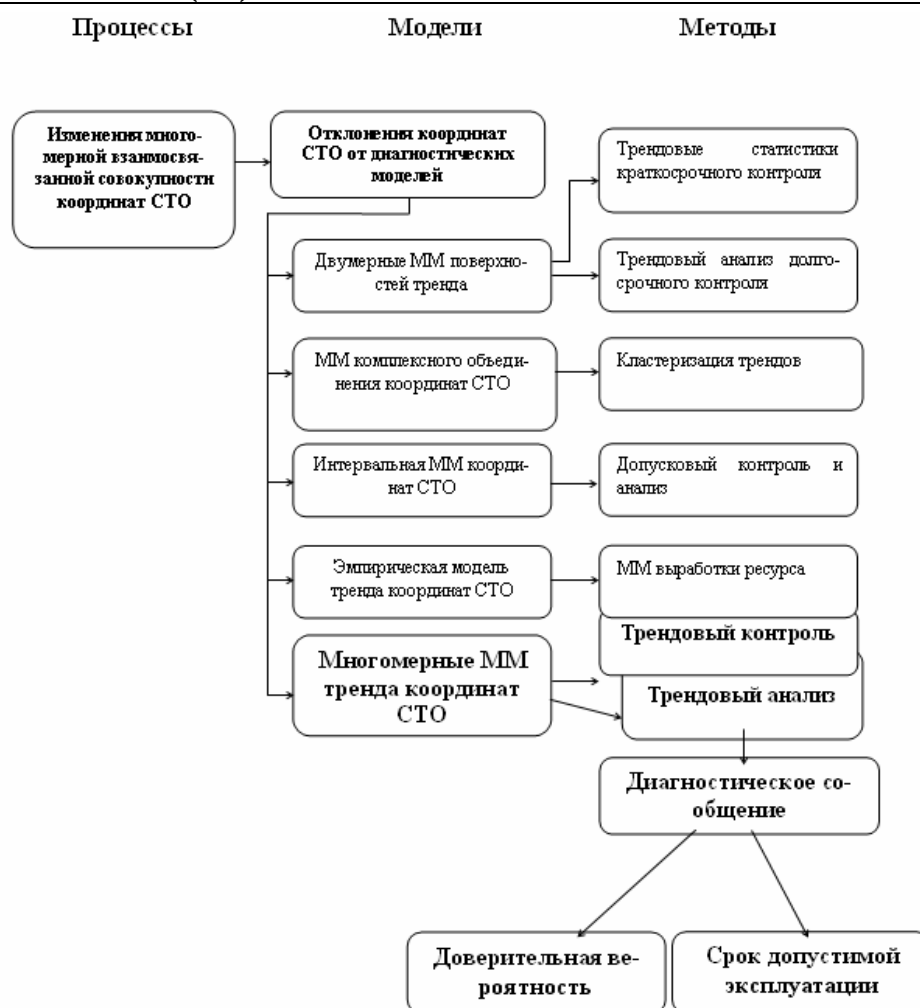


Рисунок 1 - Подход к исследованию многомерных временных рядов данных эксплуатации СТО

Контроль состояния объекта состоит в выявлении таких изменений совокупности его переменных состояния, и изменений взаимосвязей таких переменных, которые могут привести к выходу объекта из нормального работоспособного состояния. Фиксируемые в бортовой и наземной аппаратуре систем контроля и диагностики многомерные массивы характеризуют изменения контролируемых переменных как в переходных, так и в установившихся режимах. Основной информационной компонентой, используемой в СКД, являются данные об установившихся режимах, на основе которых формируются диагностические выводы, в частности, о степени выработки ресурса и вероятном времени эксплуатации до исчерпания такого ресурса. Поскольку параметры СТО в установившихся режимах связаны между собой совокупностью статических

характеристик (СХ), то именно процессы изменения таких характеристик могут характеризовать изменение его технического состояния. Основной этап создания предлагаемой модели контроля состояния заключается в построении статистической модели (СМ) порождения данных в виде отклонений фиксируемых приведенных переменных в установившихся режимах от значений таких переменных, определяемых по его индивидуальной ММ

$$\Delta \vec{y}_{pr} = \vec{y}_{pr} - \vec{y}_{mpr}, \quad (1)$$

где $\Delta \vec{y}_{pr}$ – вектор отклонений, \vec{y}_{pr} – измеренные и приведенные к стандартным условиям испытаний значения анализируемых переменных, \vec{y}_{mpr} – моделируемые значения переменных.

Согласно (1), выполняется преобразование пространства измеренных и приведенных к стандартным условиям испытаний переменных в пространстве отклонений от статической модели. Так как фиксируемые данные образуют временные ряды, то СМ порождения данных предлагается в виде

$$\Delta \vec{y}_{pr}(t_n) = trend[\vec{y}_{pr}(t_n) - \vec{y}_{mpr}(t_n)] + \vec{\xi}(t_n), \quad (2)$$

где $\vec{\xi}(t_n)$ – выборки значений случайного процесса ошибок измерений, $trend(\cdot)$ – неслучайная компонента во временном ряду отклонений.

Статическую модель предлагается получать путем нелинейного регрессионного анализа данных эксплуатации известными методами. Из СМ (2) следуют две задачи: трендового контроля и трендового анализа. Задача трендового контроля состоит в установлении факта наличия тренда в выборке отклонений от статической модели на заданном уровне значимости. Задача трендового анализа состоит в разделении выборки отклонений от статической модели на компоненты: трендовую и помеховую:

$$\Delta \vec{y} = \Delta \vec{y}_{tr} + \Delta \vec{y}_{noise}.$$

Исследуемые многомерные временные ряды отклонений от СМ (Рис.2) группируются в виде матрицы регистрируемых параметров (переменных состояния и выходных переменных) [6,7,8]. Центральной идеей анализа многомерной совокупности признаков является формирование на их основе многомерного массива данных – многомерного параллелепипеда.

Для решения задач трендового анализа предложены методы 2-D анализа комплекснозначного объединения выборок и трендовых поверхностей [9,10,11], а также метод 3-D анализа в виде сингулярного разложения сформированного параллелепипеда.

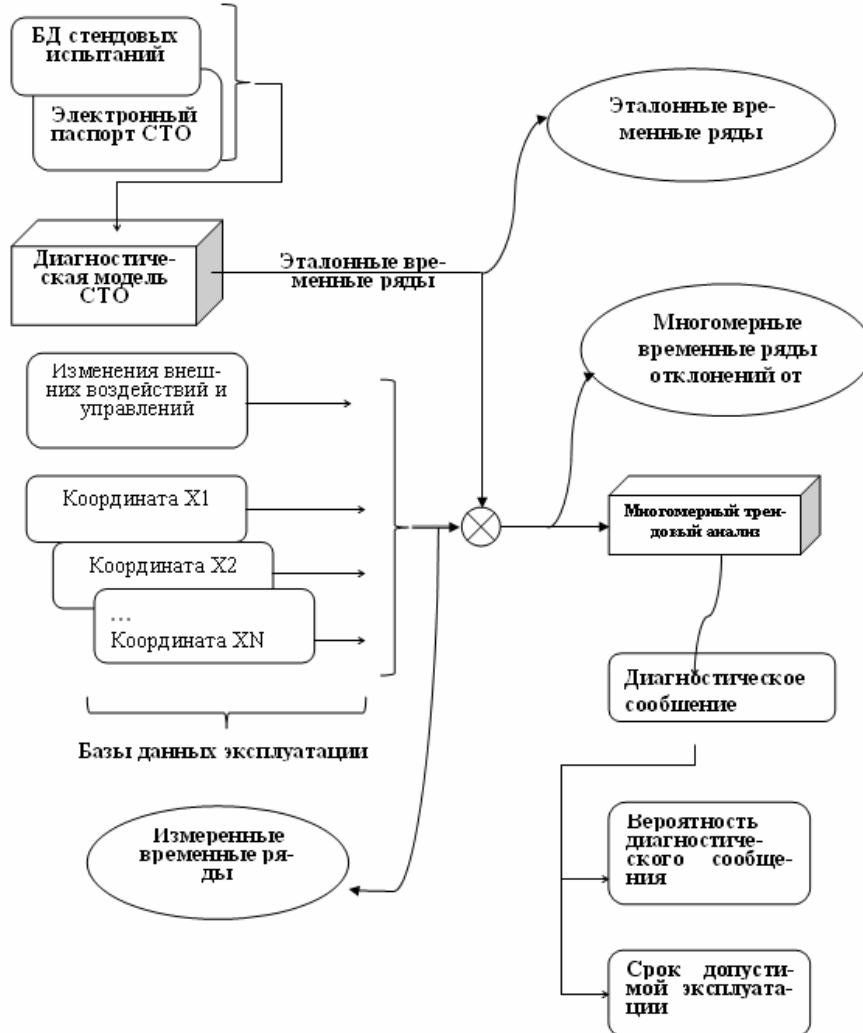


Рисунок 2 - ММ отклонений от диагностических моделей

Заключение

Статистически обоснованный уровень контроля состояния СТО в длительной эксплуатации обеспечивается анализом меры деградации статических характеристик в виде трендов отклонений от исходных характеристик. На этой основе предложен и обоснован подход к построению математических моделей контроля технического состояния, предусматривающий последовательные этапы формирования полиномиальных регрессионных математических моделей статики и многомерных трендовых моделей эксплуатационной динамики для оценки изменений отклонений параметров СТО от установленных регрессионных, что позволяет выявить изменения технического со-

стояния в жизненном цикле. Предложены новые методы 2-D трендового анализа и выполнено усовершенствование известных методов трендового анализа временных рядов данных регистрации технического состояния СТО на основе формирования многомерных массивов из траекторных матриц и их сингулярного разложения, позволяющие разделить выборки на заданном уровне значимости

Перспективы дальнейших исследований заключаются в разработке методов прогноза развития трендов на основе анализа многомерных временных рядов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности [Текст] / В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
2. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных [Текст] / Дж. Бендат, А. Пирсон – М.: Мир, 1989.–540 с.
3. Главные компоненты временных рядов: метод “Гусеница” [Текст] / Под ред. Д.Л. Данилова, А.А. Жиглявского. – С.-П. ун-т. – 1997.
4. Епифанов С.В. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей [Текст] / С.В. Епифанов, В.И. Кузнецов, И.И. Богаенко и др. // – К.: Техника, 1998. – 312 с.
5. Марпл мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения [Текст] / С.Л. Марпл мл. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
6. Миргород В.Ф. Применение диагностических моделей и методов трендового анализа для оценки технического состояния газотурбинных двигателей [Текст] / В.Ф. Миргород, Г.С. Ранченко, В.М. Кравченко // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 9(56) – 2008. – С. 192-197.
7. Elsner I.B. Singular Spectrum Analysis: A New Tool in Time Series Analysis [Text] / I.B. Elsner, A.A. Tsonis. – New York, London: Plenum Press, 1996. – 164 p.
8. Perron P. Trend and Random Walks in Macroeconomic Time Series: Furter Evidence from a New Approach [Text] / P. Perron. – *Journal of Economic Dynamic and Control*. – No. 12. – P. 297-332.
9. Миргород В.Ф. Построение и анализ поверхностей тренда в задачах оценки состояния силовых установок на базе ГТД [Текст] / Миргород В.Ф., Гвоздева И.М., Бурунов Д.С. // *Вісник двигунобудування* – № 2 – 2013. – С.108-110
10. Деренг Е.В. Комбинированный метод ТАТ обработки многомерных временных рядов [Текст] / Деренг Е.В., Гвоздева И.М., Миргород В.Ф. // *Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць*. – Дніпропетровськ.– 2013. – Вип. 4(87).– С. 21-27
11. Гвоздева И.М. Кластеризация многомерных трендов в задачах оценки технического состояния [Текст] / И.М. Гвоздева, Деренг Е.В., В.Ф. Миргород, // *Вестник Херсонского национального технического университета* . – Херсон. – 2013.– Вип. 2(47).– С. 87-90