

Применение искусственного интеллекта в АО «ОДК-Авиадвигатель»

Худяков Дмитрий Сергеевич

Начальник отдела систем инженерного анализа
АО «ОДК-АВИАДВИГАТЕЛЬ»

19.04.2024

Видеоаналитика в опытном заводе



Машинное зрение



LLM



Предиктивная
диагностика



Оценка
влияния
факторов

Взаимодействия оператора со станком



Зоны у станка, в которых может появляться человек



Обнаружение факта взаимодействия оператора со станком (оператор зашел в выделенную зону)

Видеоаналитика в опытном заводе



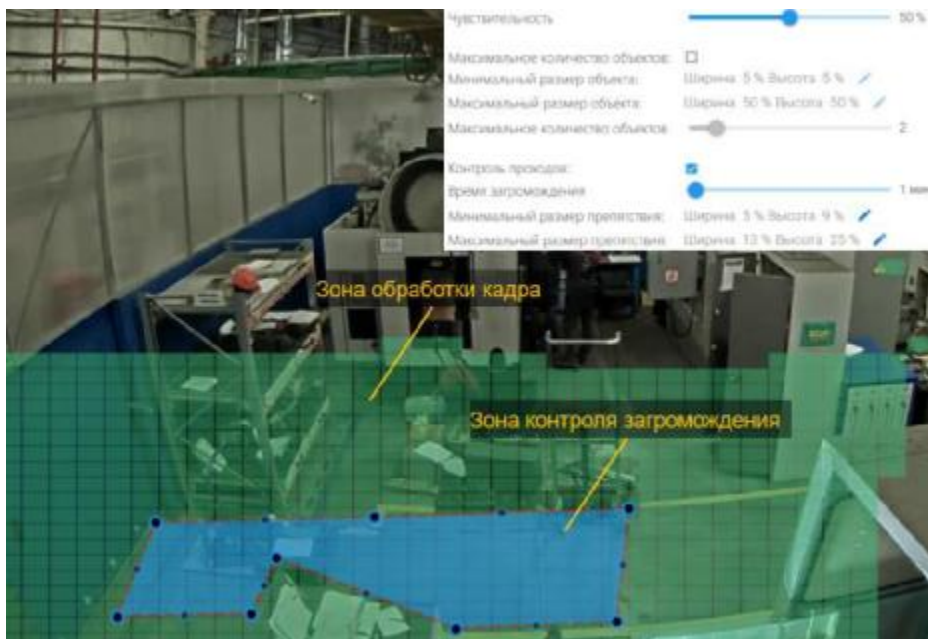
Машинное зрение



LLM

Предиктивная
диагностикаОценка
влияния
факторов

Контроль загромождения

Настройки модуля контроля
загромождения технологического проходаПредупреждение о загромождении
прохода (наличие тележки в
зоне прохода > 1 минуты)

Видеоаналитика в опытном заводе



Машинное зрение



LLM

Предиктивная
диагностикаОценка
влияния
факторов

Контроль «посетителей»

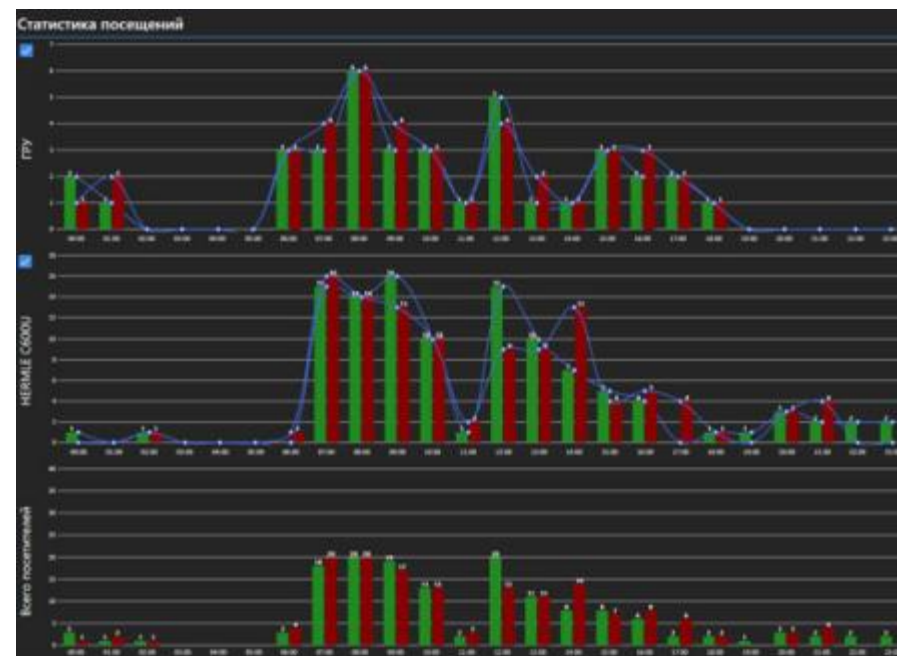
Подсчет числа сотрудников прошедших у участков:

- 1) гидроабразивная установка,
- 2) технологический проход у станка

1)



2)



Отчет по целевым участкам

Видеоаналитика в опытном заводе



Машинное зрение



LLM

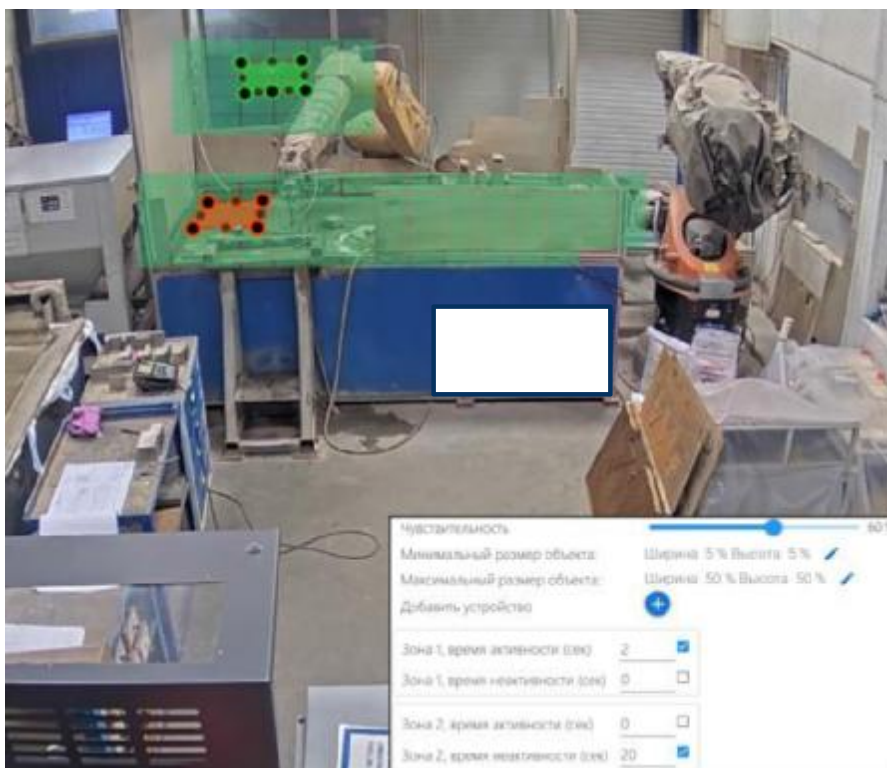


Предиктивная
диагностика



Оценка
влияния
факторов

Контроль активности оборудования



Настройки модуля для контроля активности
установки гидроабразивной резки



Предупреждение о неактивности
оборудования.

Эндоскопическое обследование лопаток ГТД

Пилотный проект

Машинное зрение



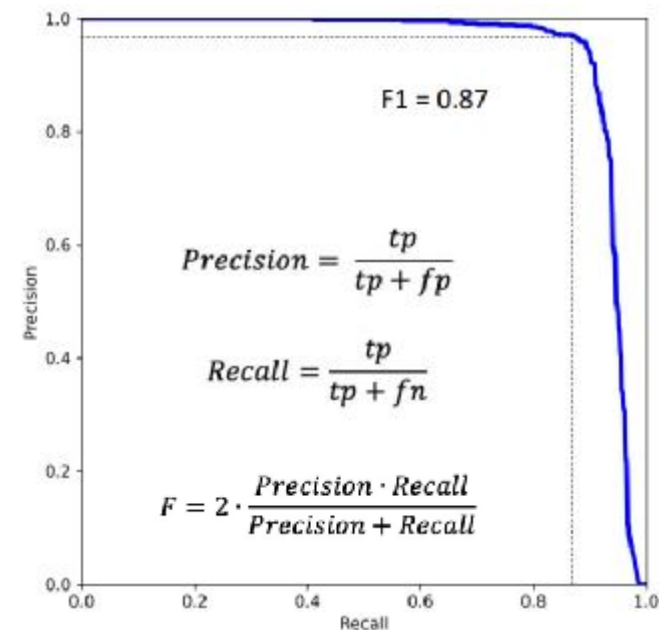
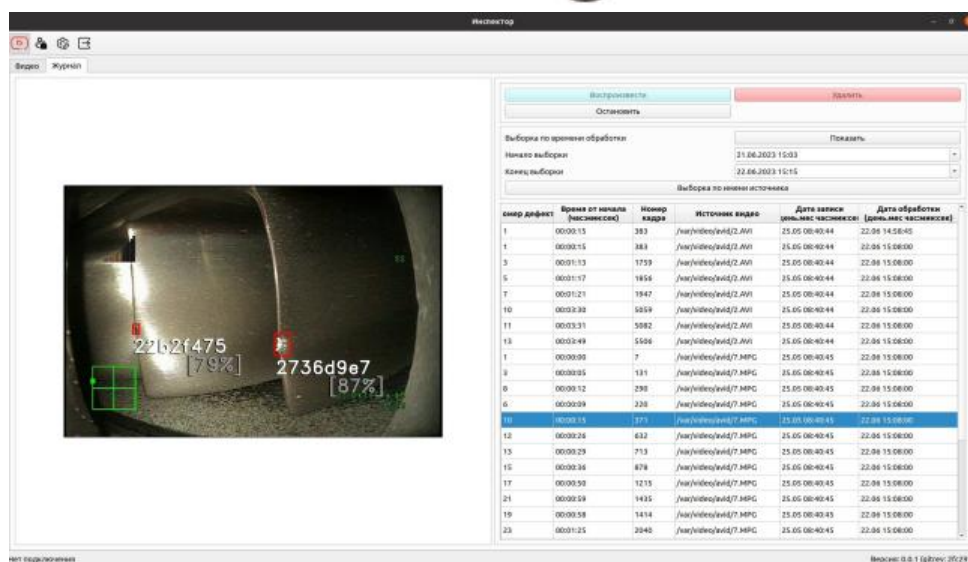
LLM



Предиктивная диагностика



Оценка влияния факторов



ПО для анализа видеозаписей эндоскопической проверки. Красным отмечены детектированные дефекты типа «забоина» на лопатках КВД.

Эндоскопическое обследование лопаток ГТД

Пилотный проект



Машинное зрение



LLM



Предиктивная
диагностика




Оценка
влияния
факторов

Видеодемонстрация работы

Эндоскопическое обследование лопаток ГТД

Масштабирование


Машинное зрение



LLM



Предиктивная
диагностика



Оценка
влияния
факторов



Архитектура ПАК

Ключевые отличия от «пилота»:

- 1) Виды дефектов:
 - забоина;
 - трещина;
 - эрозия;
 - прогар;
 - вмятина;
 - скол;
 - выработка уголка.
- 2) Управление поворотом ротора с использованием шагового двигателя через ПАК
- 3) Апробация новых нейросетевых моделей (CNN+Трансформеры)

Обнаружения дефектов на рентген снимках



Машинное зрение



LLM

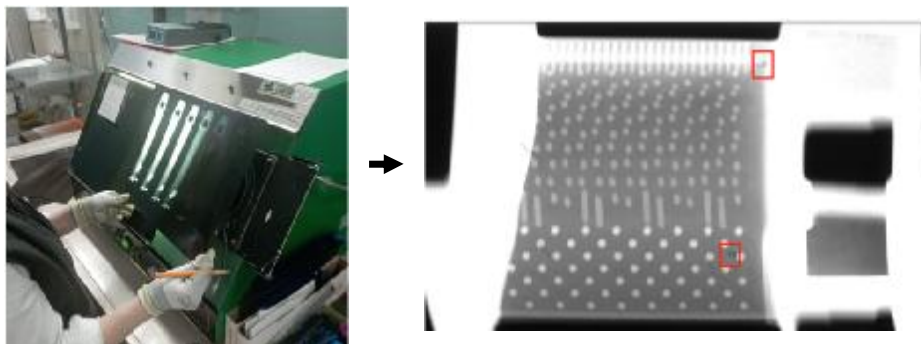


Предиктивная
диагностика

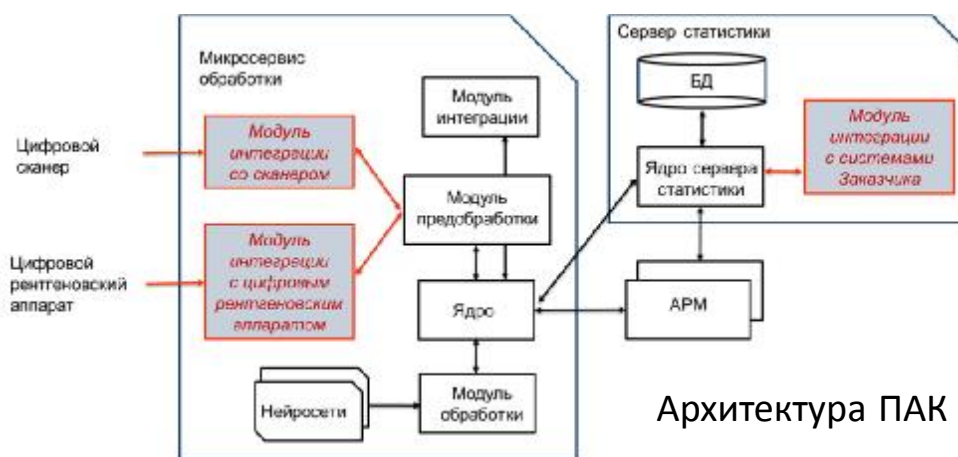


Оценка
влияния
факторов

Внедрение программно-аппаратного комплекса обнаружения дефектов на рентген снимках с применением технологии искусственного интеллекта



- Получение рентген изображений как с аналоговых пленок (посредством специального сканера), так и непосредственно в цифровом виде (с помощью цифрового рентген аппарата)
- Обнаружение дефектов, в том числе, незаметных в видимом диапазоне
- Сбор и хранение данных о результатах осмотра
- Автоматическое формирование отчетности



Обработка результатов испытаний



Машинное зрение



LLM

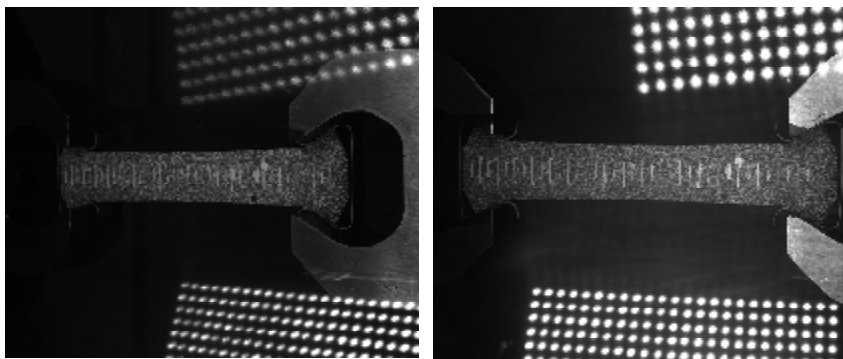


Предиктивная
диагностика



Оценка
влияния
факторов

Анализ результатов испытаний на статическую прочность и циклическую долговечность двухзамковых конструктивно подобных элементов (КПЭ) рабочей лопатки вентилятора



Обработка в программе Vic3D для получения карт перемещений и деформаций по осям X и Y.



Дано: Оптическое стерео изображение образца под циклическим или статичным нагружением

Задача: автоматической поиск **расслоений** и измерение геометрических характеристик для анализа их развития при циклическом нагружении



Карта деформаций вдоль вертикальной оси Y

Обработка результатов испытаний



Машинное зрение



LLM

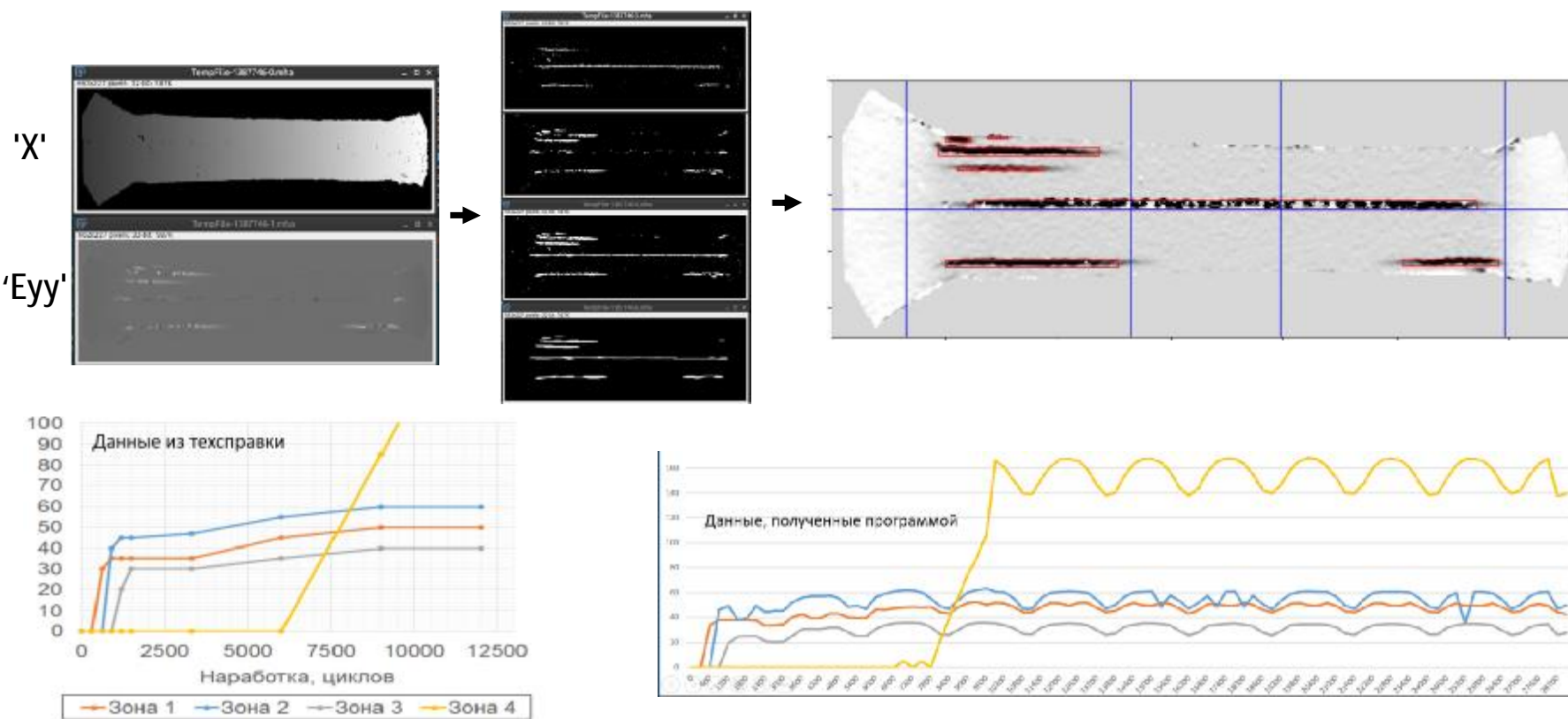


Предиктивная
диагностика



Оценка
влияния
факторов

Анализ результатов испытаний на статическую прочность и циклическую долговечность двухзамковых конструктивно подобных элементов (КПЭ) рабочей лопатки вентилятора



Обработка результатов испытаний



Машинное зрение



LLM

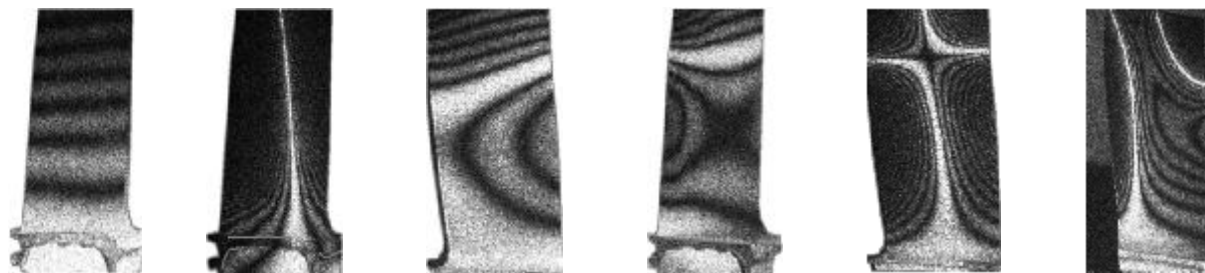


Предиктивная
диагностика



Оценка
влияния
факторов

Классификация собственных форм колебаний лопаток ГТУ

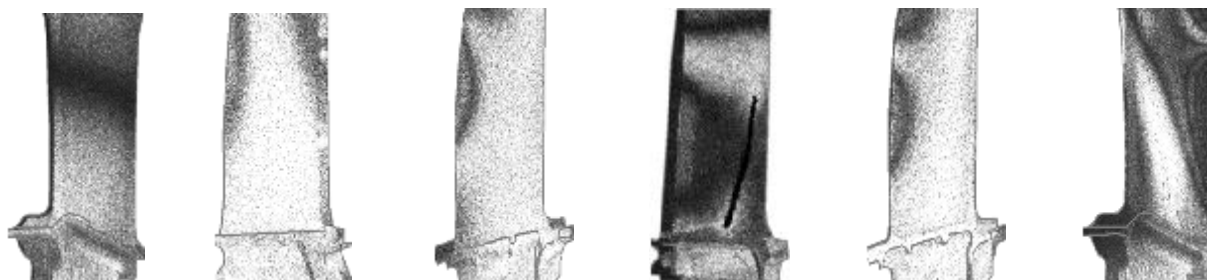


Пример
интерференционных
изображений
хорошего качества

Дано: Наборы интерференционных изображений за последние 10-12 лет и соответствующие им Excel-таблицы с классификацией форм.

Задача: Автоматизировать процесс классификации собственных форм.


Техническая сложность заключается в том, что качество интерференционных изображений при исследовании не постоянное.



Пример
интерференционных
изображений
плохого качества

Обработка результатов испытаний

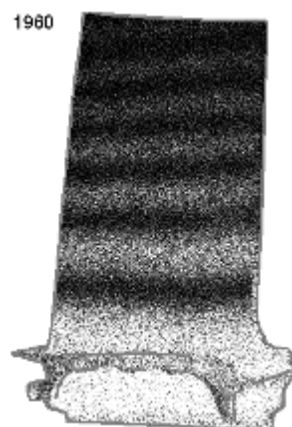
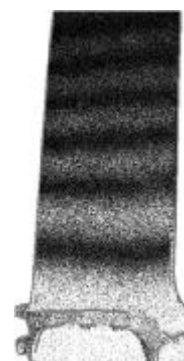
Классификация собственных форм колебаний лопаток ГТУ



Машинное зрение



LLM

Предиктивная
диагностикаОценка
влияния
факторовОбрезка краев
изображенияПриведение
изображений к
одному размеруПрименение
натренированной
сверточной нейронной
сети и выделение
наиболее вероятного
классаКаждая цифра отвечает за
принадлежность к
определенной
собственной форме

[1, 0, 0, 0, 0, 0]

1. Распределение исходных изображений по папкам согласно классу собственной формы.
2. Проверка в папках изображений по среднеквадратичному отклонению частот.

Создание Excel-таблицы

Результаты: в настоящий момент однозначно определяются первая изгибная форма (85%-95%) и совокупность второй изгибной и аксиально-изгибной форм (70%-90%). Точность определения остальных собственных форм сильно варьируется от качества интерференционных изображений. Идет доработка алгоритма.

Языковые помощники



Машинное зрение



LLM

Предиктивная
диагностикаОценка
влияния
факторов

Интеллектуальный поиск информации из технических актов из эксплуатации

Примеры характерных запросов оператора

Характер вопроса	Где	Ограничения	Суть вопроса
Когда...	...на ПНОСе	...в последний раз..	...были выявлены дефекты
При какой наработке...	...на ПНОС %№ЭБ%	.. в %уу% году..	...были устранены дефекты
На каком двигателе..	...на двигателе %№двигателя%	... в период с %date% по %date%	...были выполнены работы
Какие...	...на ГТЭС %№ГТЭС%		

+ любая конкретика для поиска уникальной информации (серийный номер, конкретный вид неисправности или работы и т.д.)

- 1) когда была промывка №ДВ?
- 2) когда на ЭБ5 была замена дискового затвора?
- 3) выполнялась ли работа по ЭТУ 187-0014-2019 на двигателе №ДВ?
- 4) замечания выявленные по результатам авторского надзора 325-04 в 2022 году
- 5) поломка прокладки в отборе воздуха от 13 ступени

Организованы работы по fine-tuning LLM (Llama, Saiga, Mistral...) на основе тех. актов

Языковые помощники

Локальные LLM



Машинное зрение



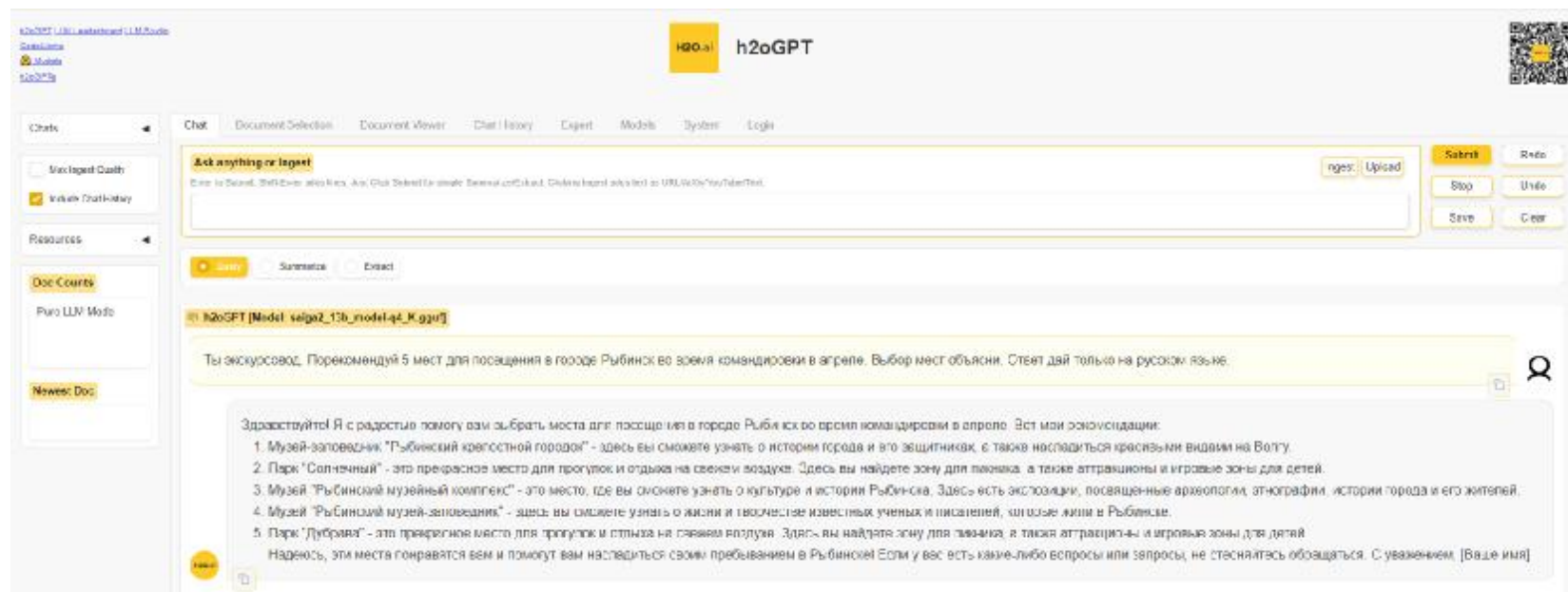
LLM



Предиктивная
диагностика



Оценка
влияния
факторов



LLM Llama CPP, Saiga развернуты на вычислительном кластере ОДК-Авиадвигатель

Проблема! Отсутствие достаточного числа GPU, необходимого для fine-tuning моделей

Предиктивная диагностика

Создание моделей предиктивной диагностики на платформе factory5.



Машинное зрение



LLM



Предиктивная
диагностика



Оценка
влияния
факторов



Графики показаний датчика «температура газа за СТ».

Оранжевым цветом окрашены предсказанные моделью значения,

Зеленым – фактические данные с датчика,

Красные пунктирные линии – предсказанные максимум и минимум значений

Серый – «неуверенность» модели

Предиктивная диагностика

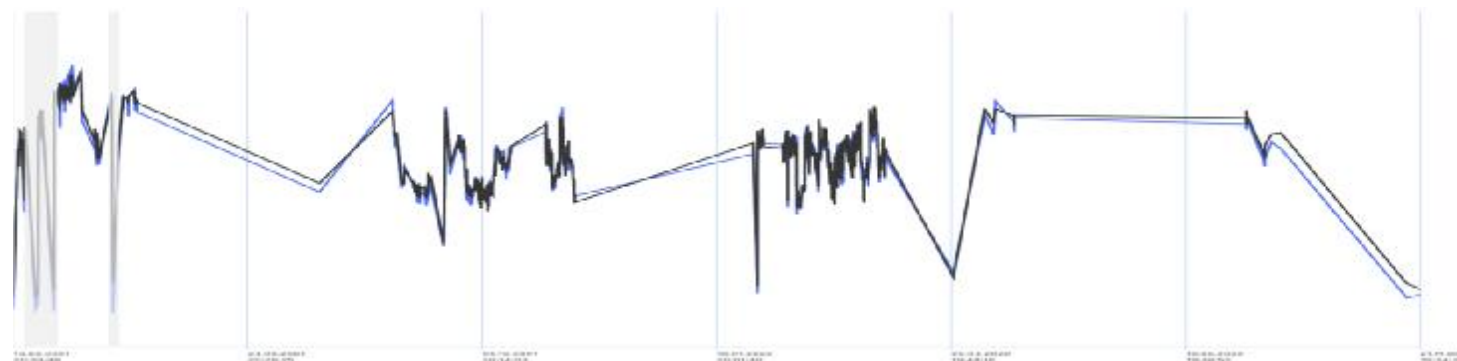
CyberStudio



Машинное зрение



LLM

Предиктивная
диагностикаОценка
влияния
факторов

параметр tTVД из модели «Проточная часть 1»: показания модели – синяя линия, показания датчика – черная линия.



Параметр tCT12 из модели «Температура газа за СТ» - классификация состояния по ИТС.

Собственные модели предиктивной диагностики

Прогноз состояния ГТУ в «реальном времени»



Машинное зрение



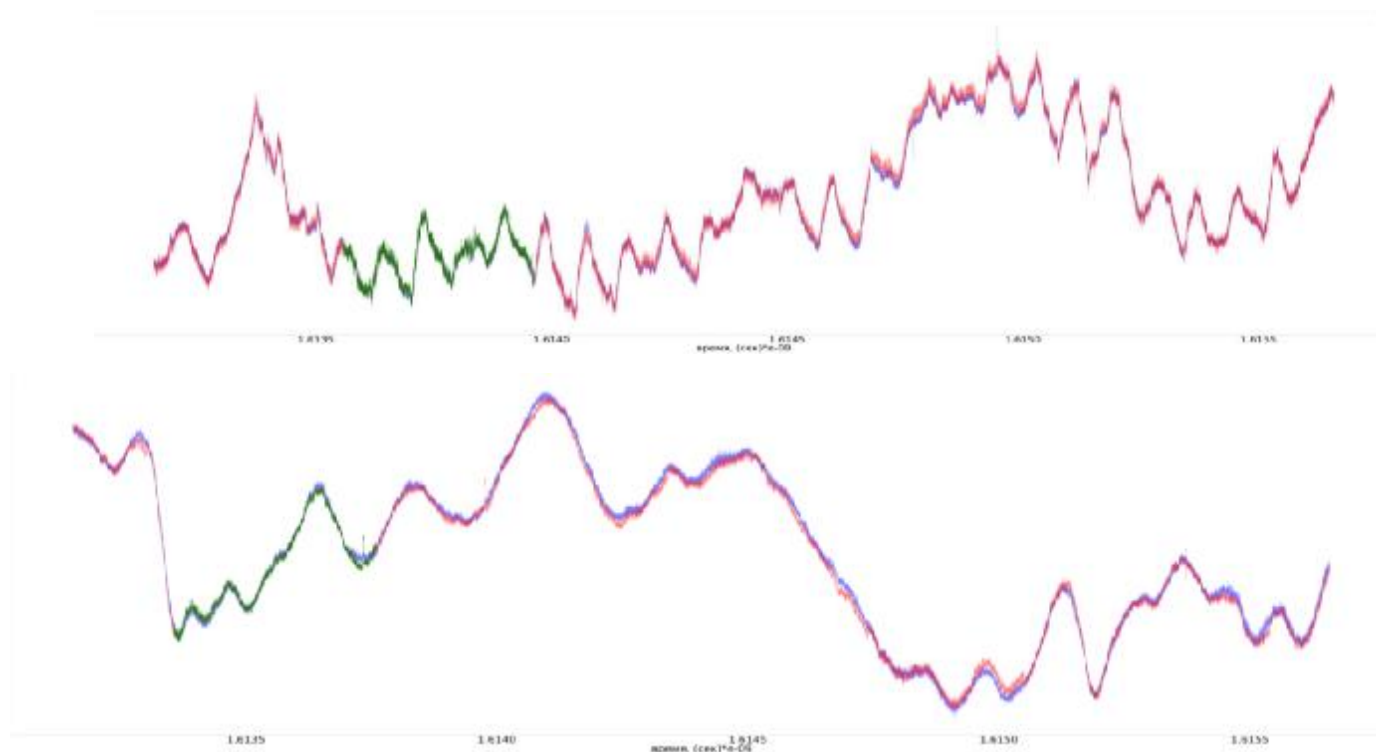
LLM



Предиктивная
диагностика



Оценка
влияния
факторов



Значения температуры газа за ТВД (сверху), полного давления газа за СТ (снизу).

Розовым отмечаются исходные данные, сиреневым – аппроксимированные нейронной сетью данные, зеленым – выборка для тренировки нейронной сети.

Собственные модели предиктивной диагностики

Алгоритмы прогноза состояния ГТУ на будущее с учетом исторических данных

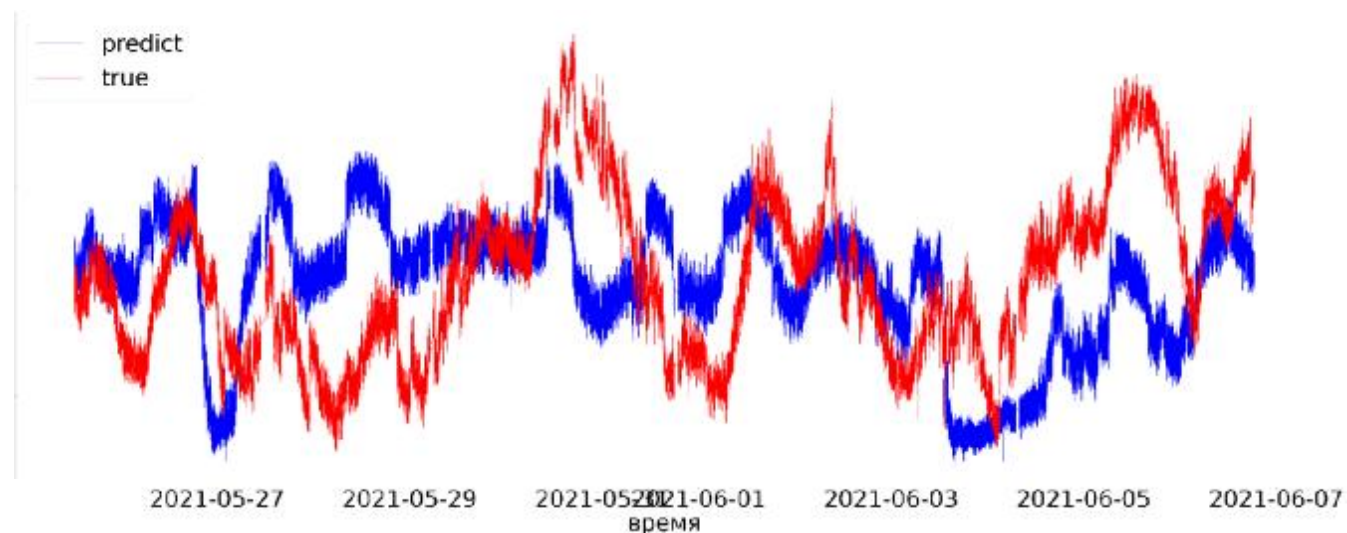


График поведения температуры на выходе ГТУ.

Синим цветом окрашены предсказанные моделью значения на 2 недели вперед (не используется телеметрия за этот период), **красным** – фактические данные с датчика за этот период.

Машинное зрение



LLM



Предиктивная
диагностика



Оценка
влияния
факторов

Оптимизация процессов проектирования, изготовления и сборки



Машинное зрение



LLM



Предиктивная
диагностика



Оценка
влияния
факторов

1. Интеллектуальная система управления качеством изготовления лопаток

Параметры изготовления
керамического стержня → Вероятность брака

2. Профилирование лопаток КВД под заданные аэродинамические характеристики

Заданные характеристики → Профиль лопатки

3. Оценка влияния параметров сборки на вибрационные характеристики испытываемых двигателей

Параметры балансировки → Вибрации в испытании

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Вопросы/предложения →

