

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОЛНОВОГО РЕДУКТОРА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

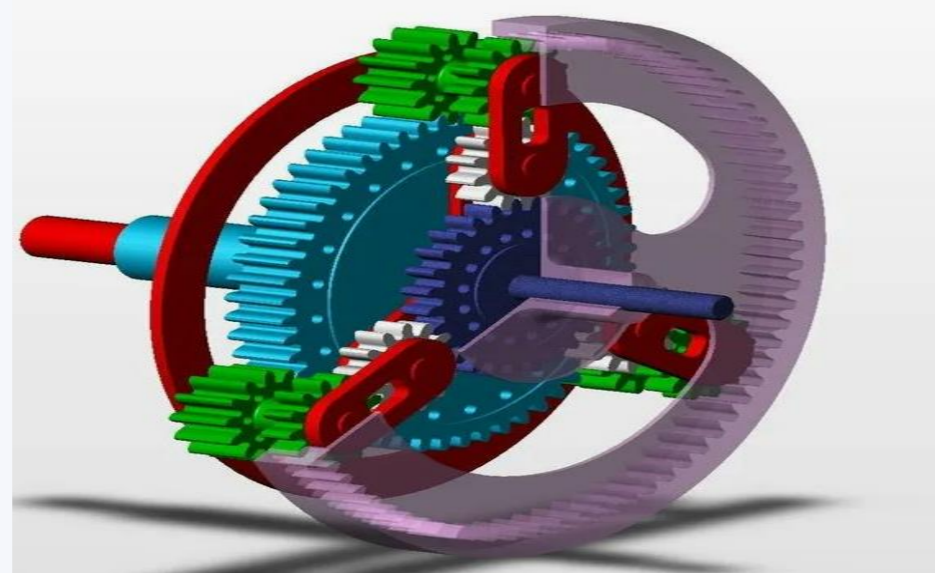
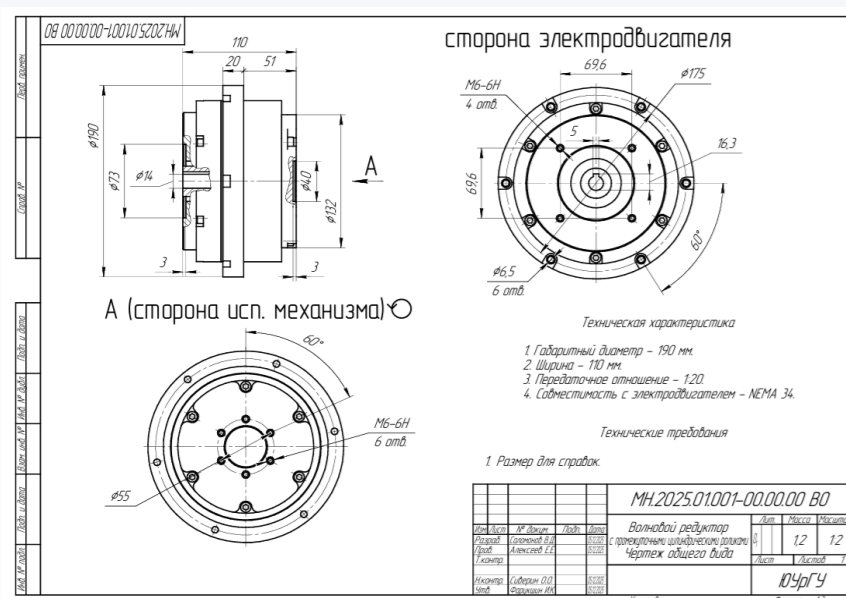
И. К. Фарукшин, О. О. Северин, Е. Е. Алексеев, В. Д. Саломонов, В. Д. Афтенко
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск

1. АКТУАЛЬНОСТЬ

Предиктивное техническое обслуживание приводов промышленных роботов позволяет снизить незапланированные простои оборудования. К основным методам текущего контроля состояния редуктора относят вибродиагностику, акустическую диагностику и тепловой контроль. Однако данные методы применяются изолированно, зависят от квалификации персонала и не обеспечивают обнаружения дефектов в реальном времени. Современное развитие методов машинного обучения даёт новые возможности для мониторинга: автоматическое извлечение диагностических признаков из необработанных сигналов и классификация состояния оборудования без участия оператора.

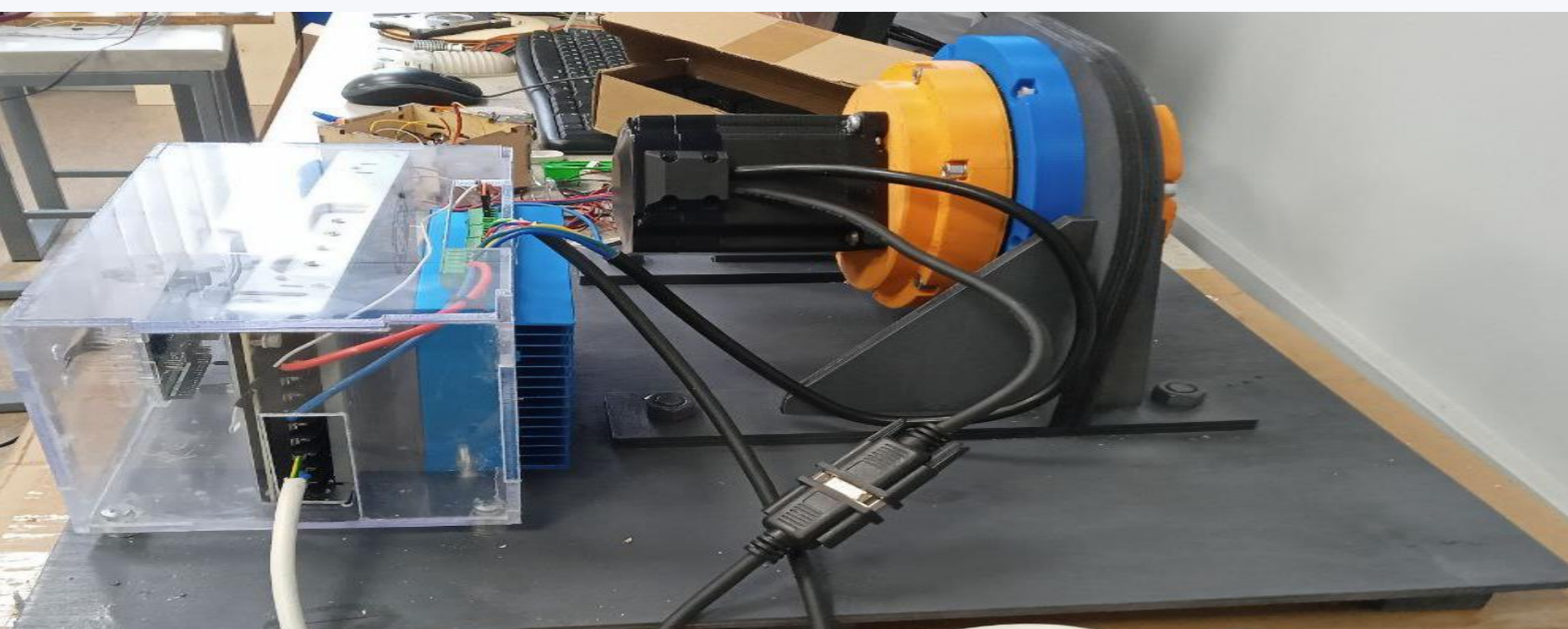
2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является волновой редуктор с промежуточными телами качения – перспективный тип привода для робототехники, обладающий высокой нагрузочной способностью, компактностью и отсутствием люфта. Прототип редуктора изготовлен из полимерного материала на оборудовании FabLab ЮУрГУ методом FDM-печати. Передаточное отношение составляет 120, габаритный диаметр – 190 мм, теоретический КПД – 0,95.



3. СТЕНДОВАЯ УСТАНОВКА

Разработана стендовая установка для испытания волновых редукторов с промежуточными телами качения. Стенд включает сервопривод для вращения входного вала, прототип редуктора и систему управления на базе Arduino. По результатам испытания прототип отрабатывает кинематику волновой передачи качественно. К стенду подключены датчик вибрации (пьезоэлемент SW-420) и модуль акустики из линейки Тройка, обеспечивающие непрерывный многоканальный сбор виброакустических данных.



1 Сервопривод
Привод вращения входного вала

2 Прототип редуктора
FDM-печать

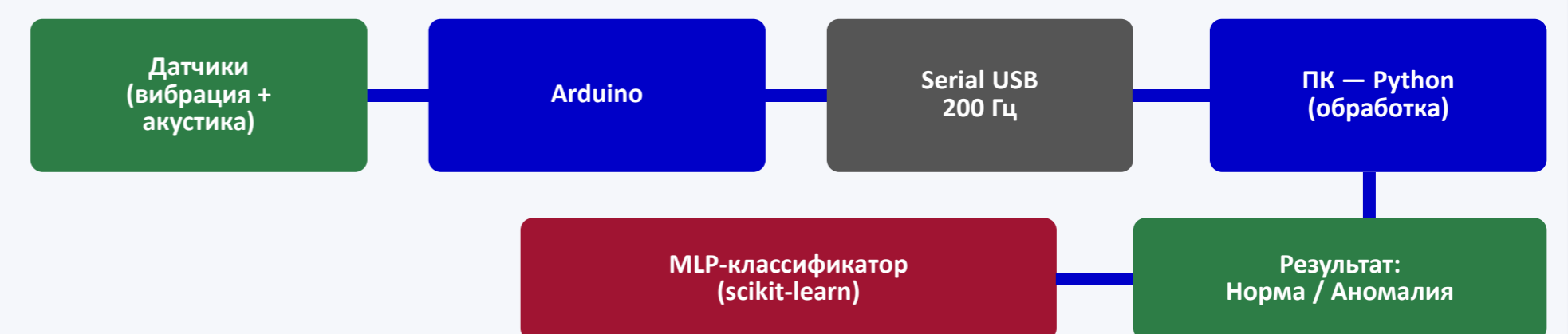
3 Arduino
Управление и сбор данных

4 Датчики
Вибрация (SW-420) + акустика

4. СИСТЕМА DIAGNOX

Программа DIAGNOX разработана на языке Python с использованием библиотеки Tkinter. Окно программы разбито на панели «АКУСТИКА» и «ВИБРАЦИЯ», на которых отображаются статус системы, счётчик аномалий и график входного сигнала в реальном времени. Данные поступают с Arduino через Serial USB с частотой опроса 200 Гц. Каждый фрейм из 256 отсчётов нормализуется, классифицируется MLP-моделью и результат выводится оператору.

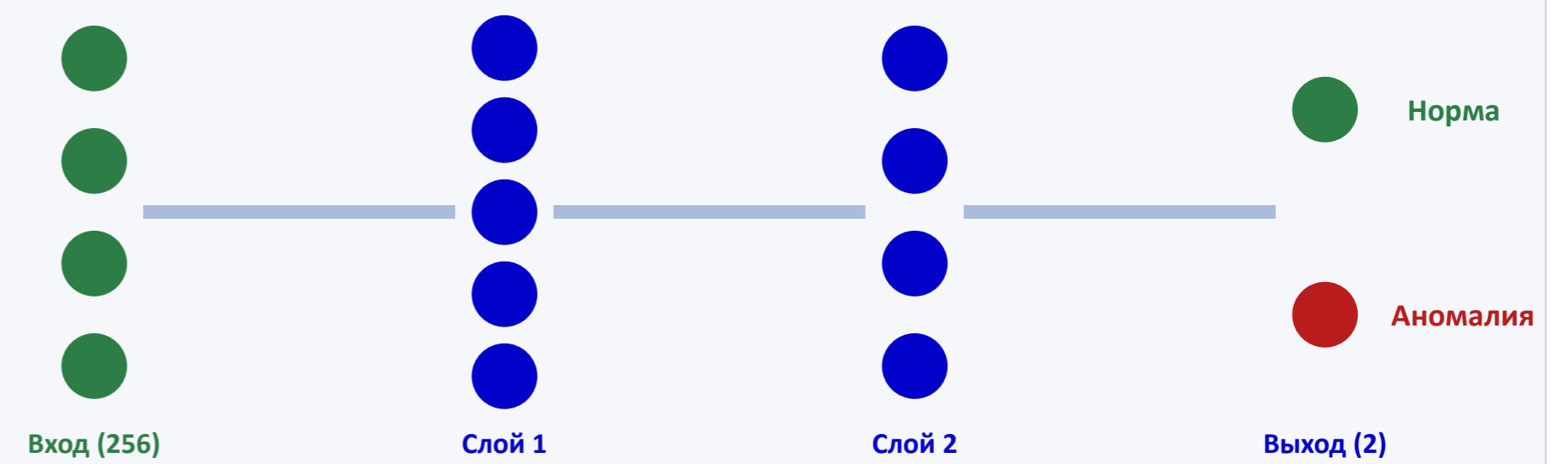
Архитектура системы:



Интерфейс программной системы DIAGNOX

5. MLP-КЛАССИФИКАТОР

Модель многослойного перцептрона (MLP) обучена классифицировать фреймы виброакустических сигналов как «норма» или «аномалия». Входные данные – векторы из 256 отсчётов, нормализованные в диапазоне [-1, 1]. Обучение производилось на размеченной выборке: нормальные режимы и имитированные дефекты (внешние возмущения). Модульная архитектура позволяет заменять модели без перекомпиляции ПО.



6. РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Разработанная система DIAGNOX эффективно считывает виброакустические сигналы с лабораторного стенда и обнаруживает имитированные дефекты на основе обученного MLP-классификатора. Точность обнаружения аномалий составляет более 90%. Системой обеспечивается частота опроса 200 Гц при размере фрейма 256 отсчётов. Ключевым преимуществом является модульная архитектура ПО, позволяющая использовать различные нейросетевые модели в форматах scikit-learn без перекомпиляции. Результаты подтверждают пригодность системы для предиктивного обслуживания роботизированных приводов нового поколения.

200 Гц

Частота опроса

256

Размер фрейма

> 90%

Точность MLP