

УДК 004.89:629.7.015.4

Архитектура интеллектуальной системы управления испытательного стенда

Смирнов Павел Андреевич

pashasmirnov18@mail.ru

Белкин Андрей Андреевич

vv.w.vv@mail.ru

Московский авиационный институт, Москва, Россия

Аннотация. Предложена архитектура интеллектуальной системы управления стенда для испытания ракетно-космической техники, ориентированной на анализ основных технологических параметров — давления и температуры объекта испытания. В системе предусмотрен автоматический сбор и архивирование данных в реальном времени. Система использует LSTM-автоэнкодер, обучаемый на нормальных режимах, для выявления аномалий по величине ошибки восстановления; результаты детектирования дополняются методами объяснительного искусственного интеллекта (ИИ) для интерпретации вклада отдельных признаков. Представлена структура системы, включающая блоки сбора и обработки данных с датчиков давления и температуры, нейросеть и модуль визуализации для оператора. Данная архитектура позволяет повысить надежность и безопасность стендовых испытаний РКТ за счет раннего обнаружения отказов и причин отклонений параметров от нормы. Описаны перспективы дальнейших исследований и развития системы.

Ключевые слова: интеллектуальная система, испытательный стенд, ракетно-космическая техника, аномалии, LSTM-автоэнкодер, XAI, SHAP-метод

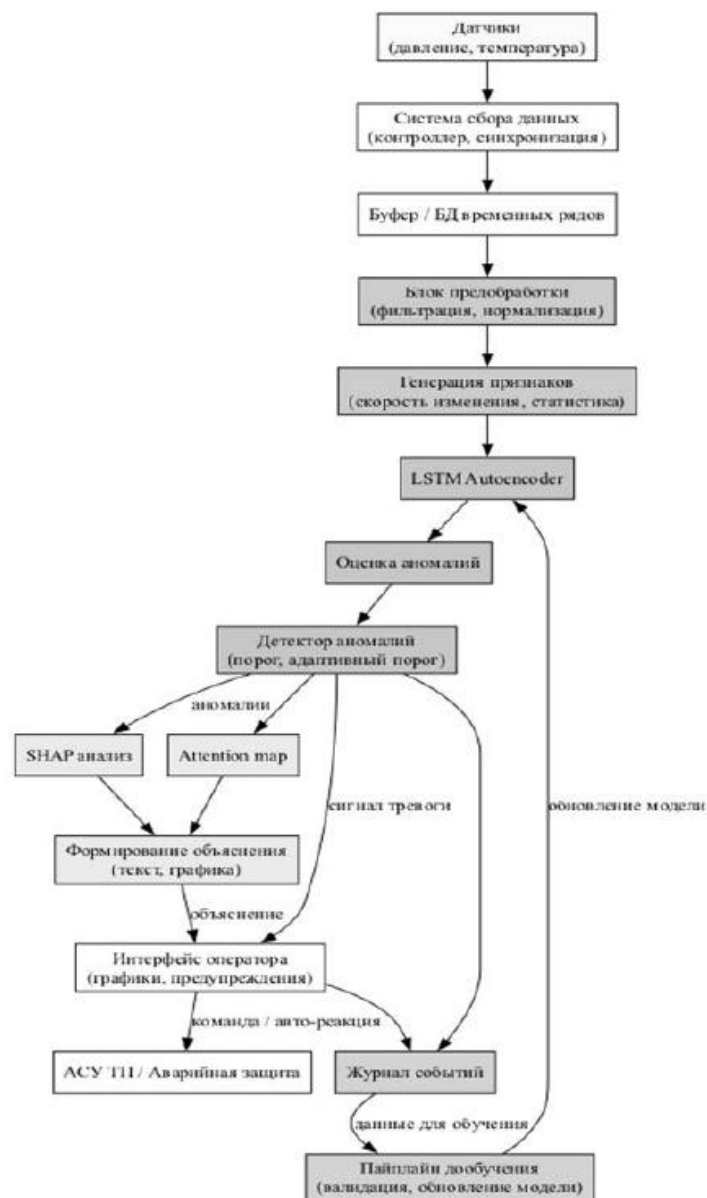
Введение. В работе рассматривается архитектура интеллектуальной системы, предназначенной для работы в составе автоматизированных испытательных стендов на примере испытания ракетно-космической техники. Система ориентирована на автоматический анализ ключевых параметров, регистрируемых в процессе испытаний, таких как давление, температура и др.

Методы и материалы; результаты Показано, что традиционные экспертные системы обладают ограниченной гибкостью и не обеспечивают автоматическую адаптацию к новым режимам испытаний. В качестве развития информационного обеспечения испытательных стендов предлагается использование нейросетевых методов, способных обучаться на накопленных испытательных данных и выявлять скрытые закономерности в поведении объекта испытаний.

В основу интеллектуального анализа положена архитектура LSTM Autoencoder, обеспечивающая детектирование аномалий во временных рядах без предварительной разметки данных. Для обеспечения объяснимости решений внедрен модуль XAI, использующий методы SHAP и механизмы внимания для визуализации вклада отдельных параметров в решение модели.

Разработанная архитектура интеллектуальной системы управления испытательным стендом (см. рисунок) включает набор взаимосвязанных модулей, обеспечивающих полный цикл обработки данных — от получения сигналов до выдачи рекомендаций оператору. На входе функционирует блок сбора

данных, принимающий показания датчиков давления и температуры в реальном времени. Далее блок предобработки выполняет фильтрацию шумов, нормализацию и синхронизацию сигналов, формируя готовые временные ряды. Эти данные поступают в аналитический модуль, реализованный на основе нейросетевой модели типа LSTM-Autoencoder, который обучается на нормальных режимах работы стенда и вычисляет оценку аномалий — меру расхождения между реальным и реконструированным сигналом. Значительное превышение ошибки над пороговым уровнем фиксируется детектором аномалий как потенциально аварийная ситуация. Далее используется модуль интерпретации, использующий методы XAI для объяснения, какие параметры внесли наибольший вклад в выявление отклонения. Завершает цикл интерфейс оператора, который визуализирует динамику параметров, подсвечивает аномалии и предоставляет рекомендации по дальнейшим действиям.



Архитектура интеллектуальной системы управления испытательного стенда

Закключение. Предложенная архитектура позволит повысить надежность и информативность испытаний, обеспечить совместимость с существующими автоматизированными системами управления испытаниями и может служить основой для создания обучающих симуляторов операторов испытательных стендов.

Список источников

- [1] Hochreiter S., Schmidhuber J. *Long Short-Term Memory*. *Neural Computation*, 1997, vol. 9 (8).
- [2] Lundberg S.M., Lee S.I. *A Unified Approach to Interpreting Model Predictions*. *NeurIPS. 31st Conference on Neural Information Processing Systems*, Long Beach, CA, USA, 2017.
- [3] Левшун Д.А., Котенко И.В. *Обнаружение и объяснение аномалий в промышленных системах на основе автокодировщика*. *Онтология проектирования*, 2025, № 1, с. 96–113.
- [4] Гурьев А.В., Козлов Д.А. *Применение методов машинного обучения для диагностики технических систем*. *Инженерный вестник*, 2020, № 5.
- [5] Звягин С.П., Лысенко М.В. *Автоматизация испытательных стендов РКТ: проблемы и решения*. *Труды МАИ*, 2019, № 109.