

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

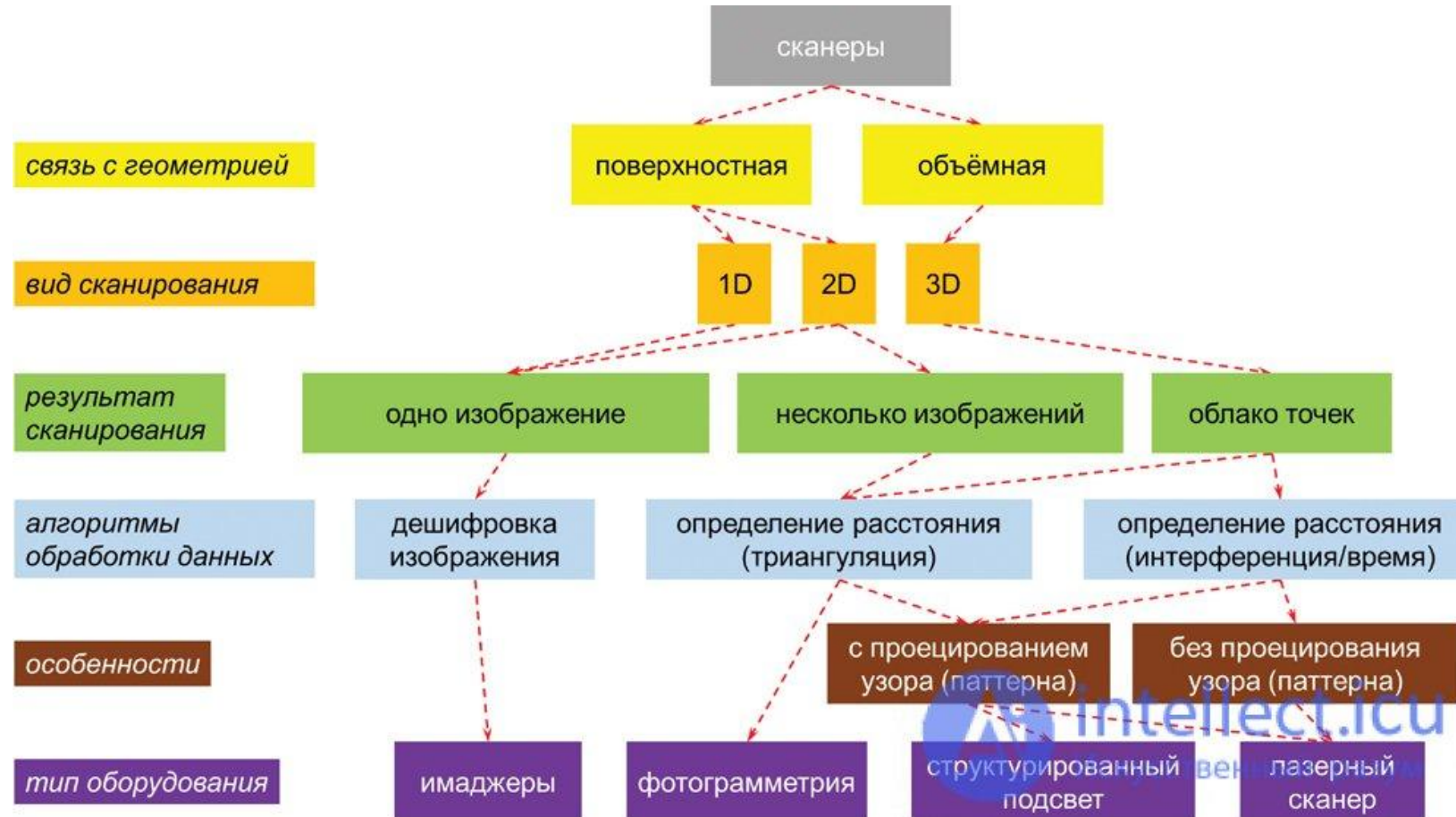


Каковы преимущества 3D-сканеров?

- 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).

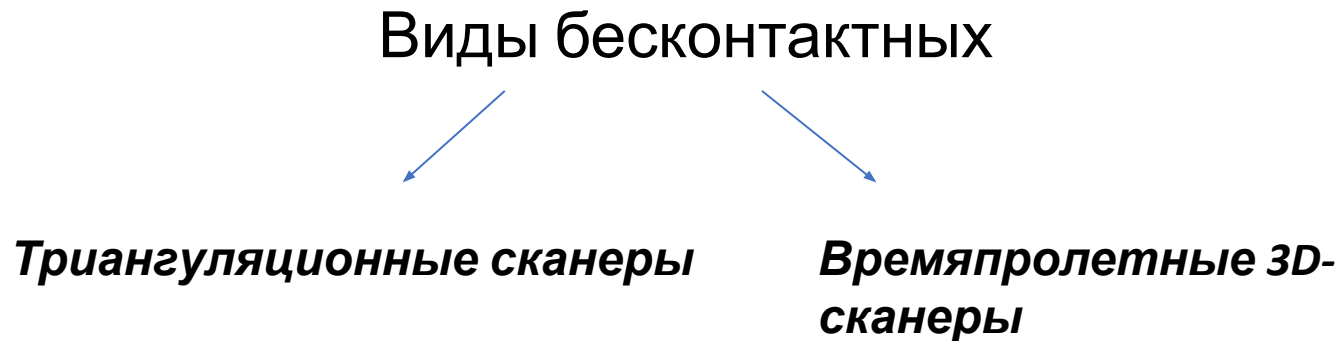


Координатно-измерительная машина – яркий пример 3D-сканера контактного типа.

Виды сканеров

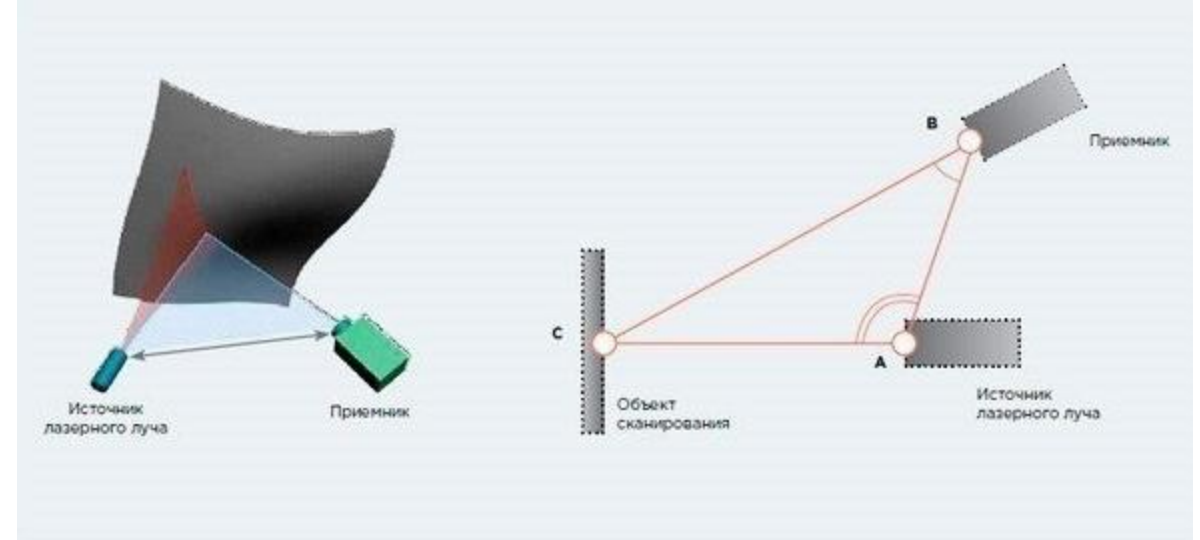
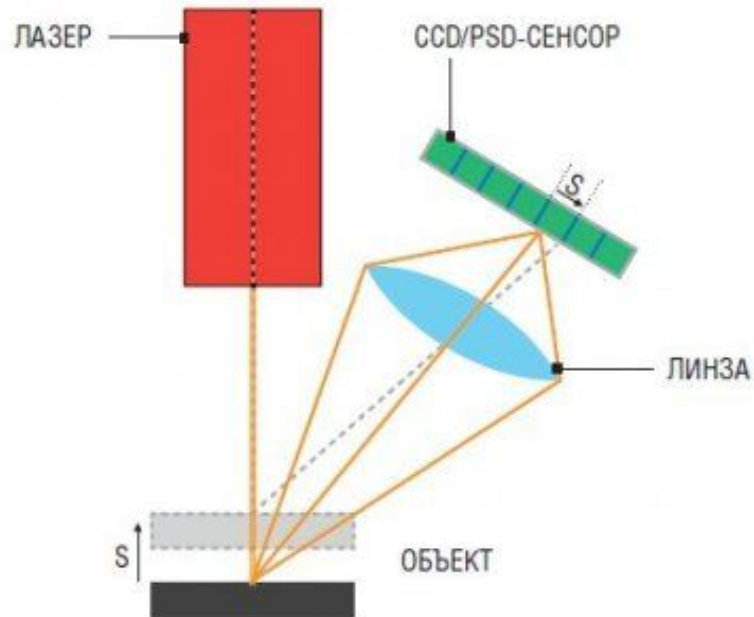
- **Бесконтактные активные 3D-сканеры**

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
- Металлургия
- Авиакосмическая индустрия
- Судостроение
- Автомобилестроение
- Культура, исторические ценности



Обзор и обмер нефтяных резервуаров



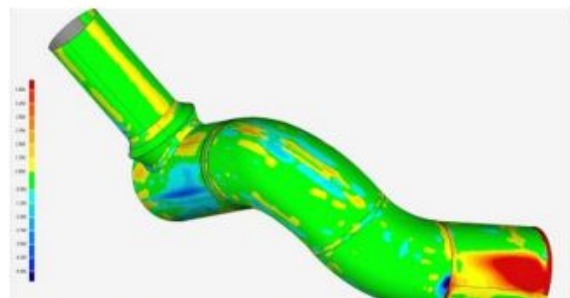
3D-сканирование помещения с целью оптимального размещения нового оборудования



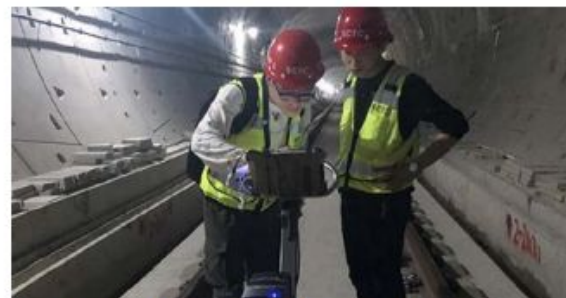
Контроль геометрии оборудования ГЭС



Восстановление памятника архитектуры



Мониторинг технического состояния строящихся и эксплуатируемых критических объектов инфраструктуры реактора АЭС

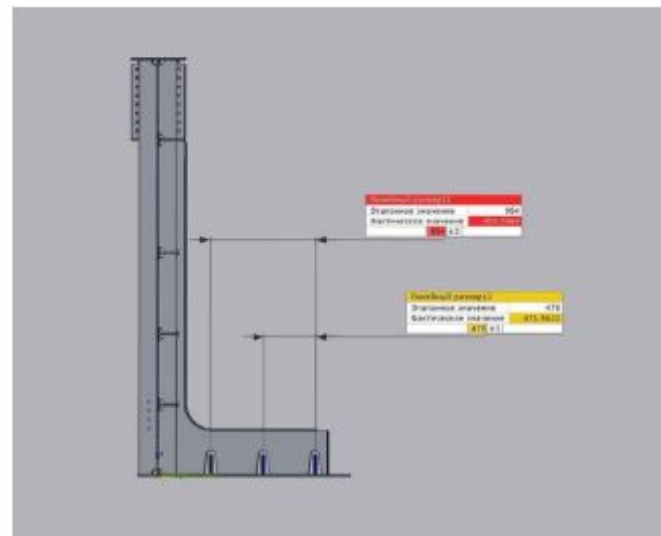
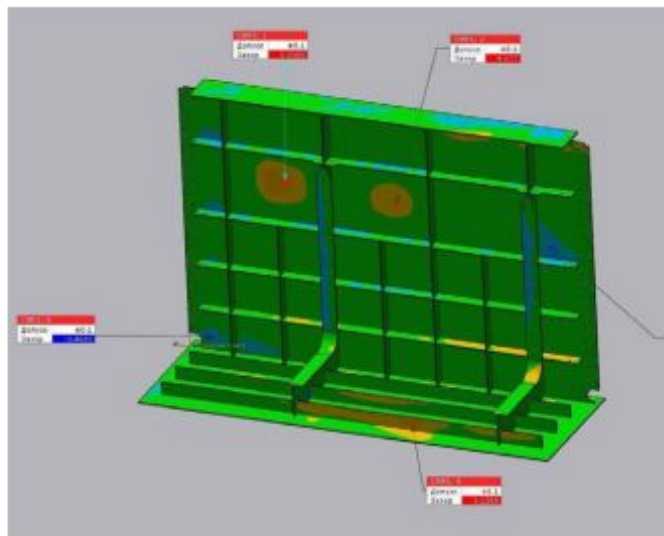


Контроль безопасности при строительстве железнодорожного туннеля



[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

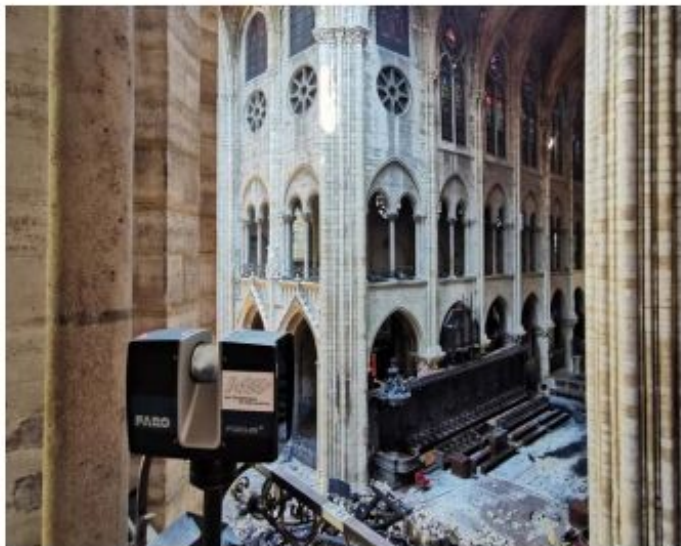
Решение

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

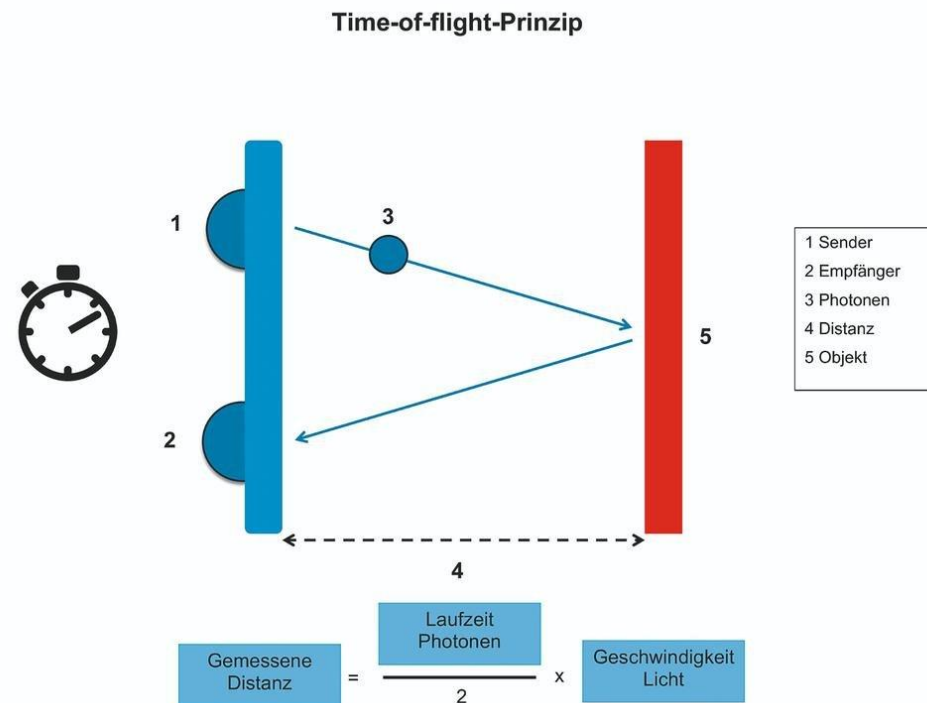
- Это активный вид сканера, который для исследования объекта использует лазерный луч. В его основе лежит времяпролетный дальномер. Именно он определяет расстояние до поверхности, рассчитывая время, за которое лазер пролетел туда и обратно. В этом случае лазерный луч используется, как световой импульс, 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:

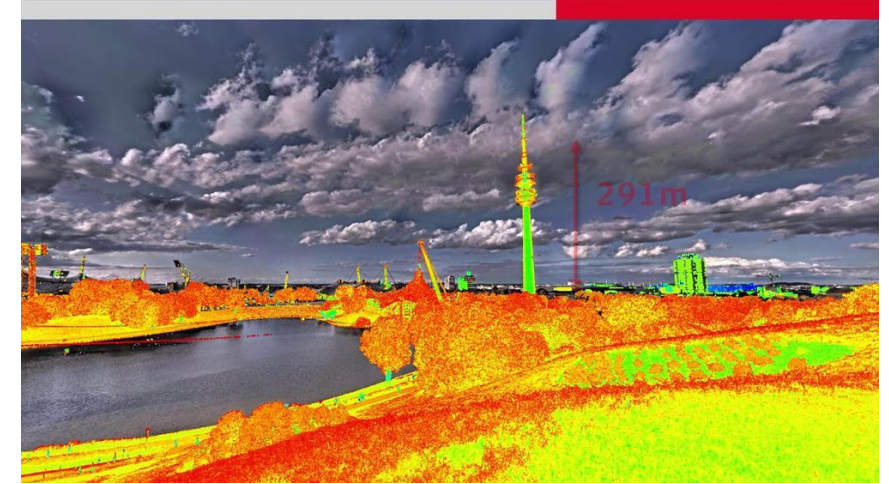
<https://youtu.be/Uym4RA3hmW4>

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.

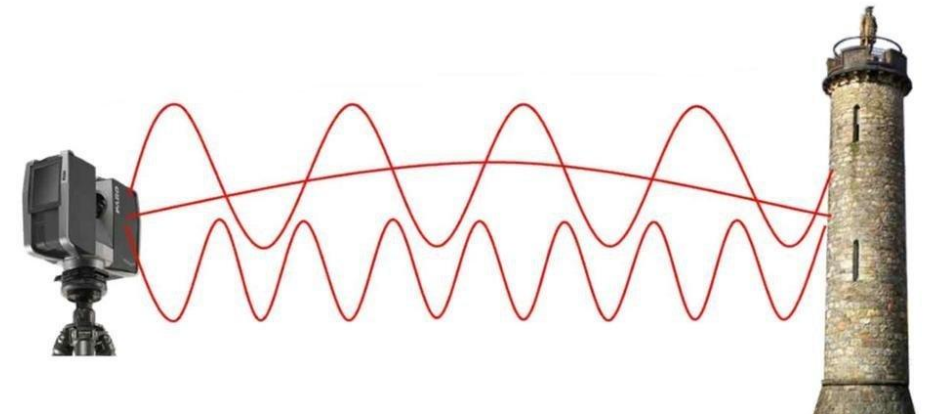
Рассчитаны на дальние расстояния



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

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.

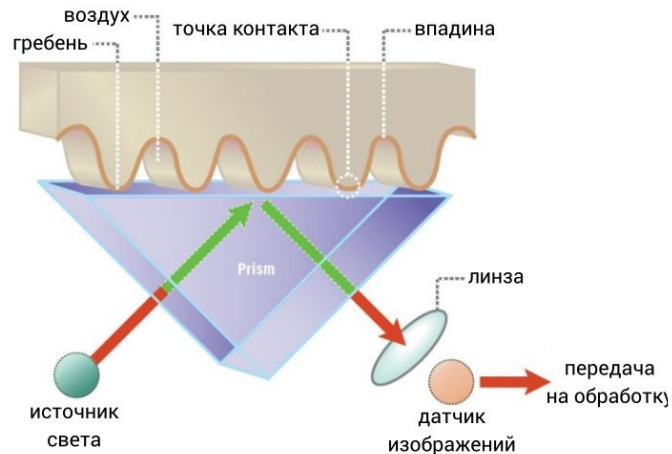
Механизмы 3-д сканирования

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

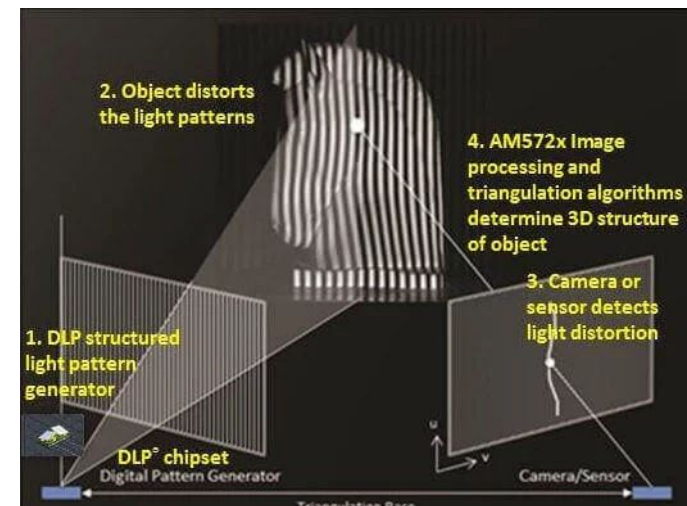
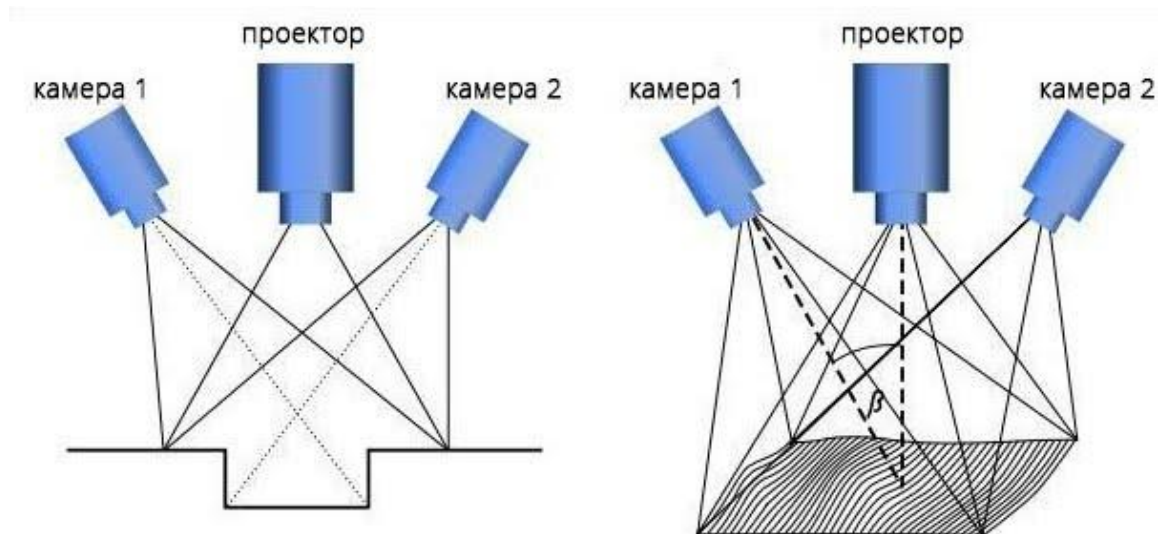
3 D-сканеры на основе видеокамер есть как более-менее универсальные, так и узкоспециализированные. В целом, эта технология сканирования применима практически во всех областях, например:

- 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

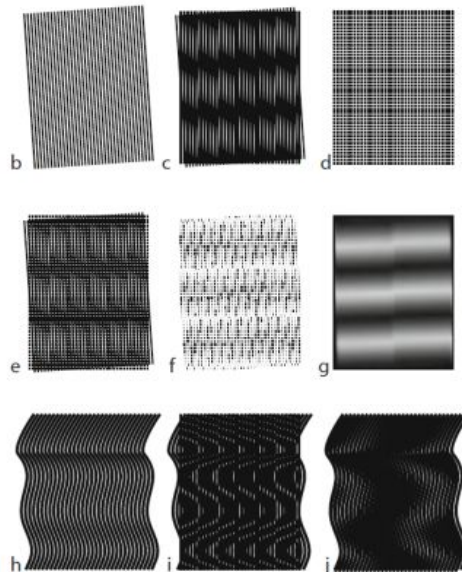


Рис. 2 – Примеры структурированного подсвета в виде проецируемого шаблона

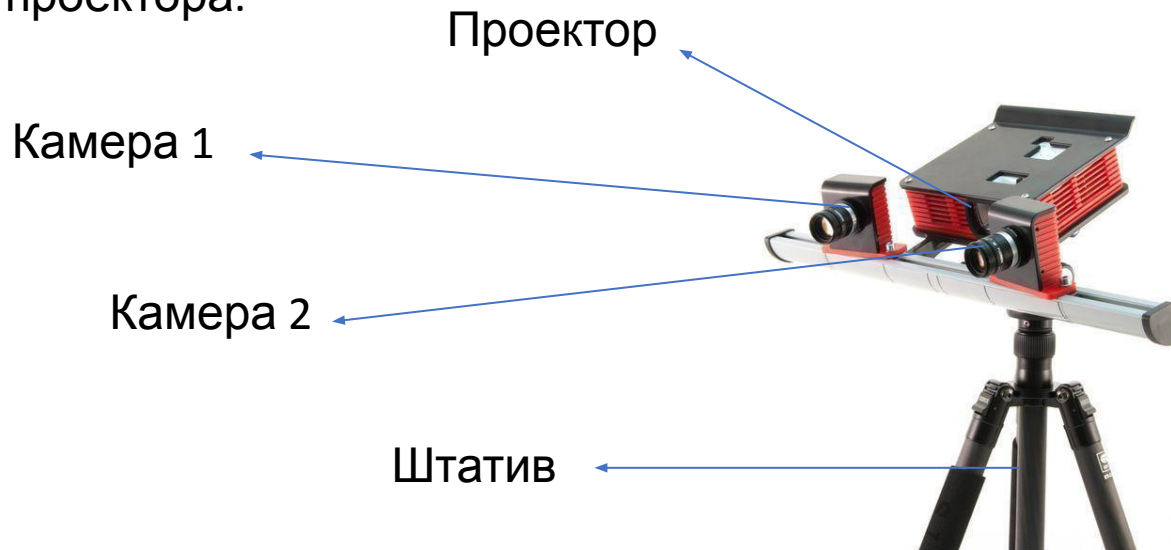
Таблица 1. Сводная таблица по механическим испытаниям

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

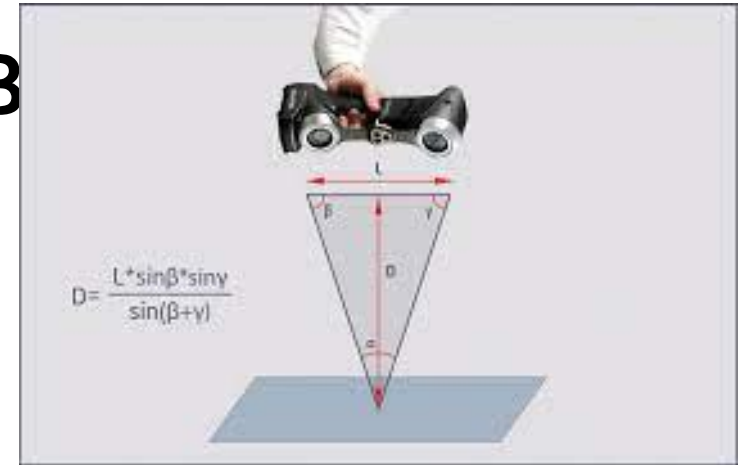
- структурированного подсвета :

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);



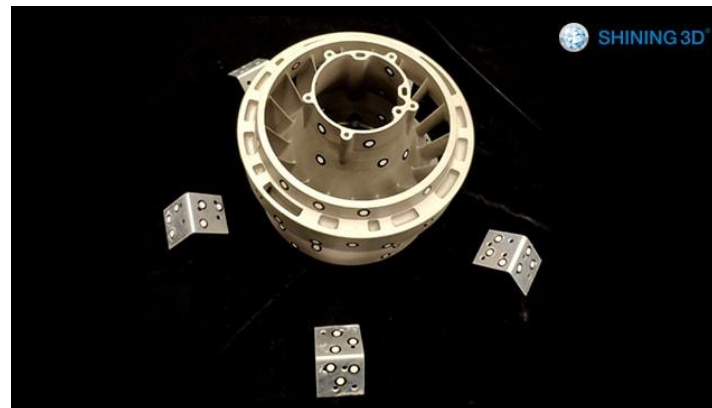
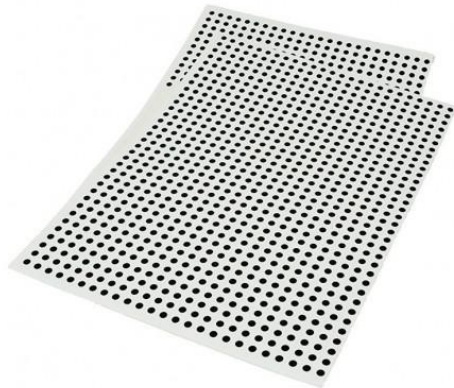
Технология создания скана

- 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

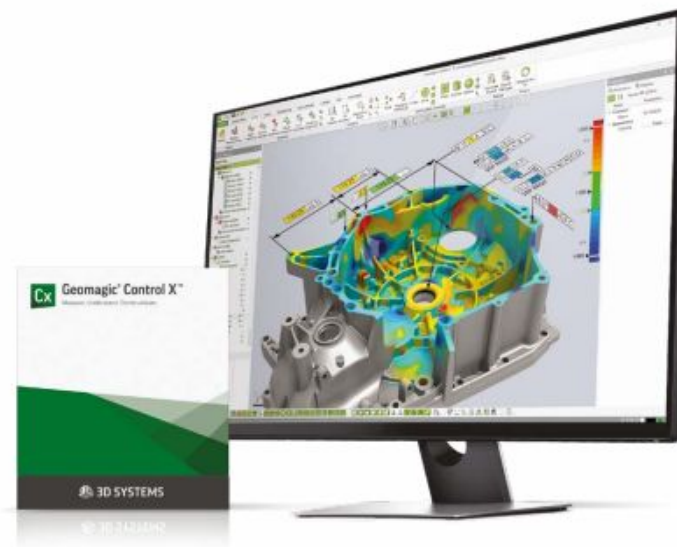
Geomagic Control X: мощный софт для контроля геометрии

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>