

3. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 368 с.
4. Цветков В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. Минск: Наука и техника, 1979. 264 с.
5. Челищев Б.Е., Боброва И.В., Гонсалес-Сабатер А. Автоматизация проектирования технологии в машиностроении / Под ред. Н.Г. Бруевича. М.: Машиностроение, 1987. 264 с.
6. Митин С.Г., Бочкарев П.Ю. Проектирование операций со сложной структурой в многономенклатурных механообрабатывающих системах. Саратов: Саратовский ГТУ, 2016. 108 с.
7. Ракович А. Г. Основы автоматизации проектирования технологических приспособлений / Под ред. Е. А. Стародетко. Мн., Наука и техника, 1985. 285 с.
8. Колыбенко Е.Н., Мордовцев А.А. Функционально различные аспекты технологии системной инженерии в познании базы знаний предметной области в примере технологической подготовки механообрабатывающего производства // Сборник научных трудов XXIII Междунар. науч.-практич. конф., 10–11 июня 2019 г., Санкт-Петербург. В 3 ч. Ч. 3. СПб. Политех-Пресс, 2019. С. 281–293.
9. Колыбенко Е.Н. Разграничение понятий математического и логического моделирования // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. 2019. Т. 19, № 3. С. 262–267.
10. Колыбенко Е.Н., Богданова Н.Ю. Методы наложения связей базирования для определения положения элементов в системе координат объекта базирования. // Вестник машиностроения. 2005. № 10. С. 56–63.
11. Колыбенко Е.Н. Организация связей между объектами технологической системы производства. // СТИН. 2003. № 6. С. 9–14.

УДК 681.5

doi:10.18720/SPBPU/2/id20-216

*Саитова Гузель Асхатовна*¹,
канд. техн. наук, доцент, доцент;
*Елизарова Анастасия Валерьевна*²,
инженер каф. АСУ

АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ДАНЫХ ИСПЫТАНИЙ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ

^{1,2} ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа, Россия,

¹ saitova@bk.ru, ² elizarovaanastasia@gmail.com

Аннотация. Авиационные двигатели оснащены огромным количеством датчиков, которые генерируют тысячи сигналов. Одна из самых важных проблем, особенно во время тестирования, заключается в том, что объем этих данных настолько велик, что специалисты уже не в состоянии обрабатывать эти данные. В статье рассматриваются задачи интеллектуальной обработки и анализ данных блока электронной системы управления (ЭСУ) в процессе проведения испытания двигателя. С помощью методов искусственного интеллекта выявлены причинно-следственные связи и закономерности параметров турбореактивного двигателя (ТРД), а также проанализировано большое количество данных. Результаты

интеллектуального анализа данных будут использованы для дальнейшего обоснованного принятия решений и автоматизации аналитической деятельности эксперта.

Ключевые слова: искусственный интеллект, метод главной компоненты, кластерный анализ, электронный блок управления, турбореактивный двигатель, ТРД, система анализа данных.

Guzel A. Saitova¹,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

Anastasia V. Elizarova²,

Engineer of the department of ACS

ALGORITHM FOR DESIGNING A SYSTEM ANALYZING ENGINE PERFORMANCE TEST DATA

^{1,2} Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia,

¹ saitova@bk.ru, ² elizarovaanastasia@gmail.com

Abstract. Aircraft engines are equipped with a huge number of sensors that generate thousands of signals. One of the most important problems, especially during testing, is that the volume of this data is so large that specialists are no longer able to process this data. The article deals with the tasks of intellectual processing and analysis of data from the electronic control system (ESS) unit during engine testing. Using artificial intelligence methods, the cause-and-effect relationships and regularities of the parameters of the turbojet engine (turbojet engine) were identified, and a large amount of data was analyzed. The results of data mining will be used for further informed decision-making and automation of the expert's analytical activities.

Keywords: artificial intelligence, main component method, cluster analysis, electronic control unit, turbojet engine, TJE, data analysis system.

Введение

На сегодняшний день интенсивно развивается направление, связанное с интеллектуализацией методов обработки и анализа данных. Интеллектуальные системы анализа данных (ИСАД) призваны минимизировать усилия лица, принимающего решения, в процессе анализа данных, а также в настройке алгоритмов анализа. Многие ИСАД позволяют не только решать классические задачи принятия решения, но и способны выявлять причинно-следственные связи, скрытые закономерности в системе, подвергаемой анализу.

Электронный блок управления двигателем в течении всей работы двигателя получает, обрабатывает, управляет системами и датчиками, влияющими как на работу двигателя, так и на второстепенные элементы двигателя.

Для выявления закономерностей и причин возникновения отклонений и неполадок проводят большое количество испытаний. Продолжительность испытаний напрямую связана с методами проведения испыта-

ний, а также с теми аппаратными и программными средствами, которые используются для регистрации информации в процессе полета и анализе их материалов. Эффективное решение задач, связанных с определением необходимых характеристик, включает в себя проведение предварительных расчетов, анализ материалов летных испытаний, сопровождающее моделирование и сочетание этих методов для получения интегральных оценок [1].

Общая структурная схема организации испытаний показана на рисунке 1.



Рис. 1. Структурная схема организации испытаний

Поэтому целью работы является интеллектуальный анализ данных о состояниях двигателя и блока ЭСУ во время испытательных полетов, позволяющий выявить причины, влияющие на работоспособность двигателя, и снизить временные затраты.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ существующих методов искусственного интеллекта (ИИ);
- рассмотреть двигатель и его ЭСУ как объекты исследования;
- разработать алгоритмы процесса интеллектуальной обработки данных и формирования системы анализа данных (САД).

Объектом исследования является двигатель ТРД и блок электронной системы управления двигателем (ЭСУ).

Предметом исследования работы являются методы анализа данных.

1. Турбореактивный двигатель и система управления двигателем

Несмотря на простоту конструкции, турбореактивный двигатель – это сложная система, которой практически полностью управляет «умная» автоматика. Пилот задает необходимую «тягу» с помощью одного только рычага, тогда как «электронная система управления», оперируя показаниями многочисленных датчиков и задавая команды на исполнительные механизмы выполняет остальную работу, подбирая параметры работы двигателя на нужные показатели тяги [2, 3 – 5].

Электронный блок управления двигателем получает, обрабатывает, управляет системами и датчиками, влияющими на работу двигателя.

Блок ЭСУ должен:

- принимать аналоговые параметры;
- принимать дискретные сигналы;
- выдавать управляющие сигналы и команды.

Основные режимы управления двигателями, задаваемые рычагом управления двигателем (РУД): запуск, малый газ (МГ), прогрев (0,3 *max*), приемистость, 0,7 *max*, учебный *max*, *max*. Режимы, которые нас больше всего интересуют, и на которых выявлена наибольшая вибрация в статичном положении РУД: малый газ (МГ), прогрев, *max*.

2. Проектирование системы анализа данных

Для разработки системы анализа данных необходимо разработать алгоритм проектирования САД функционирования двигателя (рисунок 2), для более точного поэтапного анализа.

1 этап. Выбор и обоснование методов анализа

Интеллектуальные системы способны синтезировать цель, принимать решение к действию, обеспечивать действие для достижения цели, прогнозировать значения параметров результата действия и сопоставлять их с реальными, образуя обратную связь, корректировать цель или управление.



Рис. 2. Алгоритм этапов проектирования системы анализа данных

ИС могут решать интеллектуальные задачи, распознавать ситуации (образы), обучаться понятиям и навыкам, формировать модель обстановки (решаемой задачи), планировать поведение (принимать решение), определять управляющие воздействия и осуществлять их обработку. Возможности практической реализации ИС для решения различных задач зависят от производительности современных ЭВМ.

Для наглядности влияния параметров на работу двигателя использован метод *Data Mining*, который включает в себя всевозможные методы классификации, моделирования и прогнозирования.

Все методы *Data Mining* подразделяются на две большие группы по принципу работы с исходными обучающими данными. В этой классификации верхний уровень определяется на основании того, сохраняются ли данные после *Data Mining* либо они дистиллируются для последующего использования [6].

Так как в работе достаточно большое количество данных, то соответственно были выбраны методы компонентного и кластерного анализа.

2 этап. Анализ методом главных компонент

На этом этапе выполняется построение главных компонент. Для этого заданы переменные, которые должны участвовать в анализе. Сводка результатов анализа методом главных компонент представлена на рисунке 3.

Principal Components Analysis

Data variables:

Col_1
Col_2
Col_3
Col_4
Col_5
Col_6
Col_7
Col_8
Col_9
Col_10
Col_11
Col_12
Col_13
Col_14
Col_15
Col_16
Col_17
Col_18
Col_19
Col_20
Col_21
Col_22
Col_23
Col_24
Col_25
Col_26
Col_27
Col_28
Col_29
Col_30

Data input: observations

Number of complete cases: 20291

Missing value treatment: listwise

Standardized: yes

Number of components extracted: 3

Рис. 3. Сводка результатов анализа методом главных компонент

С помощью метода главных компонент видно, что при заданных переменных, которые участвуют в анализе, формируются главные компоненты (ГК). Далее представляется информация о собственных значениях главных компонент (*eigenvalue*), упорядоченных по величине; проценте дисперсии (*percent of variance*), приходящейся на каждую выделенную главную компоненту; накопленном проценте дисперсии (*cumulative percentage*).

Количество ГК зависит от накопленного процента дисперсии. Далее определяется зависимость признаков от ГК. С помощью расчета коэффициента информативности $K_{и}$ формируется набор влияния признаков для каждой ГК.

На рисунке 4 показан фрагмент двумерной диаграммы рассеивания, которая сформирована с помощью трех проведенных испытаний.

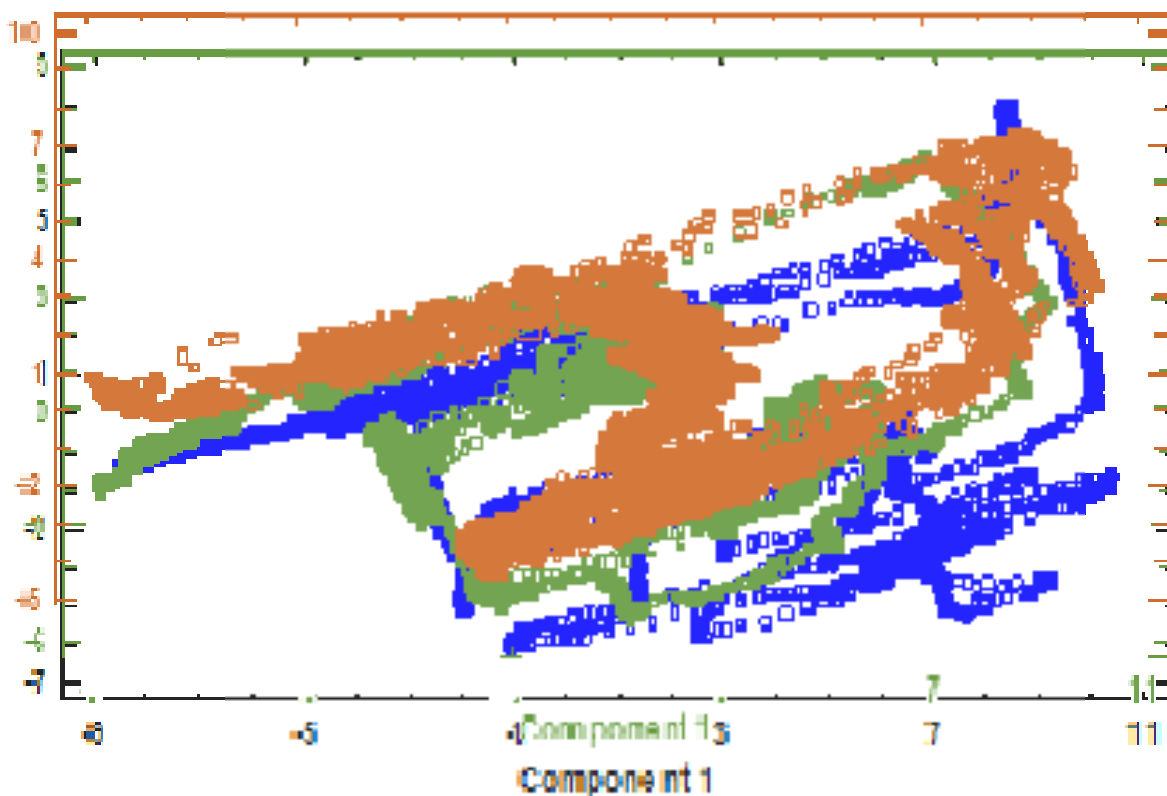


Рис. 4. Двумерная диаграмма рассеивания

3 этап. Кластерный анализ

Кластерный анализ – это метод классификационного анализа; его основное назначение – разбиение множества исследуемых объектов и признаков на однородные в некотором смысле группы, или кластеры. Это многомерный статистический метод, поэтому предполагается, что исходные данные могут быть значительного объема, т. е. существенно большим может быть как количество объектов исследования (наблюдений), так и признаков, характеризующих эти объекты [7, 8].

Проводится кластерный анализ методом Варда, метрикой *City-block*.

Фрагмент результатов кластеризации представлен на диаграмме рассеивания в пространстве признаков $J_{G_{T_пр}}$ и $G_{T_пр}$ (рис. 5).

Диаграмма показывает, как группируются исследуемые наблюдения на плоскости двух переменных $J_{G_{T_пр}}$ и $G_{T_пр}$. Каждый кластер обозначен на диаграмме собственным символом.

На основании выполнения компонентного и кластерного анализа строятся деревья решений.

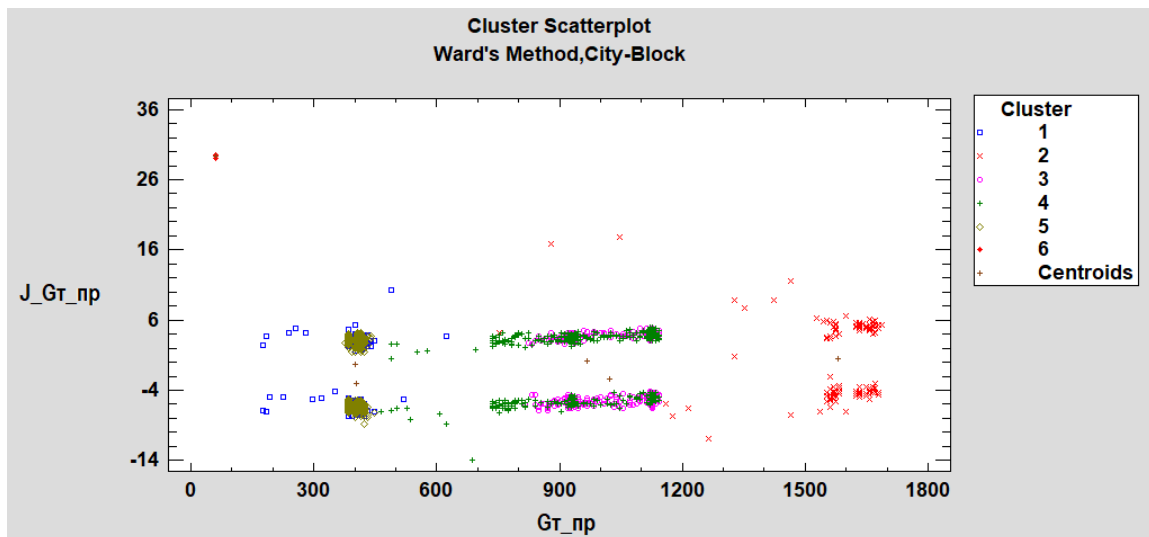


Рис. 5. Диаграмма рассеивания

4 этап. Построение деревьев решений

Результат построения дерева решений в виде структурированной записи представлен на рисунке 6.

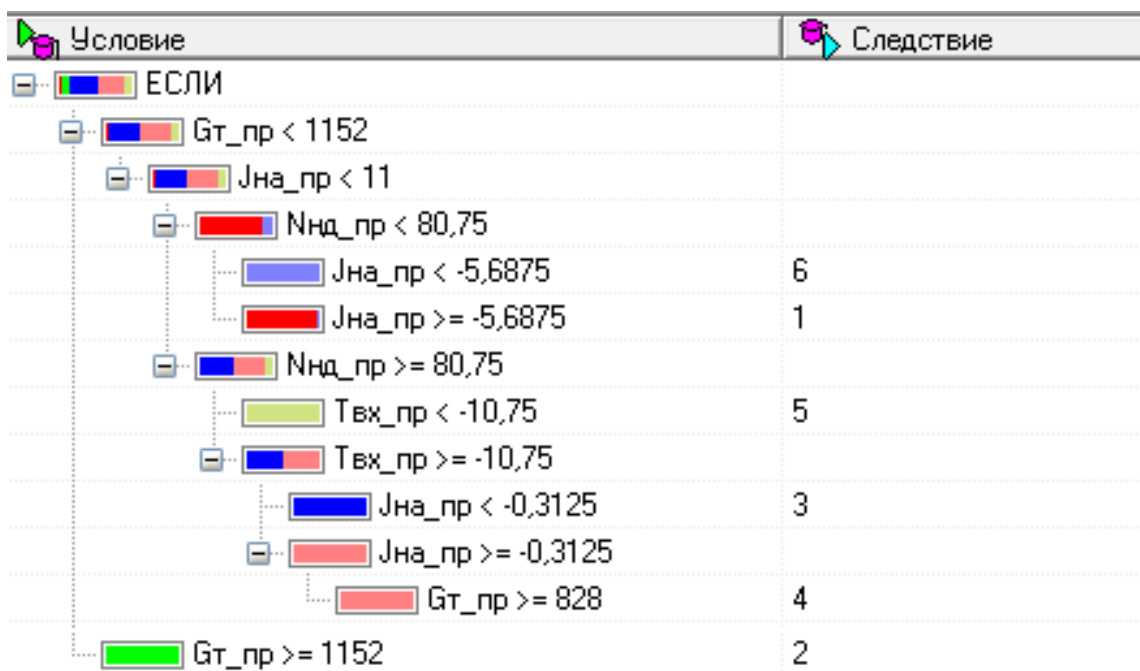


Рис. 6. Фрагмент дерева решений для ТРД

Построенное дерево решений состоит из n ветвей. Каждая ветвь ДР заканчивается с указанием номера класса, к которому она приводит.

Фрагмент извлеченных правил представлен на рисунке 7.

№	Номер правила	Условие			Следствие
		Показатель	Знак	Значение	9.0 Кластер
1	1	9.0 Гт_пр	<	1152	6
		9.0 Јна_пр	<	11	
		9.0 Ннд_пр	<	80,75	
		9.0 Јна_пр	<	-5,6875	
2	2	9.0 Гт_пр	<	1152	1
		9.0 Јна_пр	<	11	
		9.0 Ннд_пр	<	80,75	
		9.0 Јна_пр	>=	-5,6875	
3	3	9.0 Гт_пр	<	1152	5
		9.0 Јна_пр	<	11	
		9.0 Ннд_пр	>=	80,75	
		9.0 Твх_пр	<	-10,75	
4	4	9.0 Гт_пр	<	1152	3
		9.0 Јна_пр	<	11	
		9.0 Ннд_пр	>=	80,75	
		9.0 Твх_пр	>=	-10,75	
		9.0 Јна_пр	<	-0,3125	
5	5	9.0 Гт_пр	<	1152	4
		9.0 Јна_пр	<	11	
		9.0 Ннд_пр	>=	80,75	
		9.0 Твх_пр	>=	-10,75	
		9.0 Јна_пр	>=	-0,3125	
		9.0 Гт_пр	>=	828	
6	6	9.0 Гт_пр	>=	1152	2

Рис. 7. Извлеченные правила классификации

Из рисунка 7 определяются числовые границы кластеров.

Далее на рисунке 8 представлена таблица, детализирующая результаты классификации.

По данным таблицы можно сделать выводы, что к первому кластеру классифицируются 1452 объекта, ко второму кластеру классифицируются 1974 объекта, к третьему кластеру классифицируются 4090 объектов и т. д.

5 этап. Разработка модели анализа данных

Для разработки модели анализа данных функционирования ТРД необходимо разработать базу знаний, которую будут составлять результаты компонентного, кластерного анализа и построения деревьев решений.

Структурная схема реализации системы анализа данных на основе базы данных и базы знаний представлена на рисунке 9.

	Классифицировано					
Фактически	1	2	3	4	5	Итого
1	2504					2504
2		6827				6827
3			3326			3326
4				1243		1243
5					2728	2728
Итого	2504	6827	3326	1243	2728	16628

Рис. 8. Таблица детализации результатов классификации



Рис. 9. Структурная схема реализации системы анализа данных

Исходная выборка данных, снятых с блока ЭСУ хранится в БД ЭСУ. Сформированные знания с помощью методов главных компонент, кластерного анализа и дерева решений переходят в систему логического вывода, которая выполняет логический вывод и формирует правила, по которым принимается решение о соответствии техническому заданию и САУ требуемым параметрам двигателя.

Таким образом, результаты проделанного анализа в дальнейшем помогут определить основные параметры, влияющие на вибрацию в блоке ЭСУ.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Грант РФФИ №18-08-00702 А, Грант РФФИ № 18-08-01299 А).

Список литературы

1. Григорьев В.А., Гишварова А.С. Испытания авиационных двигателей: Учебник для вузов / Под общ. Ред. В.А. Григорьева и А.С. Гишварова. М.: Машиностроение, 2009. 504 с.
2. Гуревич О.С. Системы автоматического управления авиационными газотурбинными двигателями. М.: Торус Пресс, 2010. 264 с.
3. Климентовский Ю.А. Системы автоматического управления силовыми установками летательных аппаратов: Учебное пособие. Киев: Машиностроение, 2001. 400 с.
4. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / Отв. ред. И.М. Макарова; Отделение информ. технологий и вычислит. систем РАН. М.: Наука, 2006. 333 с.
5. Шевяков А.А., Мартынова В.Ю., Рутковский В.Ю. Оптимизация многомерных систем управления газотурбинных двигателей летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1989. 256 с.
6. Ilyasov B.G., Saitova G.A. A systems approach to studying multi-connected automated control systems based on frequency methods // Automation and Remote Control. Vol. 3. Moscow: Russian Academy of Science, 2013. P. 456–470.
7. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000. 384 с.
8. Тихомирова О.Г. Управление проектом: комплексный подход и системный анализ: Монография. М.: НИЦ ИНФРА, 2013. 301 с.

УДК 004.042

doi:10.18720/SPBPU/2/id20-217

*Овсянникова Анна Константиновна*¹,
ведущий инженер Лаборатории ПСПОД Центра НТИ, магистр;
*Макаревич Никита Сергеевич*²,
техник Лаборатории ПСПОД Центра НТИ,
студент магистратуры, бакалавр

СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

^{1,2} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия,

¹ a.k.ovsyannikova@gmail.com, ² nikita.makarevich@spbpu.com

Аннотация. Статья посвящена преимуществам использования систем автономного удалённого долговременного мониторинга различных газов для осуществления системного анализа данных. Рассмотрены области применения таких систем, требования к построению структуры, выбор технологии беспроводной передачи данных для обеспечения низкого энергопотребления.

Ключевые слова: непрерывный мониторинг, беспроводные датчики, концентрация газов, системный анализ данных.