

# Принцип работы трехмерного сканера

# Принцип работы 3D сканера

- **Что делает 3D-сканер**

3D-сканер – устройство, предназначенное для воспроизведения формы какого-либо физического объекта в цифровом формате с целью построения его виртуальной трехмерной модели.

- **Как работает 3D-сканер**

В ходе процедуры 3D-сканирования собирается массив цифровых данных. Он представляет собой набор точек, каждая из которых имеет строго определенные координаты в пространстве – «облако точек». Компьютерная программа соединяет рядом расположенные точки и выстраивает цифровую копию сканируемого предмета, точно воспроизводящую его геометрические формы.

# Какие задачи решает 3D-сканирование?

- Реверс-инжиниринг (обратное проектирование)
- Контроль отклонений геометрии
- Измерение зданий и помещений для реконструкции/перепланировки
- Инженерные изыскания
- Цифровое архивирование
- Подготовка для визуализации объектов

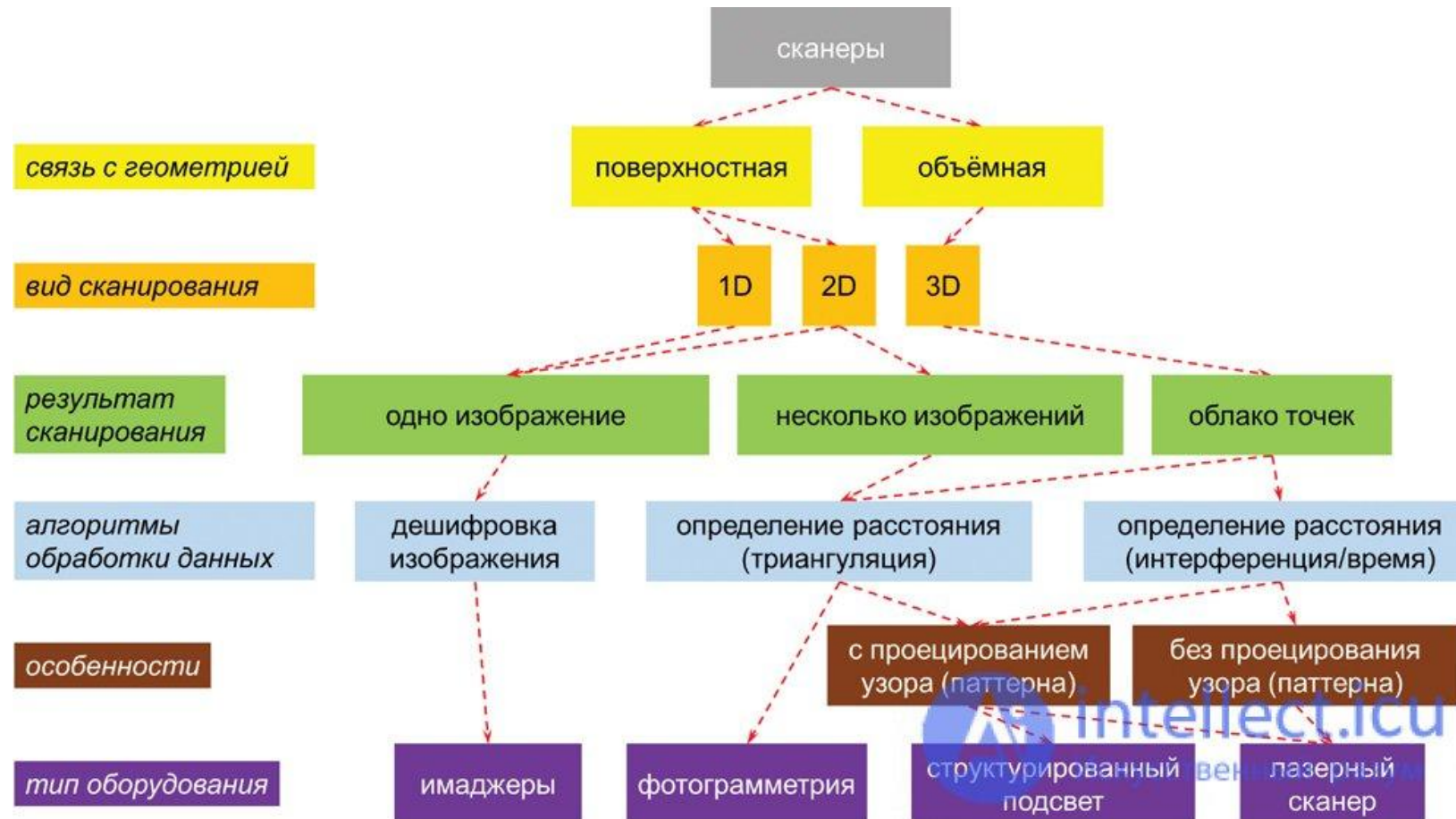


# Каковы преимущества 3D-сканеров?

- Высокая точность, скорость и надежность 3D-сканирования
- Полноценный детализированный анализ полученных данных
- Возможность получения и редактирования цифровой модели сложных изделий с минимальными временными затратами
- Сокращение производственного цикла и снижение затрат
- Гибкость, удобство и простота в эксплуатации
- Минимизация человеческого фактора
- Возможность автоматизации



# Схема технологии сканирования



# Виды сканеров

## • Контактные 3D-сканеры

Сканеры этого вида изучают объект напрямую – через физическое взаимодействие. В момент исследования предмет находится на специальной поверочной плите, отполированной и отшлифованной до нужной шероховатости поверхности. Если вещь несимметричная или не может лежать ровно на одном месте, ее удерживают специальные зажимы (тиски).

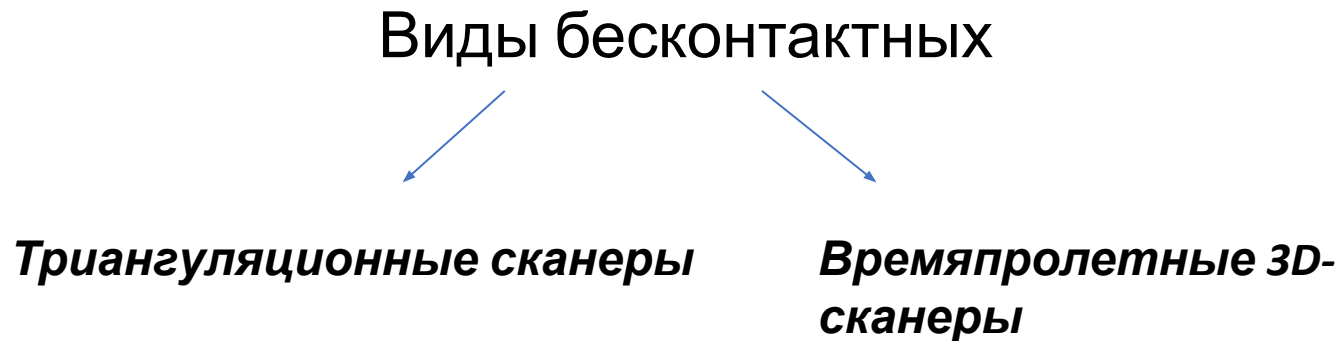


Координатно-измерительная машина – яркий пример 3D-сканера контактного типа.

# Виды сканеров

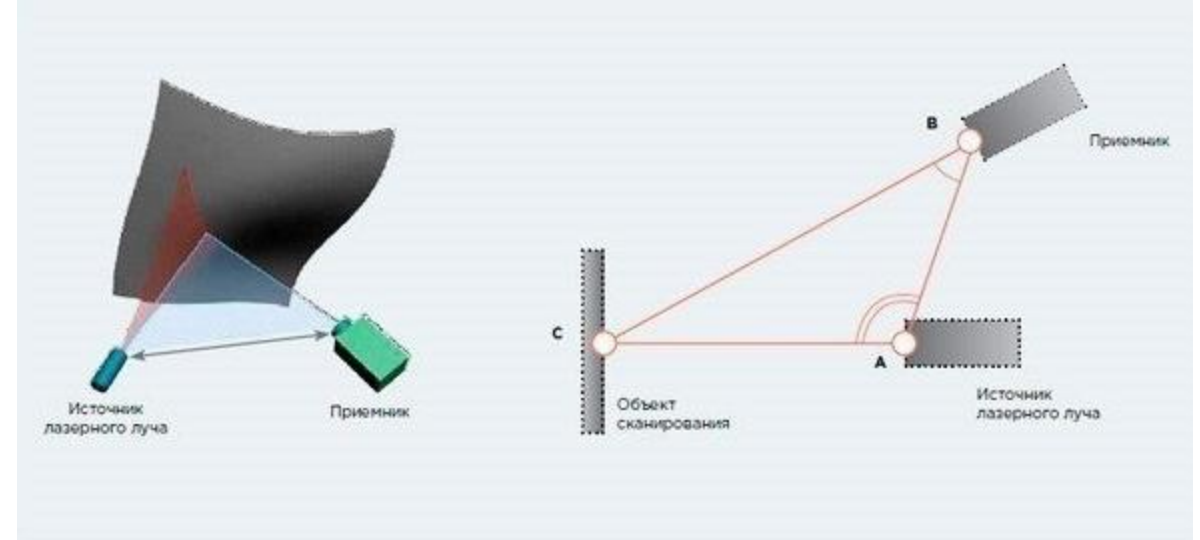
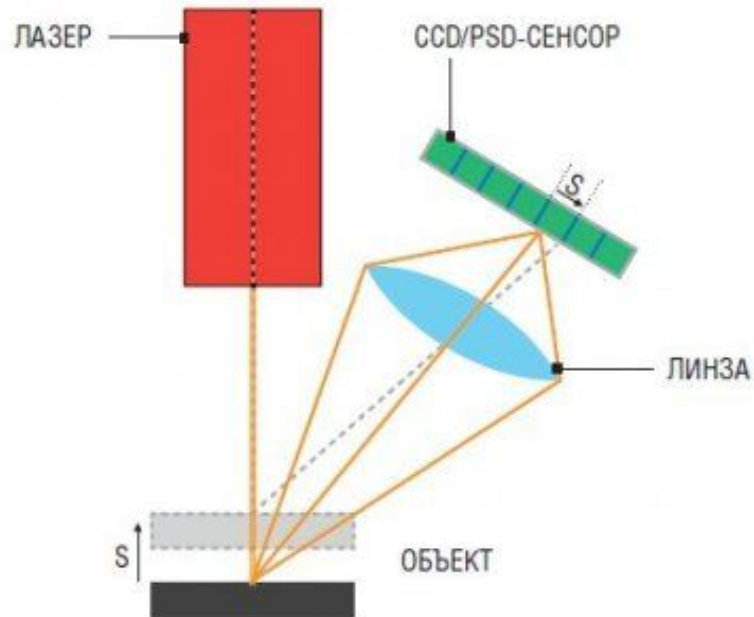
- **Бесконтактные активные 3D-сканеры**

Для работы активного сканера используются либо обычный свет, либо определенный вид излучения. Именно через проходящее излучение или отражение света, объект подвергается цифровому исследованию. Случается применение рентгеновских лучей или ультразвука



# Триангуляционные сканеры

Эти приборы используют для зондирования объекта лазерный луч. Сканер посылает луч на предмет, а отдельно зафиксированная камера заносит данные о расположении указанной точки. По мере движения лазера по поверхности, поле зрения камеры фиксирует точку в разных местах. Триангуляционными их назвали потому, что лазерный излучатель, конечная точка и сама камера, совместно образуют треугольник.



# Лазерная технология сканирования

В каких отраслях применяются лазерные дальномеры?

- Строительство и архитектура
- Железнодорожная отрасль
- Нефтегазовая промышленность
- Энергетика
- Атомная промышленность
- Metallургия
- Авиакосмическая индустрия
- Судостроение
- Автомобилестроение
- Культура, исторические ценности



Осмотр и обмер нефтяных резервуаров



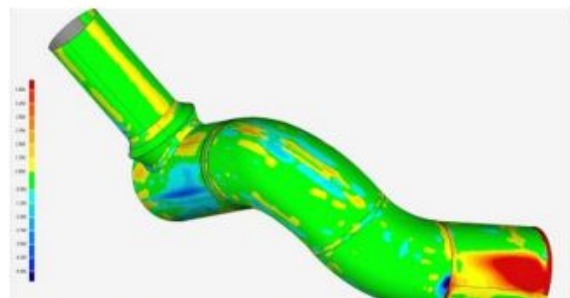
3D-сканирование помещения с целью оптимального размещения нового оборудования



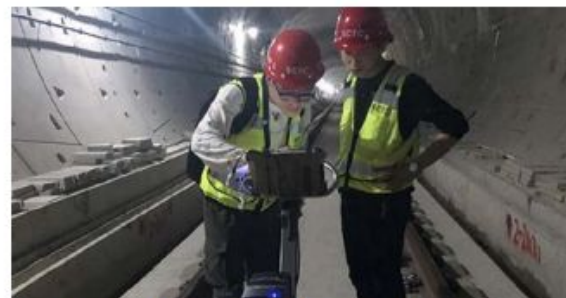
Контроль геометрии оборудования ГЭС



Восстановление памятника архитектуры



Мониторинг технического состояния строящихся и эксплуатируемых критических объектов инфраструктуры реактора АЭС



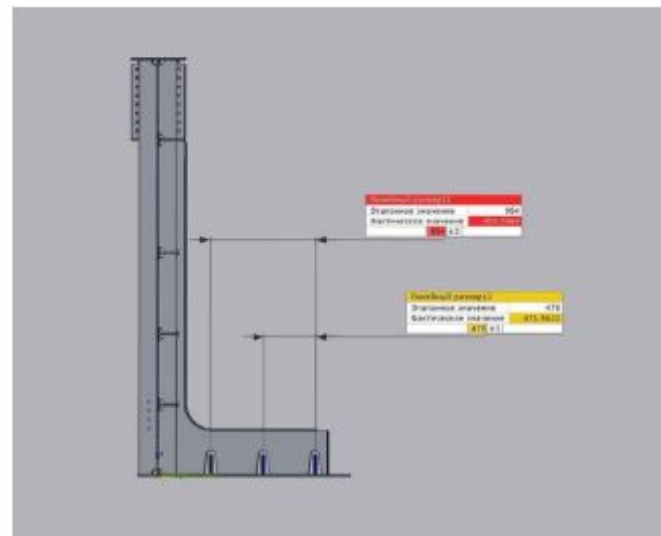
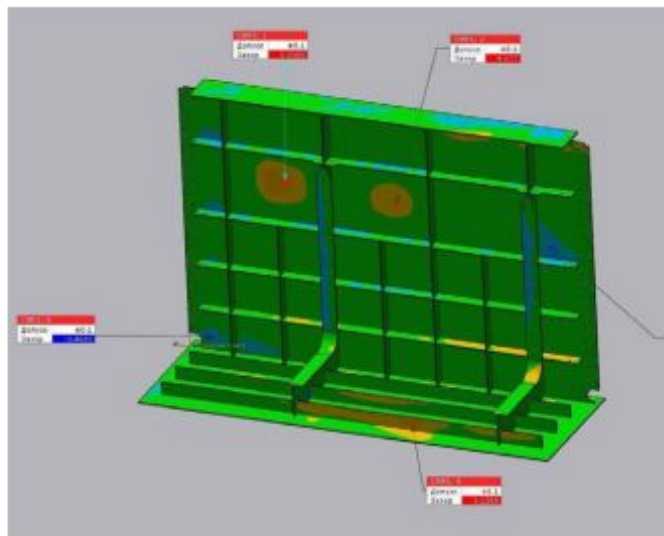
Контроль безопасности при строительстве железнодорожного туннеля



[ЗАКАЖИТЕ ДЕМОНСТРАЦИЮ ОБОРУДОВАНИЯ](#)



# Контроль геометрии конструкции мостовой секции



## Задача

Контроль каждой секции моста на отклонения геометрии, сканирование элементов моста непосредственно в цеху

## Решение

Использование наземного лазерного 3D-сканера [FARO Focus S150](#) и ПО для контроля геометрии [Geomagic Control X](#)

## Результат

- Повышение точности сборки и высокая достоверность данных (погрешность модели всего 1,6 мм)
- Снижение вероятности ошибок, связанных с человеческим фактором
- Возможность выполнить проверку всех узлов конструкции, а не только отдельных элементов
- Более высокое качество контрольной операции: благодаря цифровой модели можно отследить гораздо больше размеров и параметров
- Возможность оценить плоскостность листа или перпендикулярность одного объекта относительно другого, что невозможно при использовании традиционных методов измерений
- Время проверки секции – 1 час 20 минут
- Модель содержит 14,5 млн точек

# Создание точной 3D-модели нефтяной установки



## Задача

Создание полной цифровой документации и контроль размеров плавучей установки для добычи, хранения и отгрузки нефти Mystras, которая функционирует в Гвинейском заливе

## Решение

3D-сканирование объекта с использованием сканера FARO Focus и обработка результатов в ПО FARO SCENE

## Результат

- Создана точная комплексная 3D-модель установки вместимостью 76053 тонн, имеющей чрезвычайно сложную конструкцию
- Полученный трехмерный скан позволил объединить все существующие двухмерные чертежи, базовые и проектные, в единый набор основных инженерных записей (MERS)
- Выполнена стандартизация всех инженерных записей MERS в соответствии с проектными стандартами, нормативами на чертежи и требованиями к кодированию данных заказчика
- Сокращение сроков ремонта и модификации оборудования
- Высокая скорость и точность сканера FARO, а также его компактность и малый вес позволили достичь наилучших результатов при работе в ограниченном пространстве
- Возможность проводить удаленные виртуальные экскурсии по отсканированной территории

# Восстановление Нотр-Дам-де-Пари



## Задача

Восстановление собора Парижской Богоматери, пострадавшего от пожара 15 апреля 2019 года

## Решение

- Тщательное высокоточное 3D-сканирование с помощью устройств FARO серии Focus S для оценки повреждений
- Построение цифровой карты собора целиком, в особенности его частей, получивших самые сильные повреждения

## Результат

- За один день с помощью самых современных 3D-сканеров были получены цветные сканы, снятые с более чем 300 позиций и содержащие от 30 до 40 млрд точек
- Вместе с данными, собранными до пожара, удалось получить самую полную и точную 3D-карту Нотр-Дам за всю его историю, состоящую из 50 млрд точек. Особенно точно воссозданы деревянный каркас и шпиль, уничтоженные пламенем

# Сохранение культурного наследия перед реставрацией



## Задача

- Создать точную копию памятника в виде цветного облака точек
- Габаритные размеры объекта:  
7000 x 3000 x 10000 мм

## Решение

3D-сканирование и обработка данных с помощью лазерного сканера [Faro Focus S150](#) и ПО FARO SCENE

## Результат

- Получено облако точек памятника с установками сканера, размещенными в единой системе координат
- Точность данных сканирования - 3 мм
- Сканирование выполнено за один день

# Времяпролетные 3D-сканеры

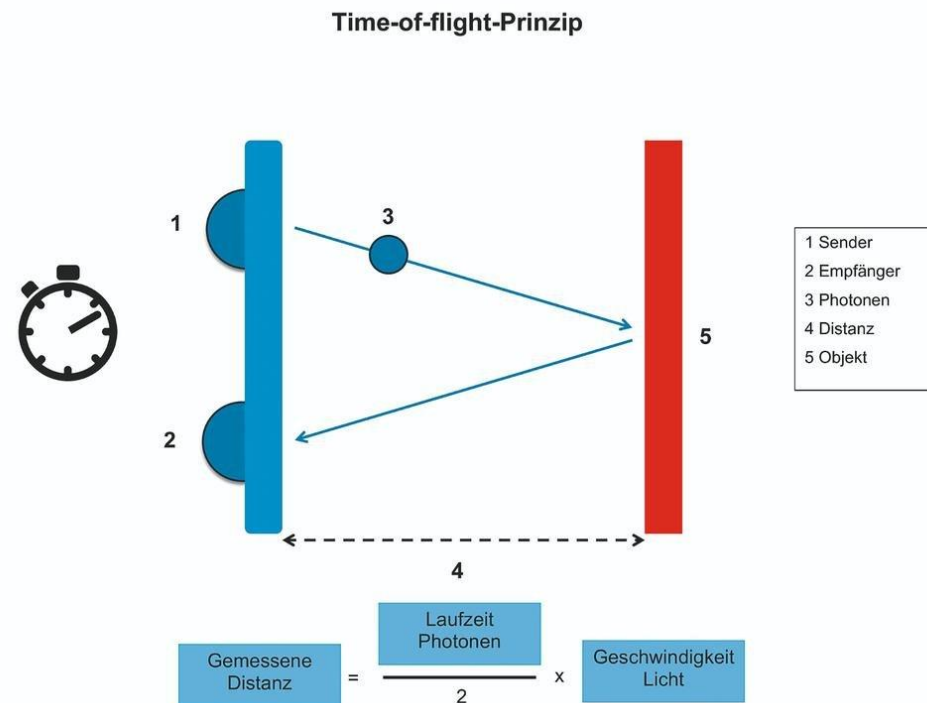
- Это активный вид сканера, который для исследования объекта использует лазерный луч. В его основе лежит времяпролетный дальномер. Именно он определяет расстояние до поверхности, рассчитывая время, за которое лазер пролетел туда и обратно. В этом случае лазерный луч используется, как световой импульс, время отражения которого и измеряется при помощи детектора. Скорость света, как известно, величина постоянная, поэтому, зная, за какое время луч совершает пролет туда-обратно, можно без труда вычислить расстояние от сканера до поверхности изучаемого предмета.
- Времяпролетные 3D-приборы сканирования за одну секунду способны измерить до 100 000 точек.



! Когда работа делается удаленно: от 1-3 метров

# Технический принцип действия времяпролетного сканера

- Поскольку скорость света ( $c$ ) – величина постоянная, измерив время пролёта лазерного луча туда и обратно, можно определить расстояние, на которое переместился свет, которое будет в два раза больше расстояния между сканером и поверхностью объекта. Допустим, ( $t$ ) – это время пролёта луча туда и обратно, тогда расстояние равняется  $c(t/2)$ . Точность времени пролёта лазерного луча 3D-сканера зависит от того, насколько точно мы можем измерить само время ( $t$ ): для преодоления лазером расстояния в 1 миллиметр необходимо приблизительно 3,3 пикосекунды.



Ссылка:

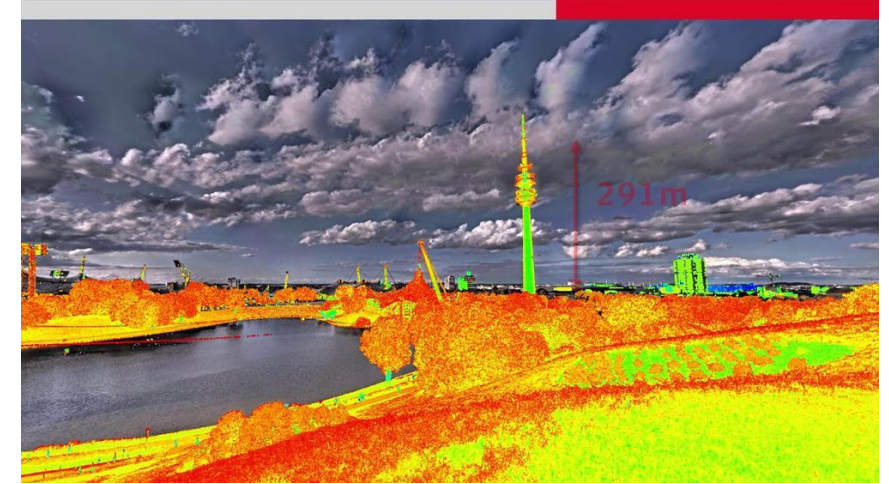
<https://youtu.be/Uym4RA3hmW4>

# Времяпролетные делятся на два типа

## 1. Лазерные импульсные 3D-сканеры :

Сканеры на основе лазерных импульсов, также известные как времяпролетные сканеры, основаны на очень простой концепции: **нам достоверно известна скорость света.** Таким образом, если известна длительность времени, в течение которого лазер достигает объекта и отражается от датчика, легко вычисляется расстояние от датчика до объекта. Эти системы используют схемы работающие с точностью до пикосекунд, чтобы измерить время, которое требуется миллионам импульсов лазера для возврата к датчику, и рассчитать расстояние. Вращая лазер и датчик (обычно с помощью зеркал), сканер может сканировать пространство до 360 градусов вокруг себя.

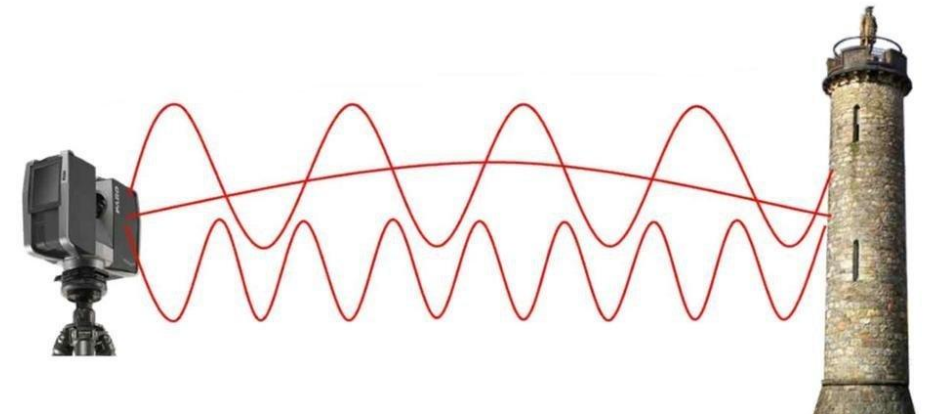
Рассчитаны на дальние расстояния



## 2. Фазовые лазерные 3D-сканеры

- еще один тип технологии 3D-сканеров, основанных на времяпролетном принципе, и концептуально работают аналогично импульсным сканерам. В дополнение **к пульсации лазера, эти системы также модулируют мощность лазерного луча, и сканер сравнивает фазу отправленного и возвращенного к датчику сигнала.** Измерения сдвига фаз обычно более точные, но фазовые сканеры не так удобны для сканирования на большие расстояния, как импульсные. Времяпролетный лазерный 3D-сканер с этой технологией может сканировать объекты на расстоянии до 1000 м, тогда как сканеры с фазовым сдвигом лучше подходят для сканирования объектов на расстоянии до 100 м.

**Фазовые сканеры используют безопасный для глаз лазер, при этом скорость измерений превышает скорость импульсных сканеров в 10-100 раз.**



# Сравнение импульсных и фазовых сканеров

Тип сканера	Плюсы	Минусы
Импульсный	<ul style="list-style-type: none"><li>• дальность до 1000 м</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• менее точные</li><li>• более медленное получение данных</li><li>• более шумные</li><li>• опасны для глаз</li></ul>
Фазовый	<ul style="list-style-type: none"><li>• более точные</li><li>• более быстрое получение данных</li><li>• менее шумные</li><li>• безопасны для глаз</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• обычная дальность не более 100 м</li></ul>



# Преимущества времяпролетных сканеров

**Суммируя информацию о принципе работы и различиях двух типов времяпролетных сканеров, выделим их основные преимущества:**

- 3D-сканирование миллионов точек за одно сканирование — до 1 миллиона точек в секунду;
- Большая область сканирования (до 1000 метров);
- Хорошая точность и разрешение, в зависимости от размера объекта;
- Бесконтактный принцип работы для безопасного сканирования всех типов объектов;
- Портативность.

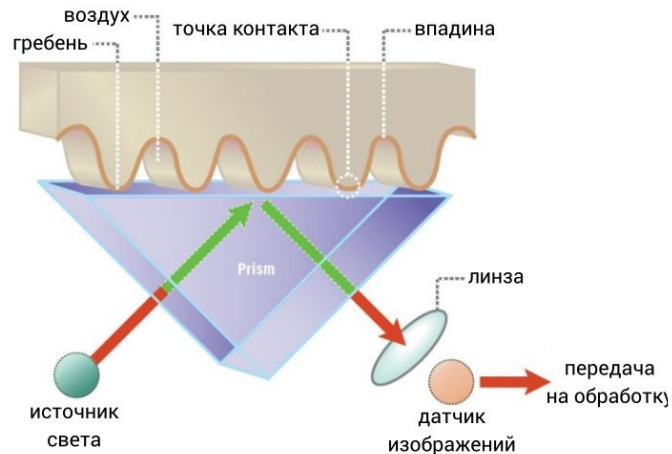
# Механизмы 3-д сканирования

## Механизм 3d-сканера имеет три различные формы:

- Первый вариант подходит для сканирования цельных плоских или объемных поверхностей. Каретка сканера оснащена щупом, который зафиксирован в перпендикулярном направлении. Исследование объекта происходит в момент движения щупа вдоль каретки.
- Для изучения внутреннего пространства предмета, его рельефа и углублений подходит сканер, оснащенный высокоточным датчиком. Который способен воспроизводить сложнейшие математические вычисления.
- Использование двух вышеописанных методов. Манипулятор с датчиком совмещают с кареткой, это дает возможность сканировать крупные предметы, имеющие сложную конструкцию или, предметы, перекрывающие друг друга.

# Оптический сканер

- Оптический сканер представляют собой ручное оборудование, устанавливаемое на штатив.
- Принцип работы оптического сканера заключается в съемке объекта, на который направляется специальная подсветка, с помощью одной или нескольких камер с разных ракурсов. Некоторые модели сканеров воспроизводят изображения с цветной текстурой. Оптический 3D-сканер состоит из видеокамеры и проектора. Устройство подключается к компьютеру. На сканируемый предмет проецируется некий контрастный узор. Видеокамера, расположенная на определенном расстоянии от предмета, фиксирует изображение и передает в ПО, которое по искажениям узора формирует 3d-модель.



<https://youtu.be/IOzG44RkoN0>

# Области применения оптических лазерных сканеров

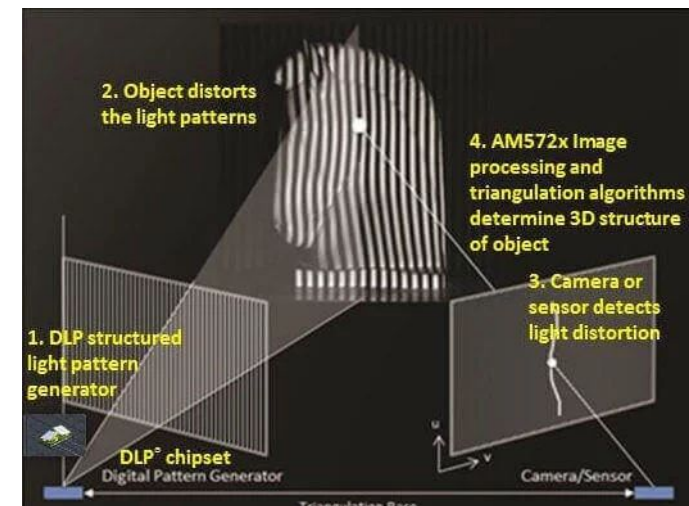
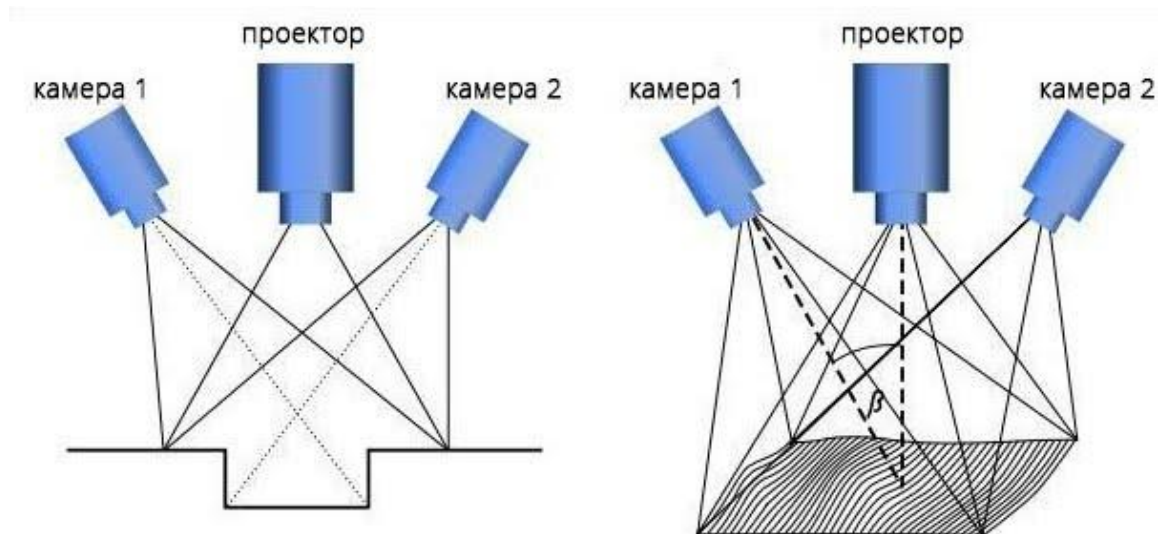
3 D-сканеры на основе видеокамер есть как более-менее универсальные, так и узкоспециализированные. В целом, эта технология сканирования применима практически во всех областях, например:

- метрологический контроль;
- реверс-инжиниринг;
- стоматология;
- медицина;
- музейное дело, реставрация;
- сувенирное производство;
- криминалистика.



# Оптический сканер: принцип работы

- Принцип работы оптических 3D-сканеров прост, процесс сканирования заключается в подсвечивании объектов создаваемым проектором структурированным светом и съемки отраженного света с определенных ракурсов. Объект сканирования засвечивают световой полоской или паттерном – эталонным монохромным рисунком. Перерабатывая отраженный сигнал и высчитывая расположение точек его поверхности, на основе разницы между спроецированным и отраженным изображением, компьютер получает информацию для построения 3D-модели



# Принцип работы:1. Самый простой

- Самый примитивный вариант — одна фотокамера, а сканируемый объект располагается на контрастирующем фоне. Дальше необходимо либо камеру двигать вокруг объекта, либо поворачивать сам объект, трехмерная модель формируется по набору полученных снимков, а точнее — по массиву силуэтов на фоне. Качество сканирования минимально, для сложных объектов с выраженным рельефом не подходит — вогнутые области не будут распознаны.
- Так обычно работают приложения 3D-сканирования для смартфонов.

# Принцип работы: 2. С двумя камерами

- Другой способ пассивного сканирования — **стереоскопический**, работает по принципу, схожему с человеческим зрением. Две камеры одновременно фотографируют объект, и по различию изображений рассчитывается расстояния до точек поверхности.
- По массиву полученных данных выполняется построение 3D-модели. Более точная технология в сравнении с силуэтной, но для серьезной работы все равно не годится.

# Принцип работы: 3. С структурированным подсветом

- Структурированный свет — ключ к получению высокоточной модели. 3D-сканер состоит из видеокамеры и проектора, оба устройства подключены к компьютеру.
- На объект сканирования проецируется контрастный узор, например, черные и белые полосы.
- Видеокамера, расположенная на известном расстоянии от объектива проектора и направленная в ту же точку, фиксирует изображение и передает в ПО, которое по искажениям полос формирует цифровую модель поверхности объекта.
- В более продвинутых сканерах применяется две камеры, а бывает и больше.





# Структурированный подсвет

- Метод 3D-сканирования на основе структурированного подсвета (ССП) основан на проецировании узоров с чередующимися повторяющимися изображениями (паттернами) в виде линий, перекрестий, точек, звёздочек, параллельных или пересекающихся волнистых линий

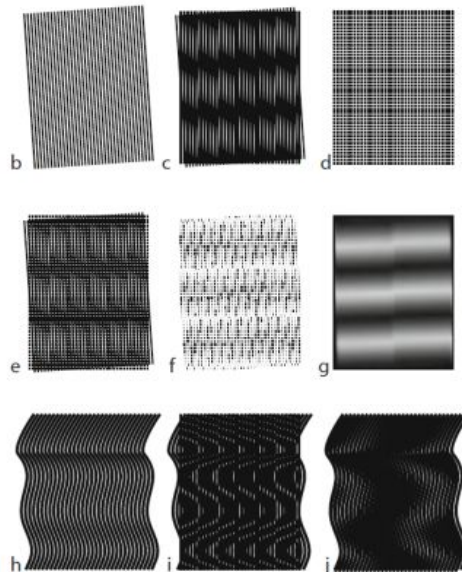


Рис. 2 – Примеры структурированного подсвета в виде проецируемого шаблона

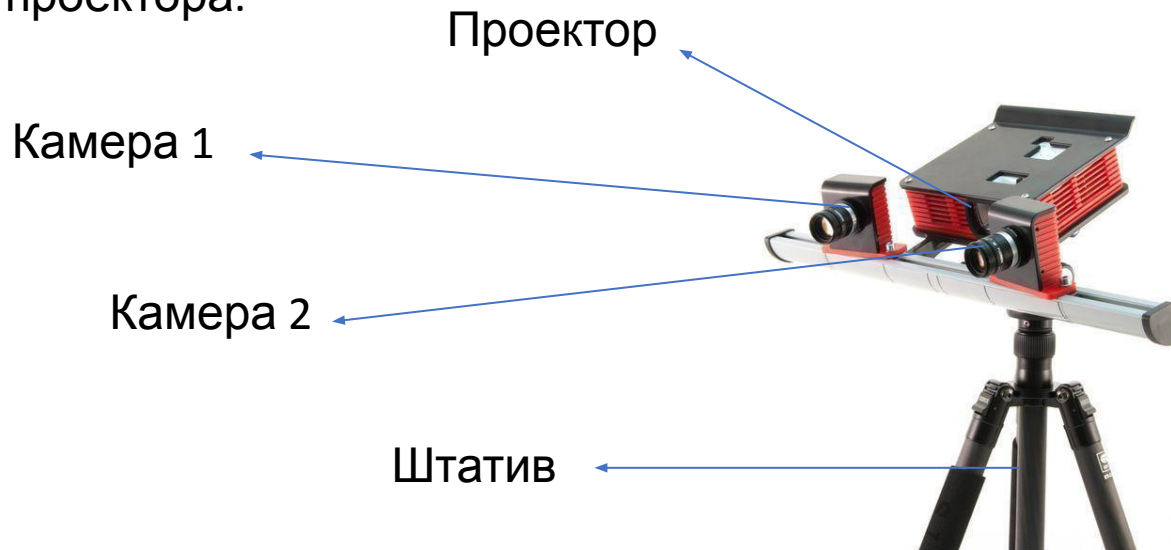
Таблица 1. Сводная таблица по механическим испытаниям

Группа задач	Название устройств	Применение
1	сканеры изображения	распознавание плоского изображения
2	сканеры штрихкодов	распознавание плоского изображения, с возможностью использования результата для поиска кода, скрытого за ним
3	фотоаппараты высокого разрешения и программное обеспечение (ПО) для фотограмметрии	распознавание объёмного объекта по изображениям, путём сопоставления отдельных точек нескольких изображений и реконструкции объекта, с возможностью использования результата для расчёта геометрических параметров, построения карты отклонения геометрических размеров (КОГР), численного моделирования, определения деформаций, оценки степени и значения повреждения
4	оптические/лазерные сканеры и ПО	определение положения точек в пространстве и реконструкция 3D-модели с возможностью использования результата для построения КОГР, численного моделирования, определения деформаций, оценки степени и значения повреждения, для создания интерактивных подвижных моделей

Отличие технологий сканирования (плоское, объёмное) в способе технического применения

# Стационарный 3-д сканер на основе технологии структурированного подсвета

- Для оптических 3D-сканеров, устанавливаемых на штатив, распространенный конструктив — направляющая, в центре которой зафиксирован проектор. Слева и справа — две камеры, положение которых может регулироваться. По такому принципу построены, например, обладающие хорошим соотношением цена-точность RangeVision Smart и Spectrum или высокоточные Aicon SmartSCAN-HE и StereoSCAN.
- Стационарные 3D-сканеры работают в постоянной связи с компьютером или ноутбуком, для подключения обычно используются интерфейсы USB для каждой камеры и HDMI — для проектора.



# Ручной оптический сканер

- Для выездного сканирования или работы с большими объектами используются [ручные 3D-сканеры](#), совмещающие в одном блоке камеры, проектор и электронику для базовой обработки получаемых данных. Такие сканеры должны обеспечивать сшивку «на лету» отсканированных фрагментов, когда оператор совершает обход вокруг объекта сканирования. Типичный кейс применения — полное или частичное сканирование автомобилей, мебели, могут использоваться и при создании [3D-копий фигур людей](#).
- Характерный пример ручного 3D-сканера со структурированной подсветкой — Artec Eva. Аппарат может работать автономно, с аккумулятором и планшетным ПК. Способен сканировать в цвете и при совмещении фрагментов дополнительно использует стыковку по текстуре, для большей точности.



# Технологии ручных сканеров

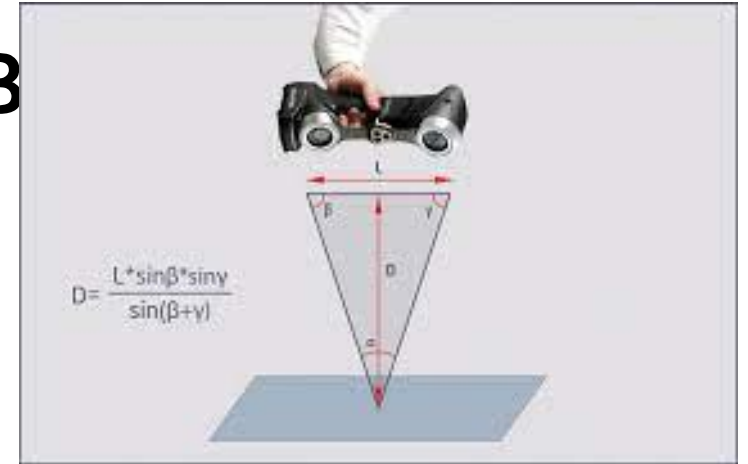
- структурированного подсвета :

для подсветки объекта сканирования используется проектор (световые линии или световой паттерн)

- сканеры с лазерной маской:

Для подсветки -источник лазерного излучения (лазерных линий)

Общее: Для захвата преломления световых линий или лазерных линий на геометрии изделия, обчёта данных и генерации виртуальных поверхностей по методу триангуляции используются две камеры с фиксированным углом схождения объективов.



# Сканеры с лазерной маской- это также оптические сканеры!!!!

- Часто сканеры с лазерной маской называют лазерными сканерами, но это не совсем верно, т.к. это оптические устройства, так же использующие две камеры для захвата геометрии.

# Преимущества ручных сканеров

- Ручные мобильные сканеры обладают минимальными ограничениями по портативности и габаритам изделий. В отличие от сканеров на шарнирных манипуляторах у ручных 3D-сканеров нет привязки к системе координат, нет нуля координат. При работе с маркерами ручные сканеры не восприимчивы к производственным вибрациям.

# Технология создания скана

3D-сканеры при сканировании делают снимки (кадры; фреймы от английского «frames»). Снимки изделия с разных ракурсов затем объединяются в единую модель. Объединение кадров осуществляется несколькими методами:

- по текстуре (цвету объекта сканирования);
- по геометрии (характерным геометрическим особенностям);





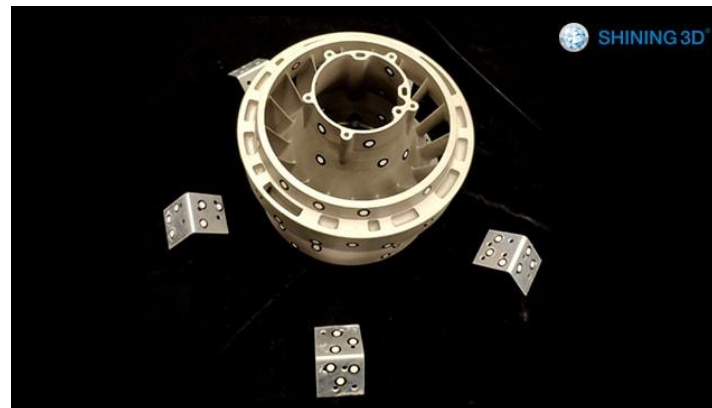
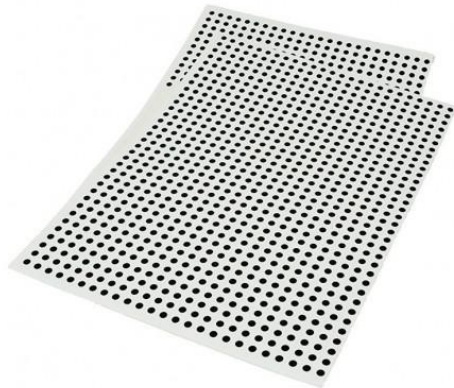
# Технология создания скана

- по маркерам, предварительно нанесённым на объект сканирования или вокруг него (реперным точкам).



# Технология создания скана

- Стоит отметить, что для сшивки (регистрации) кадров в один скан могут использоваться комбинированные алгоритмы, текстура + геометрия. Но максимально точным алгоритмом сшивки является регистрация, сшивка по маркерам (меткам).
- Метки для сканеров структурированного подсвета представляют собой либо одноразовые наклейки белого или черного цвета в окантовке, либо магнитные метки, те же наклейки, нанесённые на магнитную подложку (многократный вариант для магнитных поверхностей). Окантовка используется для контрастности.



# Отличие лазерных и оптических сканеров

(преимущества, недостатки)

- При 3d сканировании человека, используется **оптический трехмерный сканер**, поскольку он способен совершить данный процесс за более короткое время, в отличие от лазерного;
- Высокая точность у оптического сканера;
- **Использование оптических 3D сканеров не рекомендовано** при работе с блестящими, прозрачными или стеклянными поверхностями;
- У оптического большая скорость сканирования
- Стоимость оптического выше;

# Принцип работы «меток» в технологии оптического сканирования

# Лидирующие ПО для оптического сканирования и обработки поверхности

## Geomagic Control X: мощный софт для контроля геометрии

Control X от Geomagic – гибкий программный продукт для выявления и решения проблем в области контроля качества, предлагающий многофункциональные и интуитивно понятные инструменты измерения, управления и анализа.

Непосредственная задача ПО – сравнение данных 3D-сканирования эксплуатационного изделия с эталонной моделью и составление полноценных отчетов в удобном формате. Процесс формирования отчетности может быть автоматизирован, а полученными данными легко обмениваться со всеми участниками проекта. Control X позволяет значительно повысить показатели предприятия при выполнении контроля качества продукции.

### Главные преимущества

- Контроль и анализ полученной информации в сравнении как с эталоном, так и с другими данными
- Настраиваемые выгружаемые отчеты, с возможностью автоматизации контроля
- Поддержка данных, полученных не только с помощью 3D-сканирования, но и другими способами
- Поддержка большого количества форматов, что позволяет контролировать и анализировать данные из различных источников
- Интуитивно понятный интерфейс



# Geomagic Design X: быстрый путь от 3D-скана к CAD-модели

**Geomagic Design X** – наиболее комплексное программное обеспечение для реверс-инжиниринга, начиная с данных 3D-сканирования до создания твердотельной параметризированной модели (CAD). ПО быстро обрабатывает сканы моделей, позволяя сэкономить средства на реализацию проекта и быстрее вывести продукт на рынок. Это простое в использовании решение для пользователей САПР с интуитивным интерфейсом.



## Главные преимущества

- Единственное решение для обратного проектирования, которое сочетает создание твердотельной параметризированной CAD-модели с обработкой данных 3D-сканирования
- Возможность создания дерева построения CAD-детали в наиболее распространенных международных САПР
- Быстрое воссоздание моделей по отсканированным данным
- Многообразие инструментов и алгоритмов для обработки данных
- Уникальная функция Live Transfer поддерживает передачу CAD-данных в САПР ведущих производителей



# Ссылка на видео оптического ручного сканера

- <https://www.xyzprinting.com/support/ru-RU/Help/tutorial/3D%20Scanner>
- Ссылка на учебник Range Vision:
- <https://old.mephi.ru/entrant/dovuz/tstpo-mephi/programs/%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B%203D%20%D1%81%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F.pdf>