



# **Технологии визуально-цифрового контроля качества изделий и приемки сборочно-монтажных операций**

Ким Н.В. (МАИ, профессор)  
Шпилевой В.Ф. (консультант)

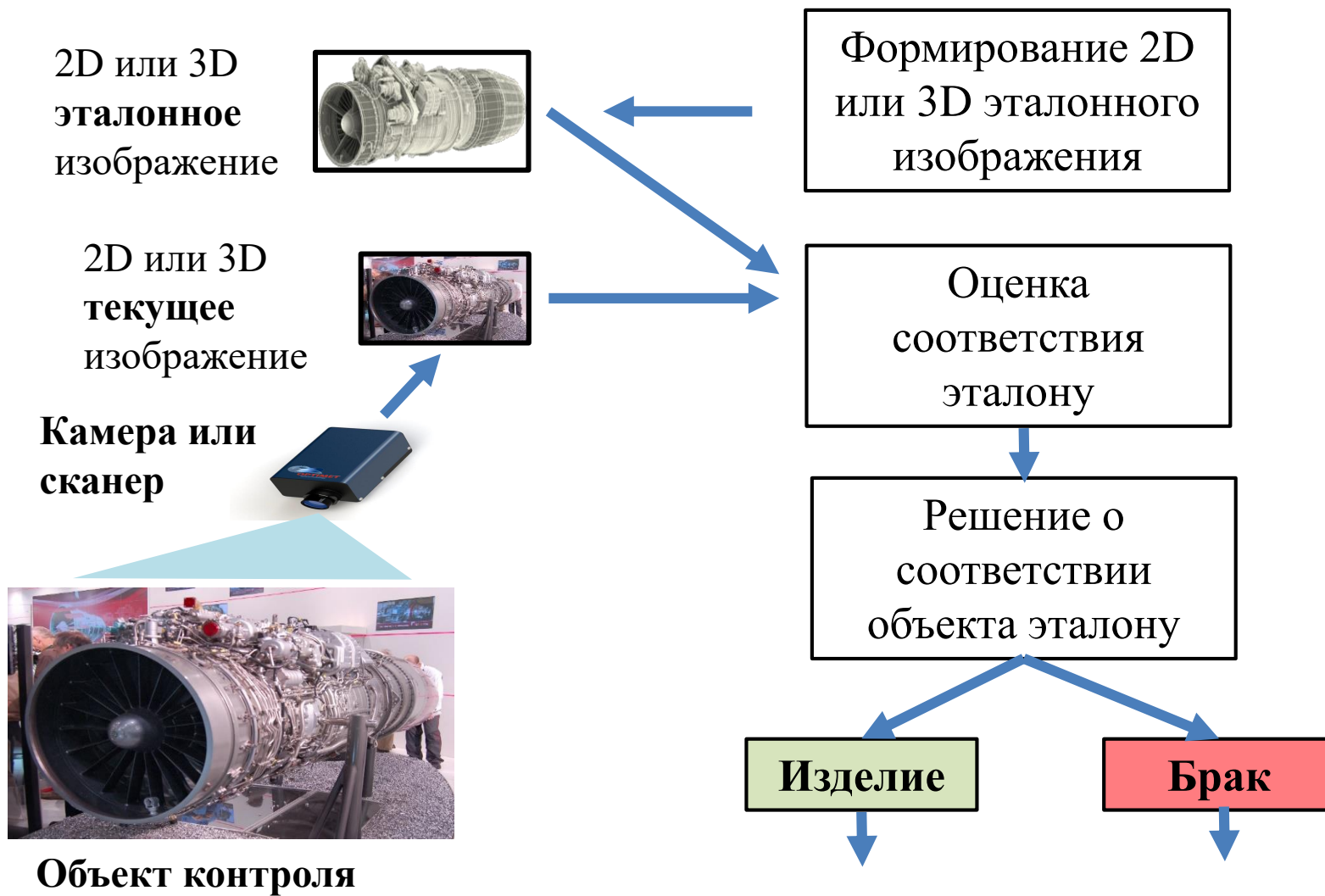
Октябрь 2021 г.

## **Необходимость автоматизации контроля качества сборочно-монтажных работ определяется возможным появлением брака из-за следующих факторов:**

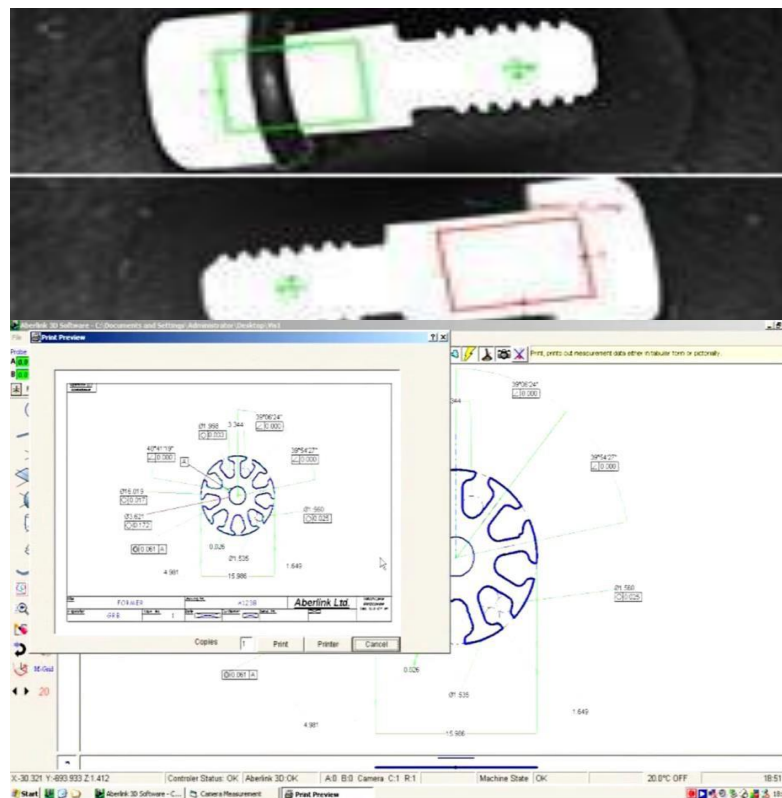
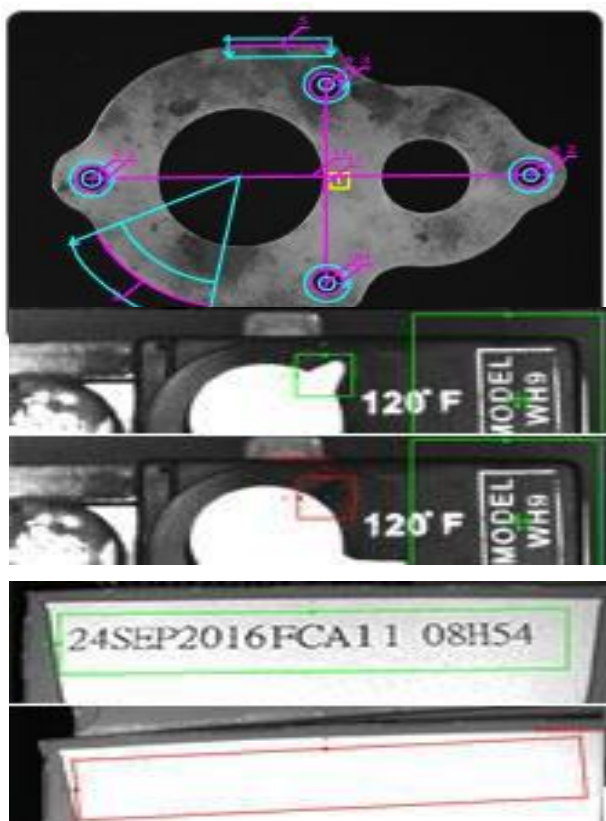
1. Ошибок, связанных с «человеческим фактором» (усталость, информационная перегрузка, отвлечения, ...);
2. Недостаточной обеспеченностью технологического процесса контроля при выполнении сборочно-монтажных работ изделий высокой сложности (в частности, снижением численности военной приемки);
3. Ошибками входного контроля элементов сборки (использование бракованных элементов);
4. И др.

**В результате внедрения автоматического визуального контроля должно быть обеспечено существенное улучшение качества процессов за счет исключения влияния «человеческого фактора», повышения объективности и достоверности принимаемых решений.**

# Общая схема визуального контроля



# Программно-аппаратные средства для оптических измерений



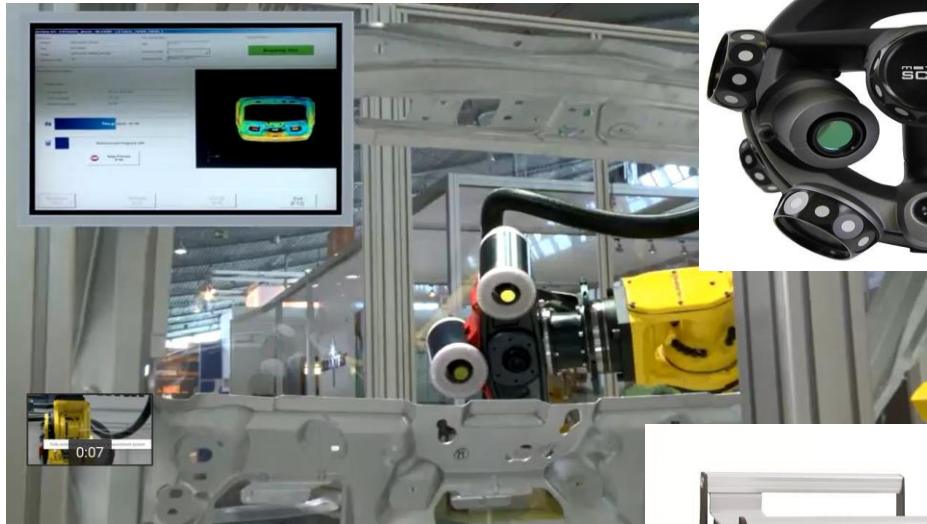
Контроль плоских деталей по 2D (двумерным) изображениям

## Оборудование для визуального контроля микросхем



# Оптические сканеры для формирования 3D изображений

Формирование 3D моделей изделий  
Больших размеров



Формирование 3D моделей  
изделий  
средних размеров



Камера со структурированной подсветкой

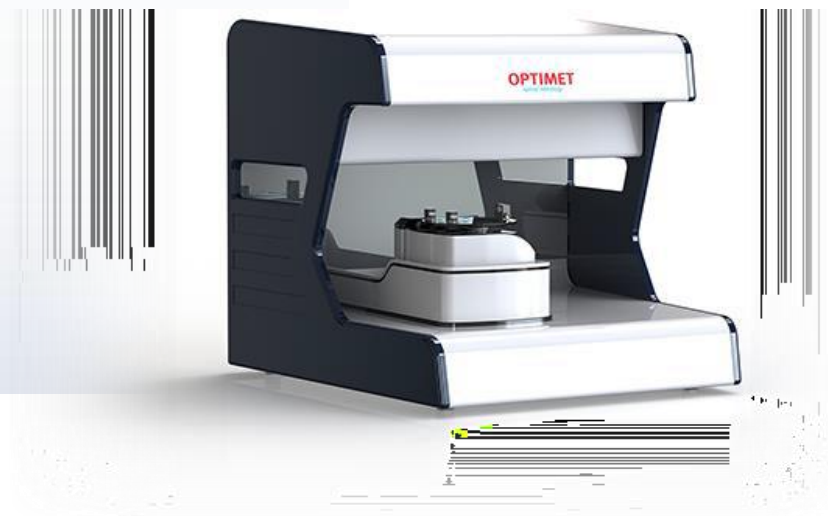




# Лазерные радары и трекеры для измерений изделий больших размеров



# Голографические сканеры для высокоточного 3D сканирования изделий малых размеров





**Реализованы технологии визуального контроля отдельных деталей, плоских сборок и пр. Нерешенными остаются многие задачи, связанные с контролем монтажно-сборочных работ.**

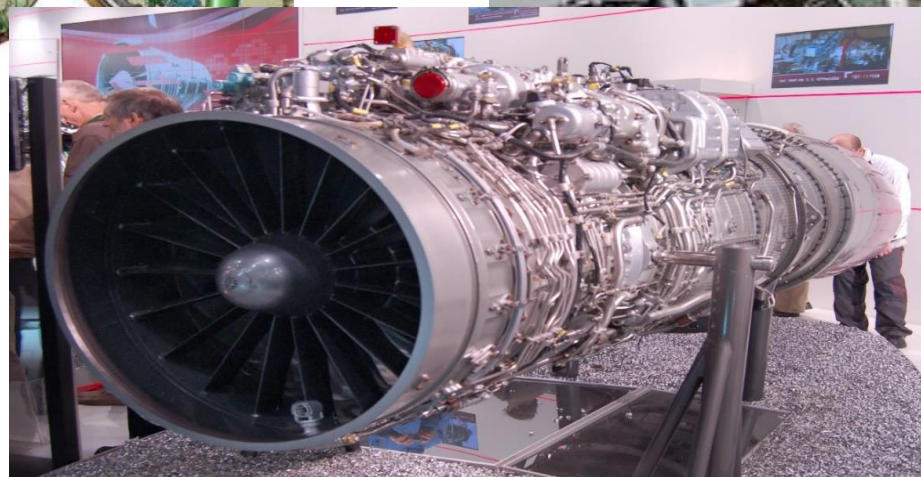
Основной задачей визуального контроля монтажно-сборочных работ является проверка точности установки сборочных элементов.

**Выделяется 2 базовых подхода к оценке качества сборки:**

1. На основе сопоставления эталонного и текущего изображений, например, корреляционными алгоритмами.
2. На основе выделения, распознавания и локализации отдельных сборочных элементов.

Преимущества и недостатки каждого подхода определяются сложностью объектов и решаемыми задачами контроля.

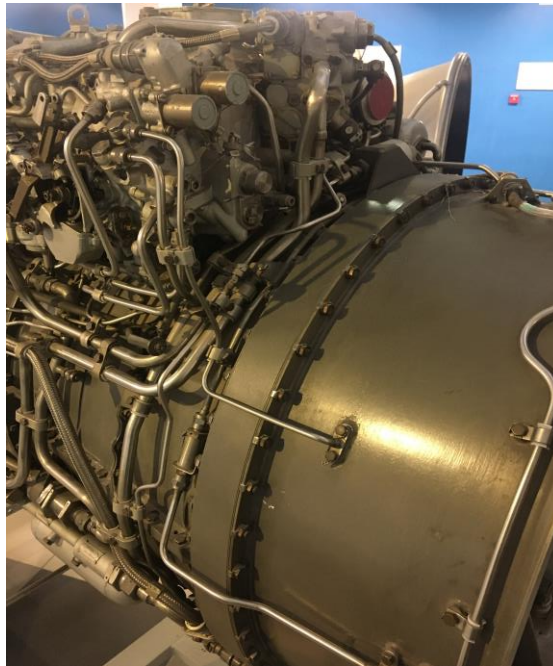
# Примеры объектов высокой сложности



**Двигатель РД-33**

# Сложность визуального контроля качества сборки

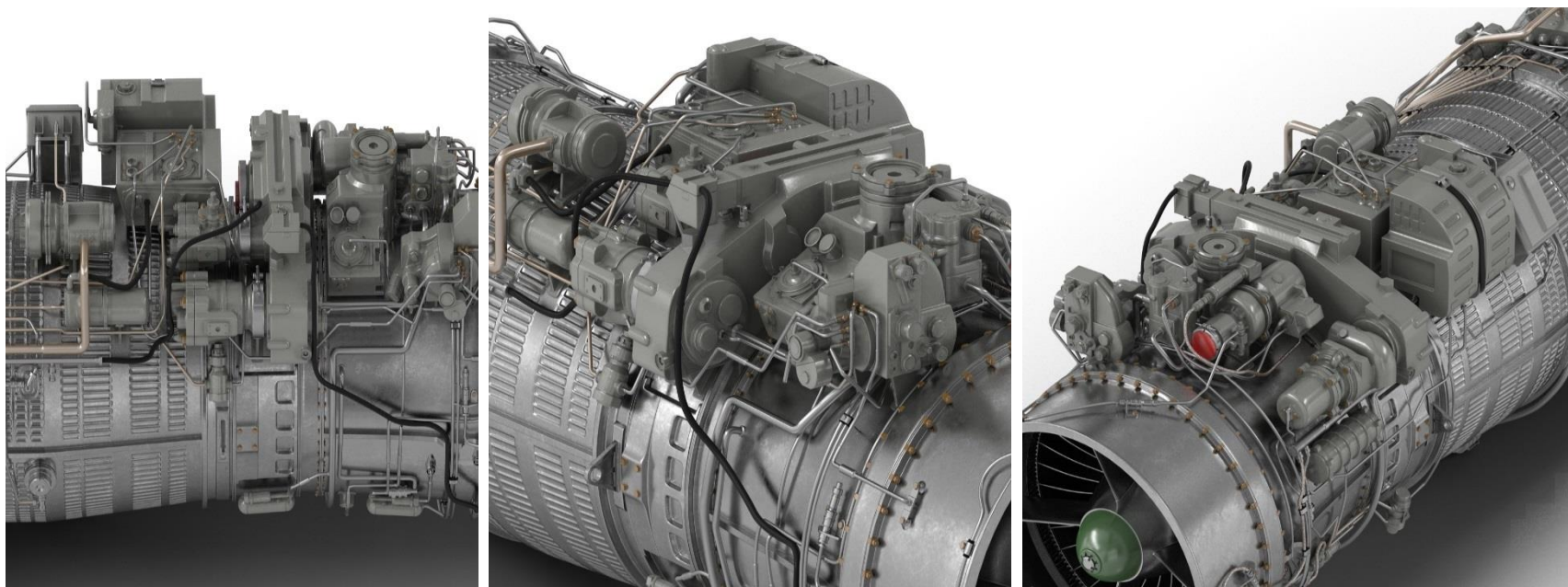
- Большое количество элементов;
- Загораживание;
- Блики, тени, переменная освещенность;
- Изменяемая информативность от ракурса.



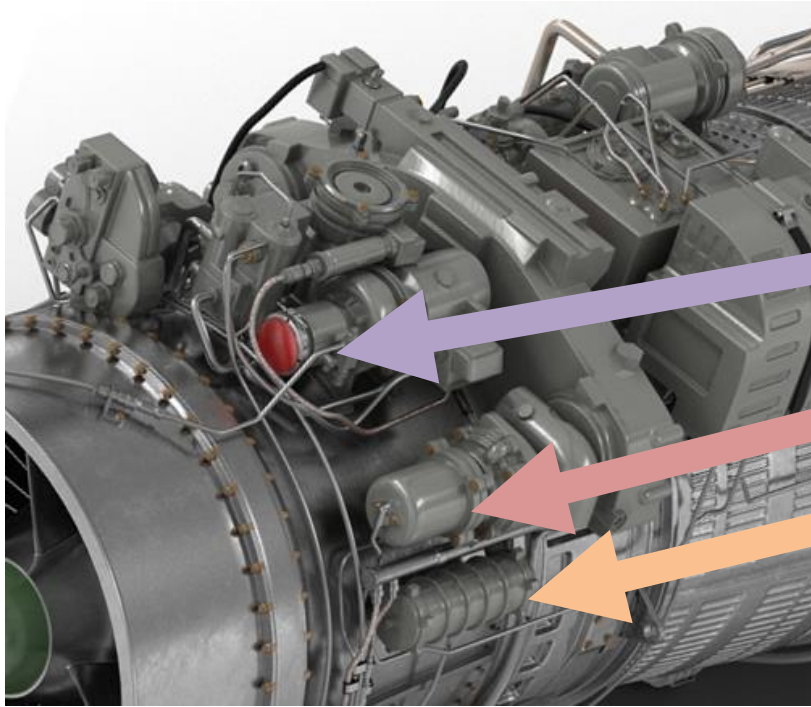
Фрагменты конструкции двигателя



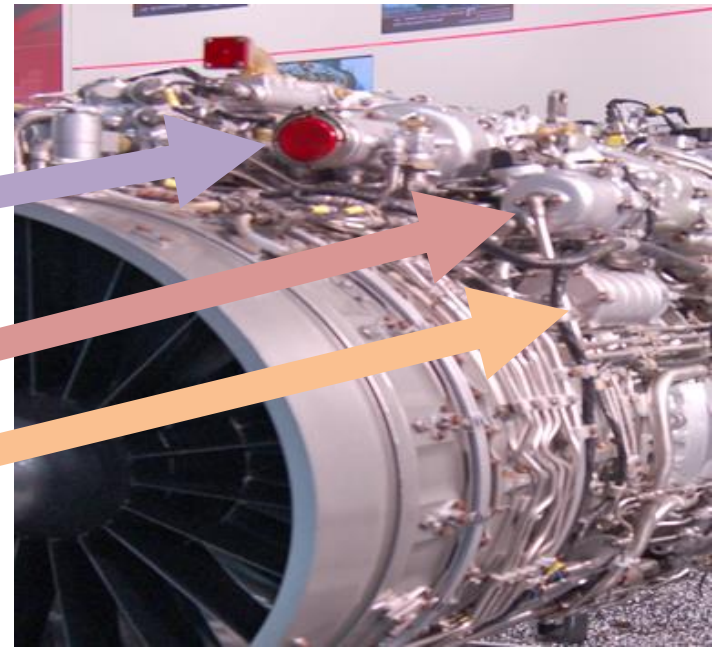
## **Эталонные цифровые модели объектов контроля. Фрагменты конструкции двигателя на 3D модели**



# **Проверка комплектации. Контроль наличия установленных элементов на основе идентификации с 3D моделью**

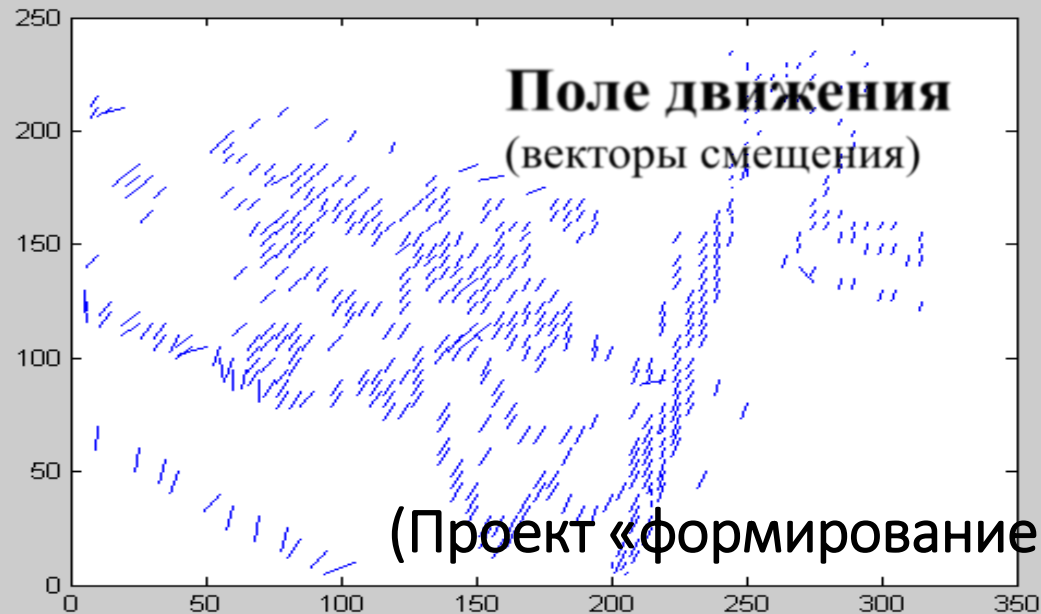
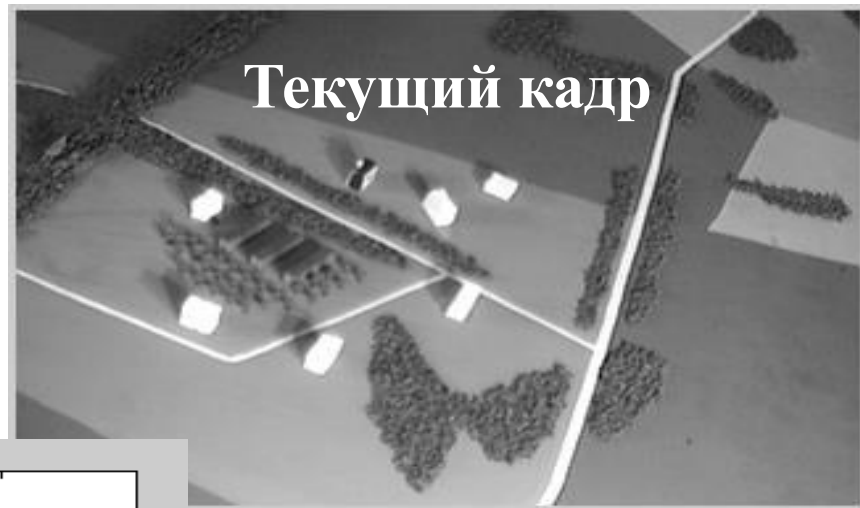


**3D модель**



**Реальная конструкция**

## Формирование 3D модели рельефа на «проходе»

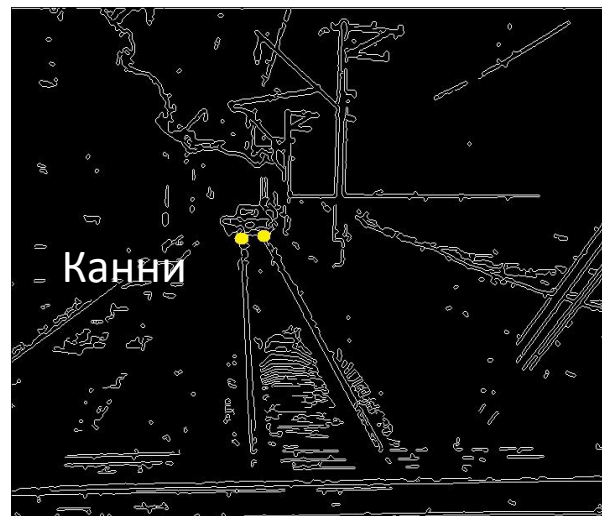
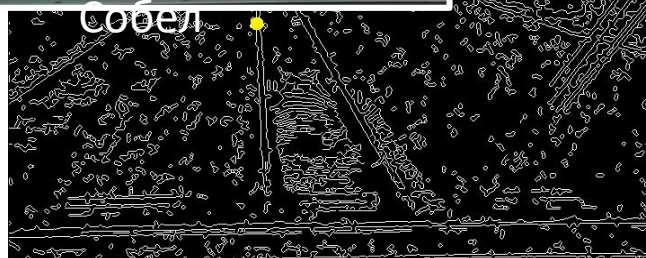


Векторы смещений  
характерных точек на 2-х  
кадрах позволяют оценить  
дальность до  
соответствующих точек  
наблюдаемой сцены

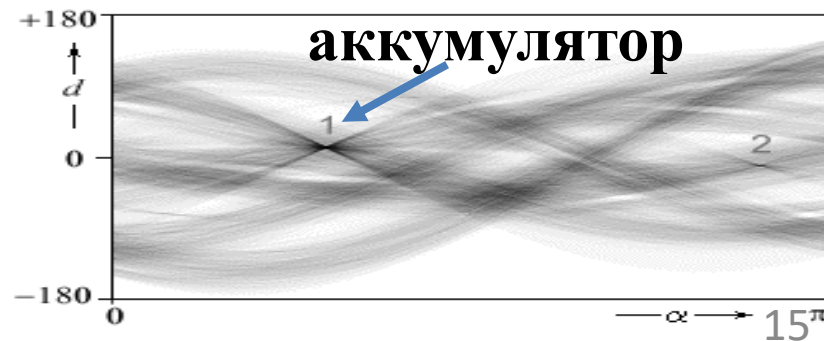
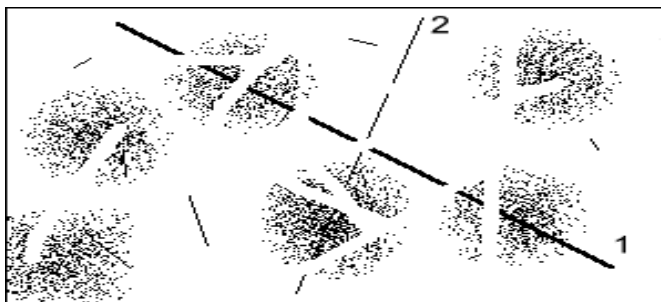
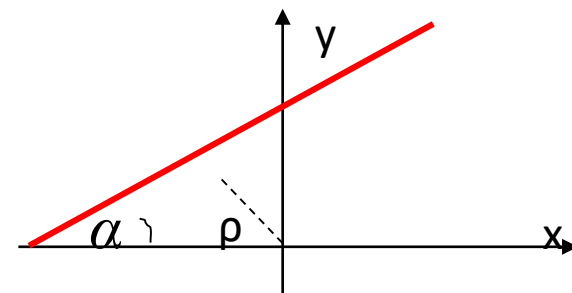
(Проект «формирование 3D карты». МАИ)



## Выделение контуров

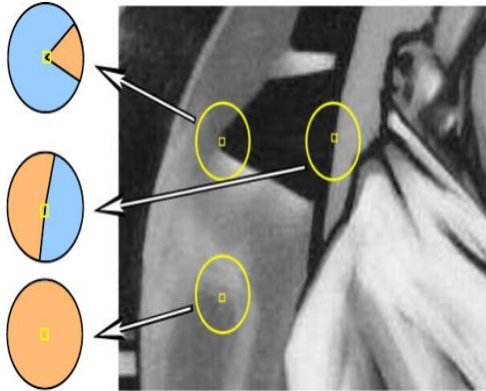


## Выделение отрезков прямых преобразованием Хафа

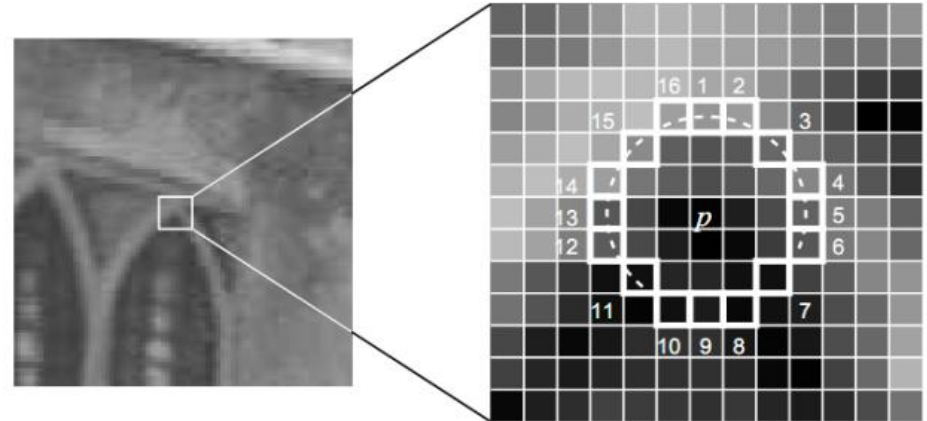


# Выделение углов

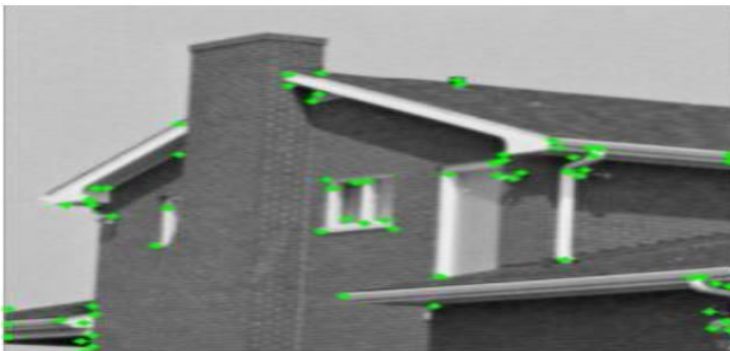
Детектор SUSAN



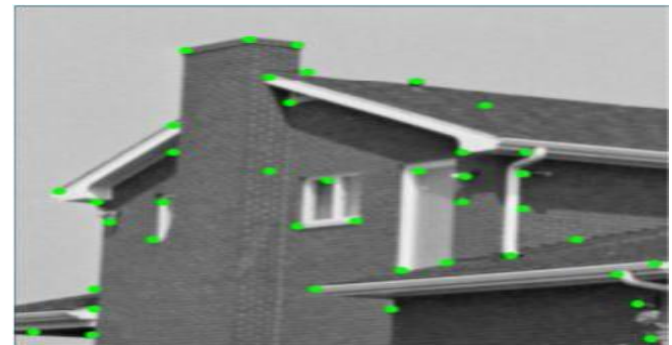
Детектор FAST



Plessey (Harris)



Ferstner



# Поиск объектов на основе сопоставления текущих и 3D эталонных изображений

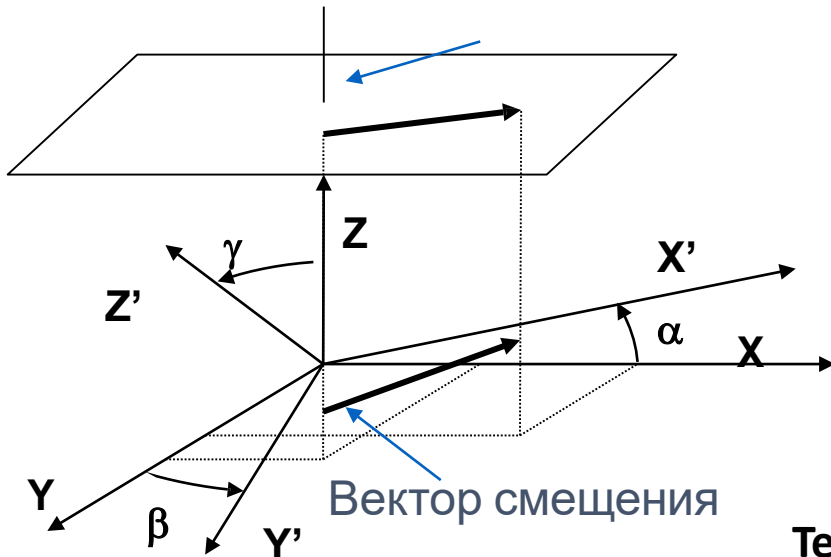
(Проект для Чонг. Университета Республики Кореи. МАИ)

## 3D эталон

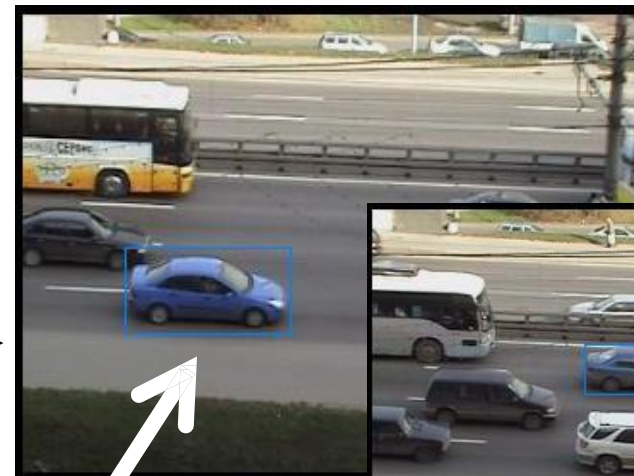
(из имеющейся базы данных)



Плоскость изображения



## Проекция эталона



Текущее  
изображение



## Восстановление 3D рельефа по стереопаре



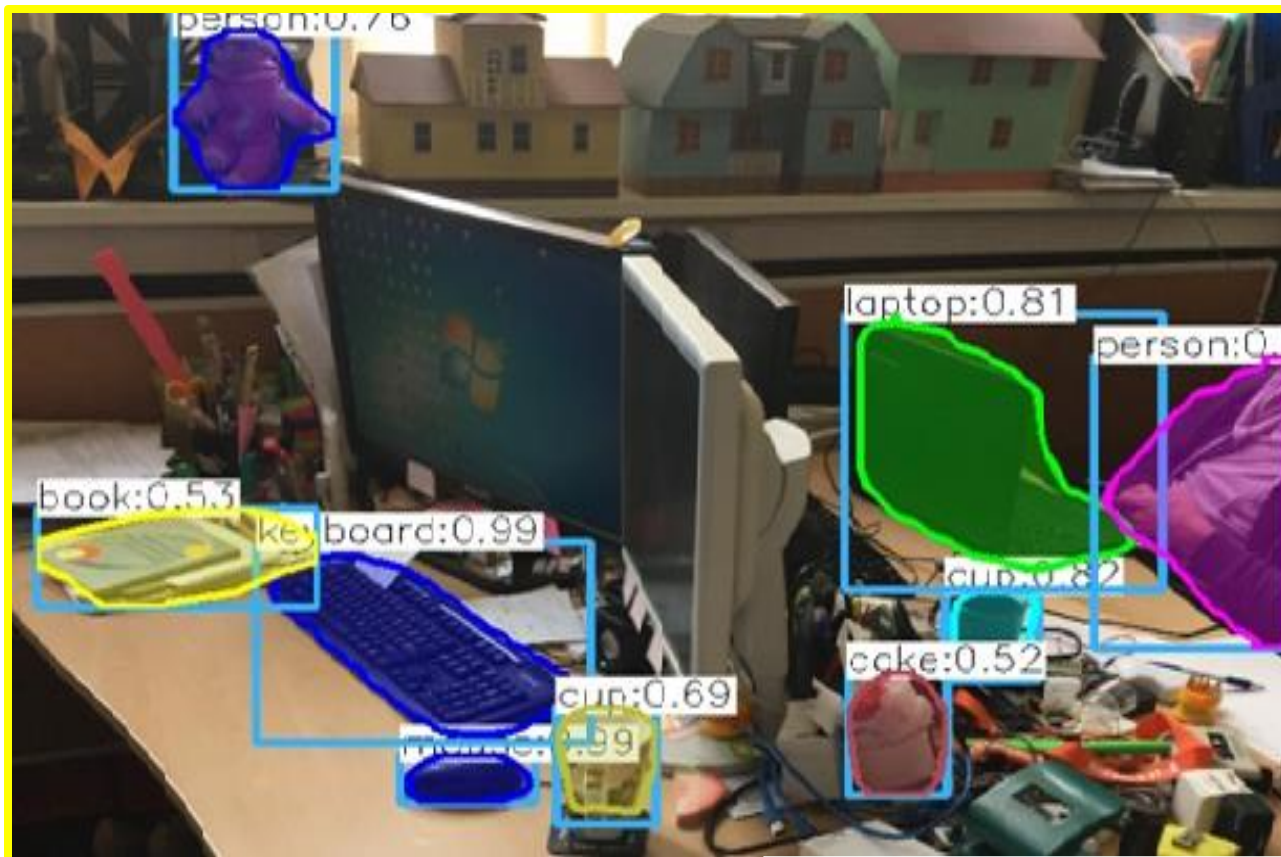
(Проект «Стереозрение планетохода». МАИ)



База	500 мм
Высота установки камеры	1200 мм
Макс. Дальность	5000 мм
Угол зрения	52°
Угол наклона	30°
Клиренс	250 мм

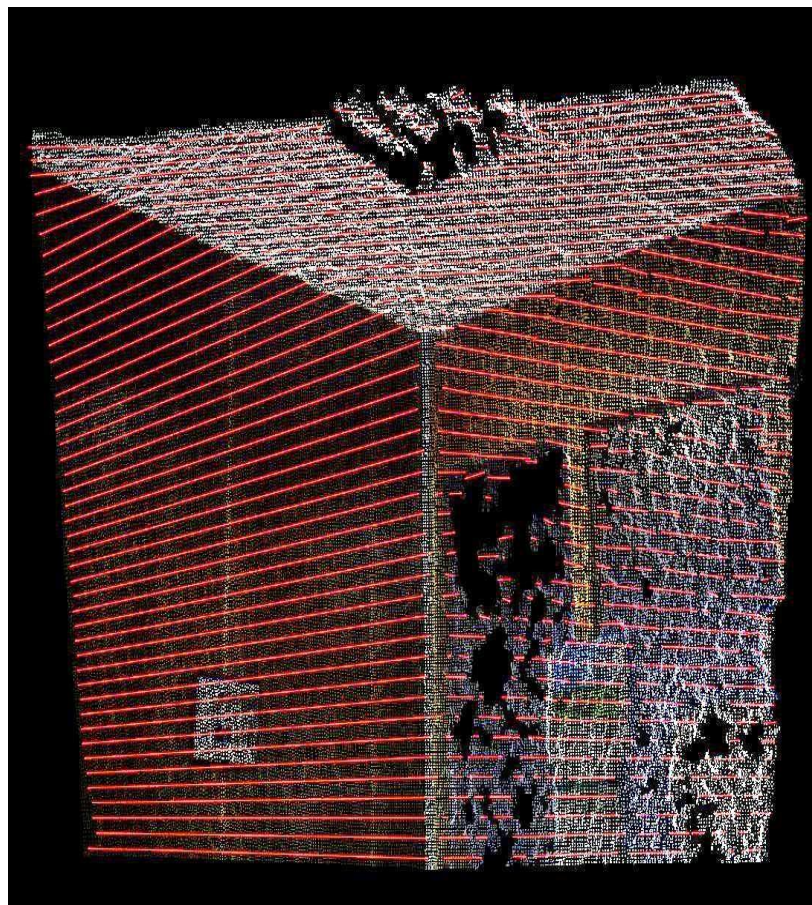
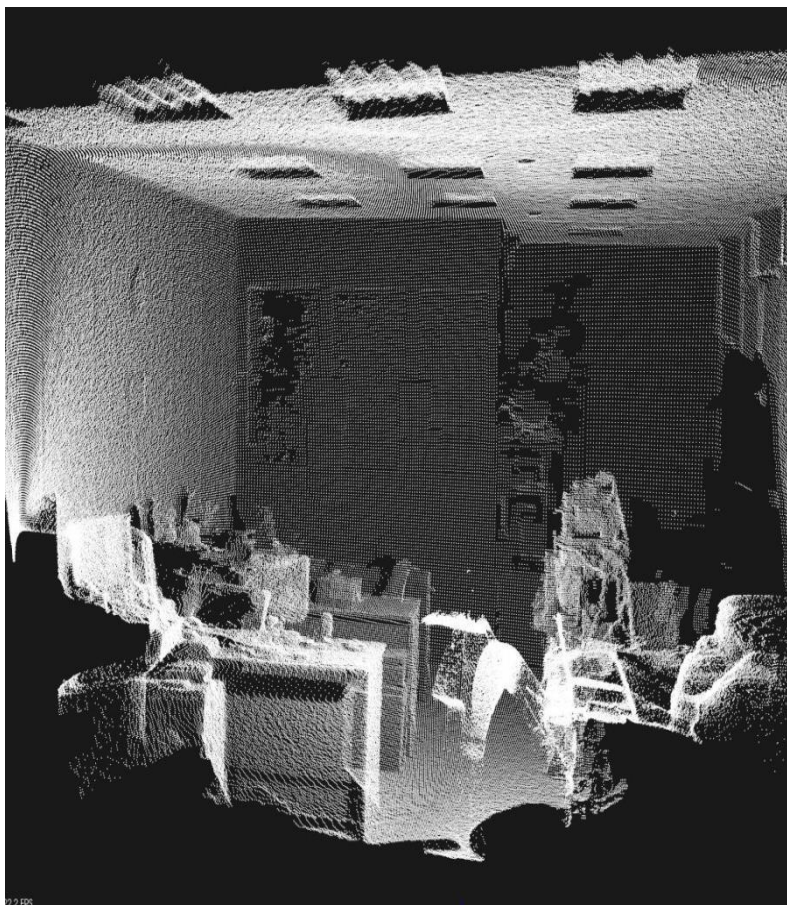


## Распознавание объектов с помощью нейросетей



Nets- Mask RCNN/Yolo  
v3

## Восстановление формы объектов с помощью лазерного сканирования



Восстановленные интерьеры помещений



## Поиск ошибок сборки с помощью корреляционного метода на 2D изображениях

Для выявления отличий на эталонном ( $RI$ ) и текущем ( $CI$ ) изображениях используется корреляционная функция вида:

$$K_{K_1}(di, dj) = \frac{1}{i_{\max} j_{\max}} \sum_{i=1}^{i_{\max}} \sum_{j=1}^{j_{\max}} \{RI(i, j) - M[RI]\} \cdot \{CI(i + di, j + dj) - M[CI]\}$$

$di, dj$  – смещения,  $RI(i, j)$  – эталонное изображение,

$CI(i, j)$  – текущее изображение,

$M[.]$  – математическое ожидание,  $i, j$  – координаты,

$i_{\max}, j_{\max}$  – размеры изображения

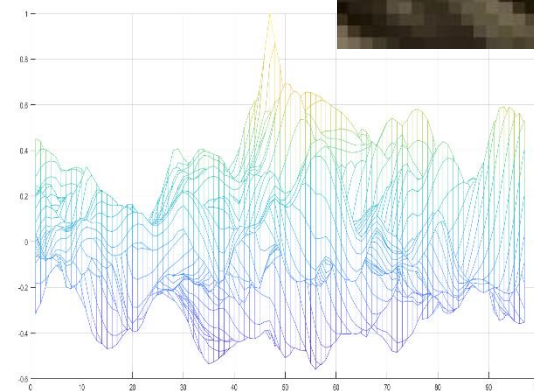
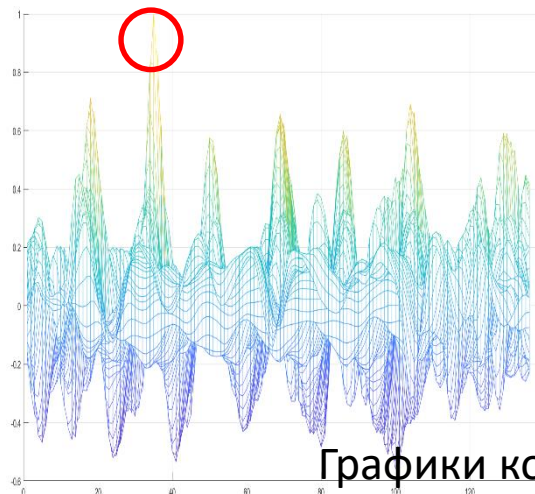
**Экстремум функции определяет «похожесть» сравниваемых изображений.**

# Модельный эксперимент 1

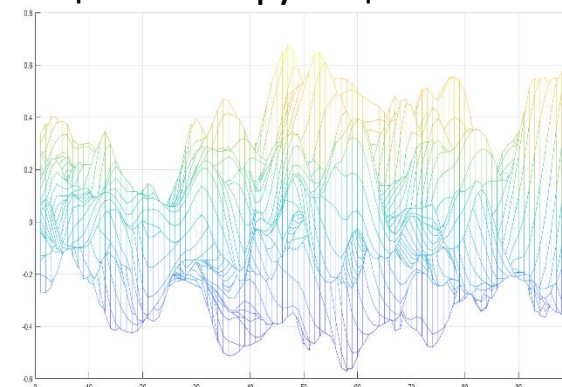
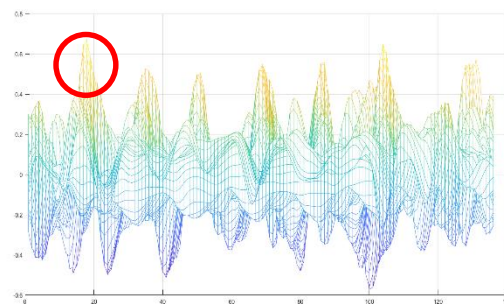
Эталонная  
сборка



Брак

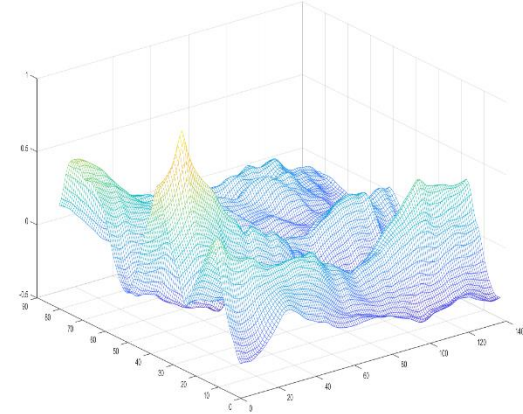
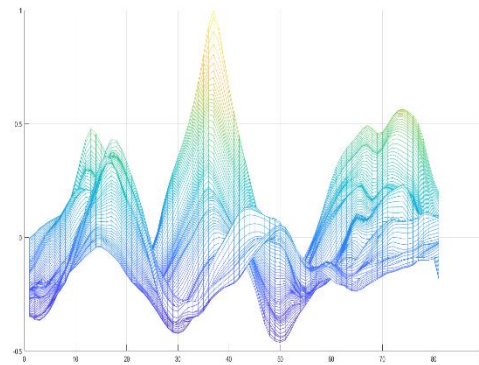


Графики корреляционной функции

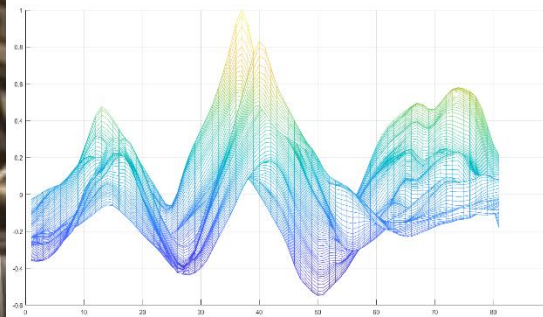


## Модельный эксперимент 2

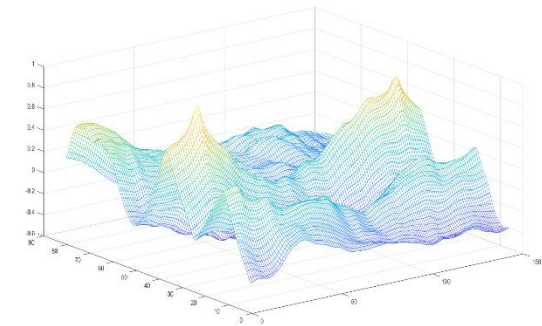
Эталонная сборка



Брак



Графики корреляционной функции



# **Возможности научно-технической группы МАИ - МГТУ**

## **1. Разработка предложений по реализации автоматического контроля**

**фото-видео изображений в сравнении с эталонными образами:**

- Уточнение задачи;
- Подготовка плана работ;
- Подготовка предложений к реализации.

## **2. Разработка предложений по формированию 3D образов объектов и реализации автоматического контроля для соответствующих типов объектов:**

- Уточнение задачи;
- Объемные конструкции – размерность уточняется;
- Конструкции радио-электромонтажа - – размерность уточняется;
- Подготовка плана работ и предложений к реализации

## **Предлагаемый проект**

(6-8 месяцев)

1. Провести обзор методов и средств визуального контроля с учетом специфики предприятия;
2. Определить и ранжировать основные направления исследований;
3. Согласовать требования к визуальному контролю;
4. Разработать (по согласованию с Заказчиком) демонстрационный комплекс визуального контроля, например, для восстановления формы фрагмента изделия или описание формы (уравнения границ, размеры) плоской детали;
5. Подготовить материалы к ТЕХНИЧЕСКОМУ ПРЕДЛОЖЕНИЮ