



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

НИЛ «Искусственный интеллект в
производственных системах»

Предиктивная диагностика,
компьютерное зрение и
ML для промышленности

Печенин В.А., к.т.н., доцент, заведующий
лабораторией, pechenin.va@ssau.ru

<https://nil211.ru>

https://ssau.ru/science/ni/nip/nil/nil_221





Типовые проблемы на производстве, с которыми мы работаем

- Внеплановые простои оборудования
- Износ узлов и инструмента “по факту отказа”
- Сложность интерпретации данных
- Нестабильное качество / скрытые дефекты
- Есть данные, но нет эффекта от аналитики

Как мы решаем эти задачи:

1. Анализ оборудования и данных
2. Пилотный ML-проект (PoC)
3. Оценка точности и экономического эффекта
4. Масштабирование и сопровождение

От НИР и пилота — к внедрению и экономическому эффекту



Ключевые технологические компетенции

🔧 Машиностроение и производственные технологии

- 7+ лет практического опыта в машиностроении и ИИ
- Исследование и оптимизация сборочных и технологических процессов
- Практическая работа с оборудованием с ЧПУ (фрезерные, шлифовальные станки)
- Измерение и контроль качества на КИМ и оптических сканерах
- Обратный инжиниринг изделий (Geomagic DesignX, Siemens NX)



Искусственный интеллект и анализ данных

- Машинное обучение, распознавание образов, анализ сигналов
- Компьютерное зрение для мониторинга и контроля производственных процессов
- Анализ вибрационных данных оборудования
- Разработка и внедрение прогнозных ML-моделей
- Проведение экспериментов и интерпретация результатов

⌚ Моделирование и цифровые производственные системы

- Имитационное моделирование производственных процессов (*AnyLogic, Tecnomatix Plant Simulation*)
- Виртуальное моделирование сборочных процессов
- Разработка математических моделей сложных технических систем
- Оптимизация технологических маршрутов и норм времени

💻 Программная инженерия и внедрение

- Полный цикл разработки ПО: от постановки задачи до внедрения
- Разработка расчетных и аналитических модулей (*Python, Java, C/C++, C#, MATLAB*)
- Интеграция с IT-инфраструктурой предприятия
- Автоматизация сборки, развертывания и сопровождения ПО
- Сертификация и промышленная эксплуатация программных решений



Примеры проектов лаборатории

Проект	Область	Стадия	Функционал
Программа BladeGap для комплектования лопаточных венцов при их сборке или ремонте	Сборка	Прототип, проведена проверка концепции	Формировать несколько комплектов лопаток с наилучшим вариантом расстановки для каждого комплекта исходя из задела лопаток в цехе, формировать отчеты с рекомендациями по расстановке лопаток для использования в процессе сборки дисков
Система мониторинга движения деталей по технологическому маршруту с использованием компьютерного зрения	Машинное обучение	Прототип, проведена проверка концепции	Идентификация деталей, сбор оперативных данных по определенным параметрам их качества, предоставление оперативных отчётов пользователям
Модуль регистрации характеристик качества изготовления по параметрам вибраций станка	Мехобработка	Пилот, прототип REST-сервиса	Прогноз фактического износа инструмента по параметрам вибраций, предотвращение непредвиденных сбоев, минимизация брака деталей и простоев оборудования
Сервис «Нормировщик» для прогноза норм времени технологических операций	Машинное обучение	Внедрение (готовый HTTP-сервис)	Прогноз трудоемкости по характеристикам номенклатуры из системы 1С

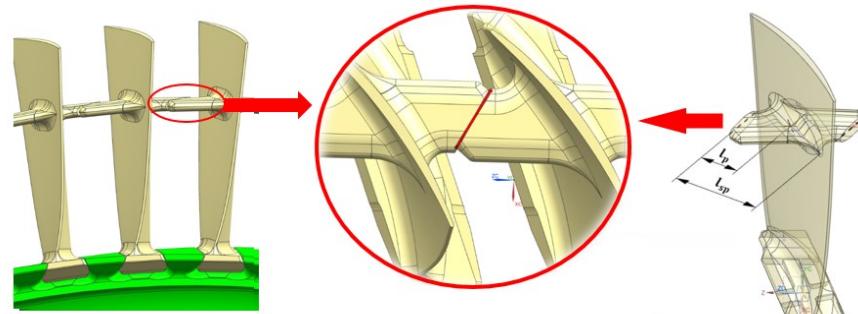




Кейсы. Программа BladeGap для комплектования лопаточных венцов при их сборке или ремонте

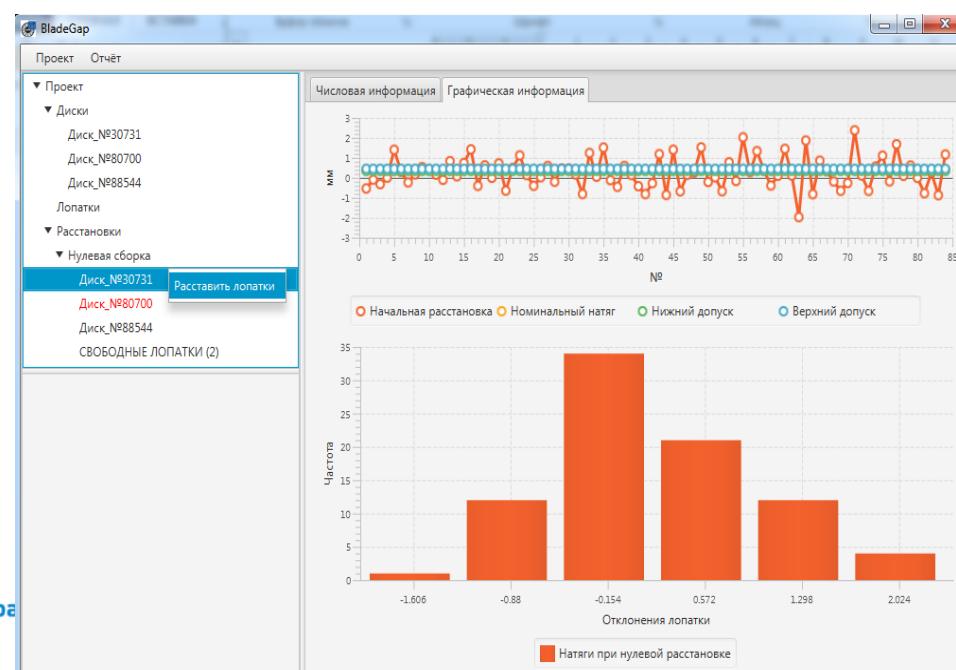
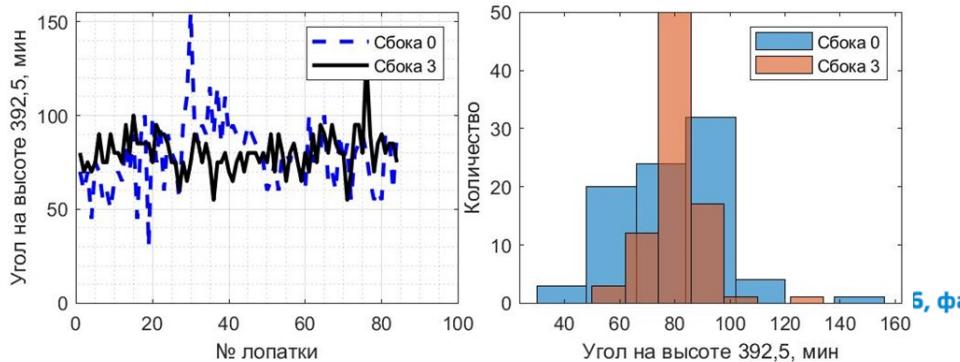
Назначение

- 1)раскладка лопаток 8 ступени компрессора для повышения равномерности натягов по их антивибрационным полкам в автоматическом и ручном режимах;
- 2)визуализация рассчитанных вариантов сборки рабочего колеса;
- 3)формирование отчётов с рекомендациями по расстановке лопаток для использования в процессе сборки рабочих колёс;
- 4)сохранение результатов работы в базе данных.



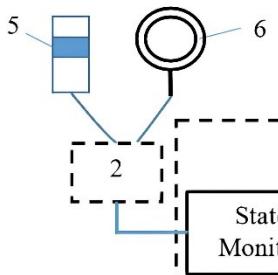
Достоверность – доказана
экспериментальными и теоретическими
исследованиями

Результат - повышение равномерности
натяга на 43 %



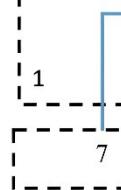


Кейсы. Система мониторинга движения деталей с использованием технологий компьютерного зрения



1. Формирование отчётов по движению партий деталей в производстве
2. Автоматизация записи времени, места и операции для партии деталей
3. Актуальная информация о проблемах (уровень брака, простой оборудования, инородных деталей в таре)
4. Синхронизация с базой MDC или ERP-систем

Функционал системы

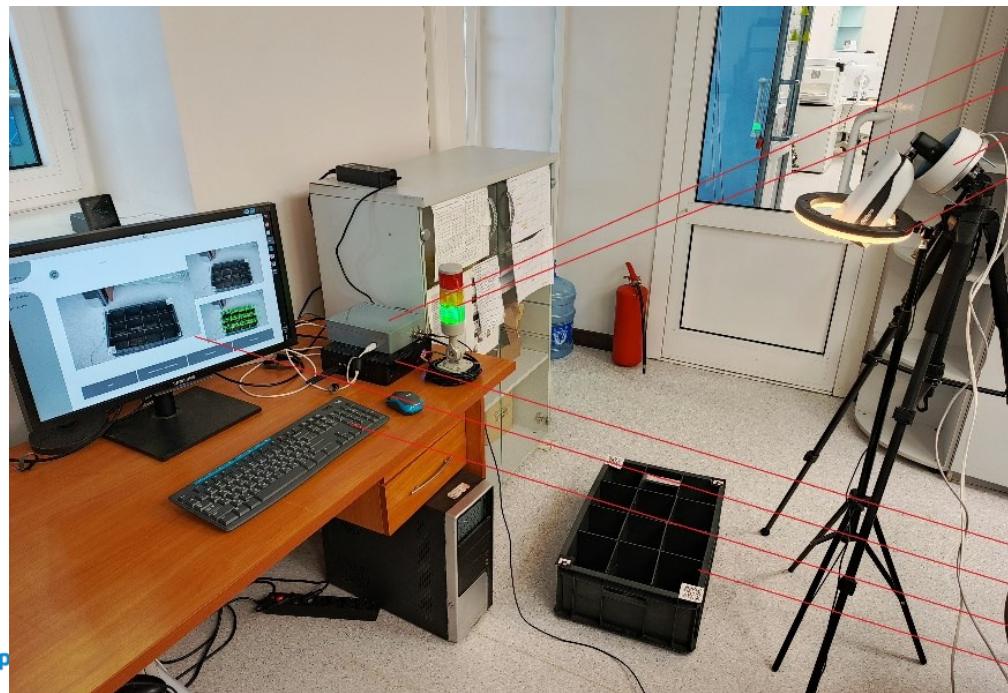


Функционал сервера операций машинного зрения

1. Работа с QR –кодами
2. Детектирование ячеек
3. Классификация содержимого ячейки

1 – Персональный компьютер; 2 – Коммуникационный модуль; 3 – IP-камера; 4 – тара с деталями; 5 – Сигнальная лампа; 6 – Светодиодная лампа под цветки; 7 – Устройство ввода; 8 – Устройство вывода

ул. Московское шоссе, д.34, г.Самара



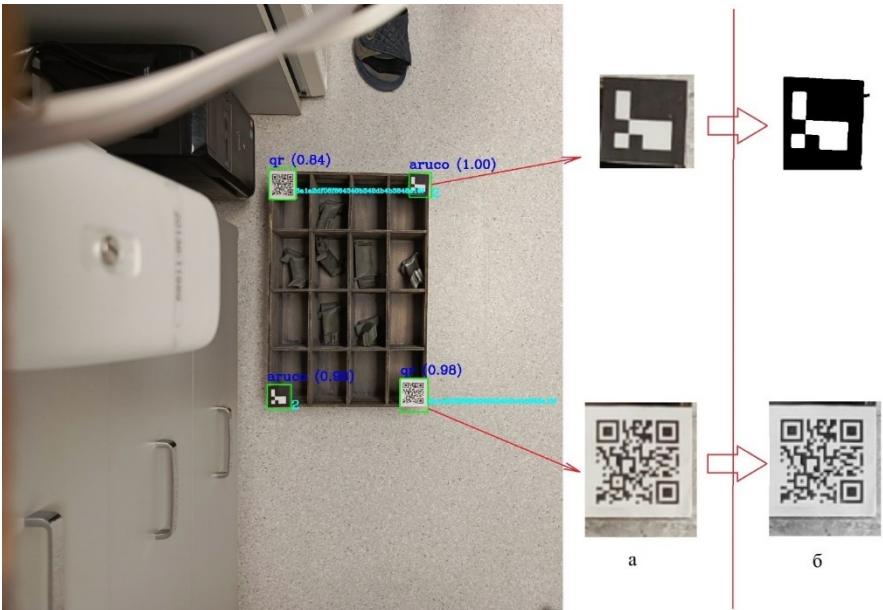
a



b



Тестирование системы мониторинга на основании технологий компьютерного зрения



а) Выделенная с помощью нейронной сети часть изображения с маркером; б) изображение маркера после компьютерной обработки

Рисунок 1 – Результат работы алгоритма по детектированию QR-кодов

Тестирование модулей системы

1. Эксперименты комплекса видеомониторинга в лабораторных условиях в 2023-2024 гг.
2. Эксперименты с «Металлист-Самара» в 2024 г. (подписано техническое задание и получен отзыв о результатах апробации разработанного программно-аппаратного комплекса с предприятием).
3. Результаты экспериментов показали 93% точность определения деталей при использовании разработки против 72% при использовании традиционного подхода с одной нейронной сетью.

(основные результаты в статье «**Development of a Software and Hardware Complex for Monitoring Processes in Production Systems**», <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/5/1527>)



Рисунок 2 – Распознавание содержимого тары на кадре



Кейсы. Модуль регистрации характеристик качества по параметрам вибраций

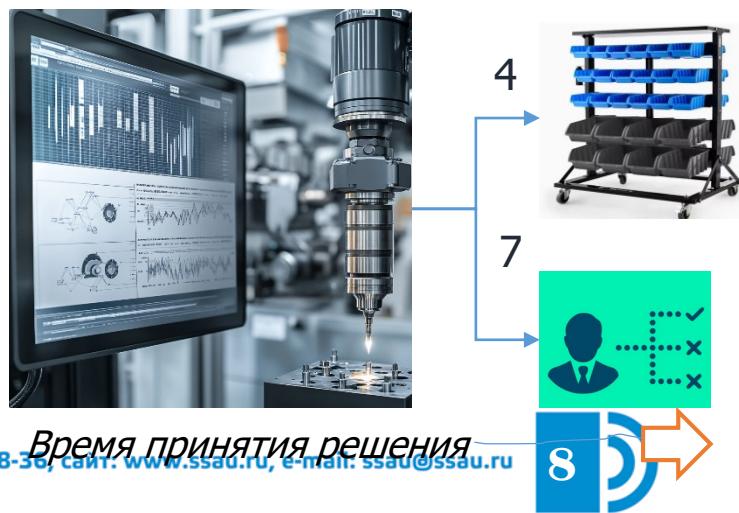
Традиционный подход к операционному контролю высокотехнологичных изделий



Контроль качества процесса с использованием вибродиагностики и технологий машинного обучения

- 1- выполнение технологической операции
- 2- складирование
- 3- измерения
- 4- складирование
- 5- консолидация результатов измерений, контроль
- 6- обработка результатов измерений,
SPC (статистический контроль процесса),
предиктивная аналитика
- 7-FMEA (анализа видов и последствий отказов)

1,3,5,6





Кеysы. Модуль регистрации характеристик качества по параметрам вибраций

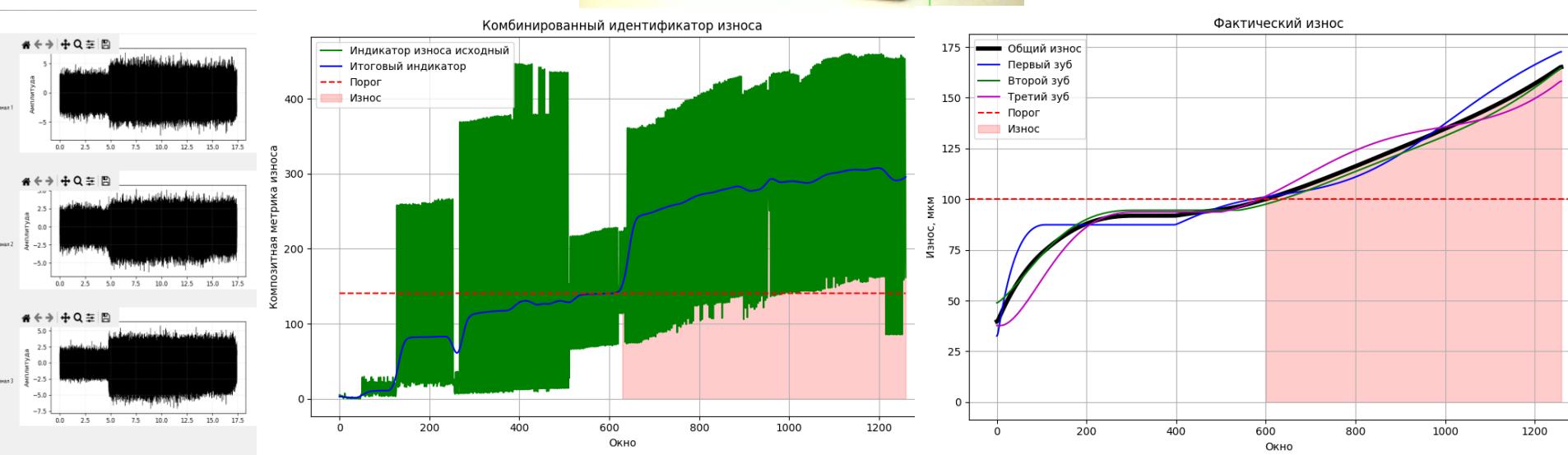


Оборудование: пяти координатный фрезерный обрабатывающий центр S500L, акселерометр 1V151HC-100 GTLab, подключённый к персональному компьютеру через контроллер BC-357. Износ измерялся намикроскопе Espada U500X

Обработка: черновая обработка цилиндрических и прямоугольных образцов и деталей на разных режимах

Материал образцов: сталь 20Х13 и титанового сплава BT8М-1

Фрезы: концевые двух, трех, четырех и шестизубые.



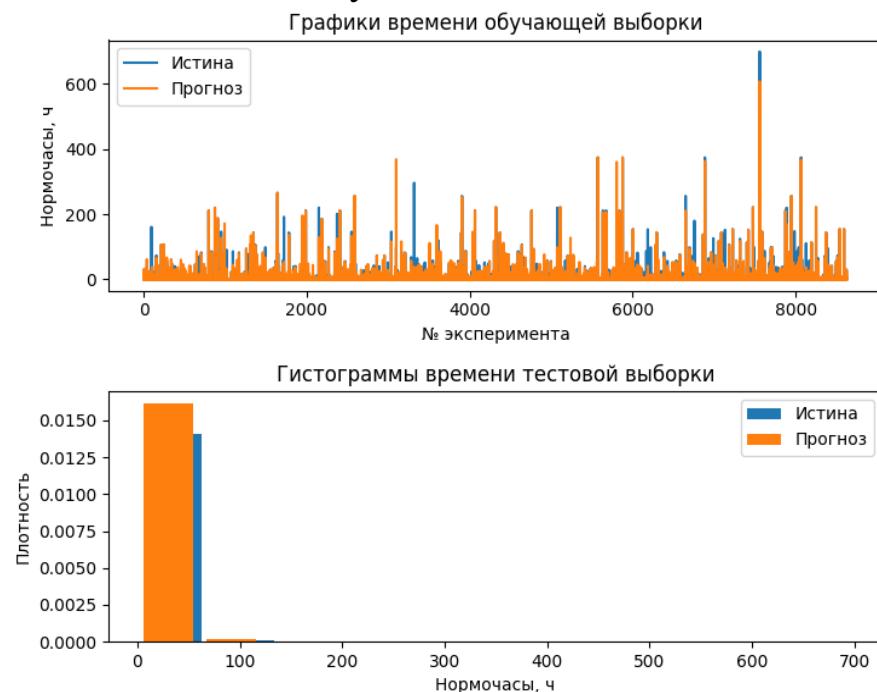


Сервис «Нормировщик» для прогноза норм времени технологических операций

Цель работы: разработать программное приложение для предварительного нормирования технологических операций, основанное на анализе производственной статистики Заказчика и применении регрессионных моделей, полученных с использованием алгоритмов машинного обучения.

Функциональные требования к сервису:

- а) приложение представляет собой HTTP-сервис;
- б) загрузка и выгрузка параметров моделей для расчета;
- в) ввод параметров в формате JSON;
- г) предварительный расчёт нормы времени операции;
- д) выгрузка результатов в формате JSON;
- е) сохранение введенных операций в базе данных для последующего повышения качества прогнозирования приложения;
- ж) выгрузка сохраненных операций.





Как можно начать сотрудничество

Аналитический аудит

1–2 месяца

оценка применимости ML

Пилотный проект

3–6 месяцев

конкретный узел / линия

НИР / НИОКР

под задачи предприятия

возможны гранты

Что требуется для старта проекта

- доступ к данным / оборудованию
- эксперт от предприятия
- формулировка задачи
- пилотная зона

