



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D-СКАНИРОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

**Эркаева Наргуль**

Преподаватель, Международного университета нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева

г. Ашхабад Туркменистан

**Дадаев Гуванч**

Студент, Международного университета нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева

г. Ашхабад Туркменистан

**Деряев Сердар**

Студент, Международного университета нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева

г. Ашхабад Туркменистан

**Дурдылыев Ресул**

Студент, Международного университета нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева

г. Ашхабад Туркменистан

### Аннотация

В статье всесторонне рассмотрены технологии и методы 3D-сканирования и их практическое применение в машиностроении. Представлен детальный анализ существующих методов сканирования, их преимуществ и ограничений. Особое внимание уделено интеграции 3D-сканирования с системами цифрового проектирования и производственного контроля. Рассмотрены примеры успешного внедрения технологии в процессы обратного инжиниринга, контроля качества, прототипирования и ремонта. Проанализированы современные тенденции и перспективы развития технологии в условиях цифровизации отрасли.

**Ключевые слова:** 3D-сканирование, машиностроение, обратный инжиниринг, цифровое проектирование, контроль качества, прототипирование, цифровые двойники, Industry 4.0, автоматизация производства

### 1. Введение

Современное машиностроение является сложной и многокомпонентной отраслью промышленности, в которой точность, скорость и качество производственного процесса играют ключевую роль.

Цифровые технологии проникают во все этапы жизненного цикла изделий — от проектирования и изготовления до эксплуатации и утилизации. Среди этих технологий особое место занимает 3D-сканирование — метод получения цифровых трехмерных моделей физических объектов.

Исторически методы измерения и контроля качества изделий развивались от традиционных ручных инструментов (штангенциркули, микрометры) до автоматизированных координатно-измерительных машин (КИМ). Однако с ростом сложности деталей и требованием повышенной точности традиционные методы стали ограниченными, особенно при работе с изделиями сложной геометрии. В этом контексте 3D-сканирование становится революционным инструментом, который позволяет быстро и с высокой точностью получить полную геометрическую информацию об объекте.

Современные 3D-сканеры позволяют обрабатывать как мелкие детали, так и крупногабаритные узлы, причем уровень детализации может достигать нескольких микрон. Внедрение этой технологии значительно ускоряет процесс обратного инжиниринга, прототипирования и контроля качества, сокращая время выхода продукции на рынок и повышая ее конкурентоспособность.

## **2. Основные методы 3D-сканирования**

В машиностроении применяется несколько базовых технологий 3D-сканирования, которые можно классифицировать по принципу сбора данных:

### **Оптическое лазерное сканирование**

Этот метод основан на проецировании лазерного луча на поверхность объекта и измерении времени или угла отражения для построения точной карты поверхности. Лазерные сканеры делятся на два основных типа:

- **Лазерные дальнометры (Time-of-Flight):** измеряют время, за которое лазерный импульс достигает поверхности и отражается обратно. Применяются для сканирования крупных объектов с точностью порядка миллиметров.
- **Триангуляционные лазерные сканеры:** используют триангуляцию для вычисления координат точек поверхности с высокой точностью (от 0.01 до 0.1 мм). Наиболее распространены для сканирования мелких и средних деталей.

Преимущества лазерного сканирования: высокая скорость, возможность работы на больших расстояниях, точность измерений. Недостатки — сложность при сканировании блестящих и прозрачных поверхностей.

## **Структурированное световое сканирование**

Данная технология использует проекцию на объект структурированных узоров (полос, решеток), а камеры фиксируют искажения этих узоров, вызванные рельефом. С помощью программного обеспечения формируется детальная трехмерная модель поверхности.

Структурированное освещение часто превосходит лазерное сканирование по скорости и разрешению, а также лучше работает с поверхностями различной текстуры. Однако ограничено расстоянием до объекта и требует стабильного освещения.

## **Контактное измерение (Координатно-измерительные машины)**

Используется механический зонд, который последовательно соприкасается с поверхностью детали, фиксируя координаты точек. Обеспечивает высочайшую точность (до 1 мкм), применяется при контроле сложных геометрических форм и валидации данных других методов.

Основной недостаток — длительность процедуры и ограниченная возможность измерения гибких или хрупких объектов.

## **Фотограмметрия**

Метод основан на анализе множества 2D-изображений объекта, снятых под разными углами, и преобразовании их в трехмерную модель путем выявления общих точек и вычисления координат. Применяется для объектов больших размеров, где другие методы неэффективны или невозможны.

Преимущества: минимальное оборудование, возможность работы на открытом воздухе. Недостатки: сложность обработки, низкая точность по сравнению с лазерным и структурированным сканированием.

## **3. Применение 3D-сканирования в машиностроении**

### **Обратный инжиниринг и создание цифровых прототипов**

Обратный инжиниринг (РИ) — процесс восстановления конструкции и создания цифровой модели детали на основе её физического образца — является одной из главных областей применения 3D-сканирования. Отсутствие чертежей, изменения в производстве или необходимость модернизации требуют точной цифровизации объекта.

Пример: на предприятии по ремонту авиационных двигателей была осуществлена цифровизация лопатки турбины. Благодаря 3D-сканированию была получена точная САД-модель, которая послужила основой для изготовления новых деталей с сохранением исходных характеристик.

### **Контроль качества и инспекция**

Сравнение сканированных данных с эталонной моделью позволяет выявлять отклонения геометрии и дефекты с точностью до микрон. Применение 3D-сканеров значительно сокращает время инспекции и повышает качество контроля, что особенно важно для серийного производства с высокими требованиями.

Пример: в автомобильной промышленности 3D-сканеры применяются для контроля кузовных панелей и деталей сложной формы, позволяя обнаруживать деформации, царапины и дефекты сварки до сборки.

### **Поддержка производства и оптимизация технологических процессов**

Данные 3D-сканирования интегрируются в САД/САМ-системы для создания управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), проведения симуляций обработки и анализа технологичности. Это снижает количество технологических ошибок, минимизирует отходы и ускоряет процесс изготовления.

### **Ремонт, восстановление и модернизация деталей**

При ремонте сложно изготавливаемых и дорогостоящих изделий сканирование помогает точно определить степень износа, создать цифровую модель для изготовления запасных частей или усиления конструкции.

Пример: в судостроении 3D-сканирование используется для восстановления деталей корпуса, где физический образец может быть повреждён или деформирован.

### **Прототипирование и экспериментальное моделирование**

3D-сканирование ускоряет процессы прототипирования и тестирования новых конструкций, обеспечивая быструю обратную связь и минимизацию затрат на физические модели.

## **4. Технические характеристики и требования к оборудованию**

Для успешного внедрения 3D-сканирования в машиностроение важно выбирать оборудование с учётом особенностей производства.

## **Точность и разрешение**

Для мелких деталей точность сканера должна быть не ниже 0.01 мм, для крупных — порядка 0.1 мм. Разрешение влияет на количество точек в цифровой модели и детализацию.

## **Размеры и форма объектов**

Некоторые сканеры оптимальны для мелких и средних деталей, другие — для крупных конструкций. Важна мобильность оборудования для работы с нестационарными объектами.

## **Скорость сканирования**

Зависит от типа сканера и объёма обрабатываемых данных. Для серийного производства критична высокая скорость, чтобы не замедлять технологический процесс.

## **Условия эксплуатации**

Освещение, температура, вибрации и свойства поверхности (блеск, прозрачность) влияют на качество сканирования. В ряде случаев требуется предварительная подготовка поверхности (нанесение матирующего покрытия).

## **5. Интеграция с цифровыми производственными технологиями**

Цифровые двойники и системы управления жизненным циклом изделий (PLM) активно используют данные 3D-сканирования. Создание виртуальных копий изделий позволяет проводить анализ и оптимизацию на всех этапах — от проектирования до утилизации.

Применение искусственного интеллекта и машинного обучения для обработки облаков точек позволяет автоматически классифицировать дефекты и предсказывать износ, что повышает уровень автоматизации и снижает участие оператора.

Облачные платформы обеспечивают совместный доступ и хранение данных, что способствует развитию удалённых и распределённых производственных процессов.

## **6. Практические примеры и кейсы**

### **Авиационная промышленность**

При ремонте двигателей 3D-сканирование позволяет быстро и точно восстанавливать геометрию сложных лопаток и корпусов, сокращая сроки простоя оборудования.

## **Автомобильное производство**

Контроль и оценка точности изготовления кузовных элементов и механизмов позволяют повысить качество и безопасность автомобилей.

## **Судостроение и машиностроение тяжелого оборудования**

Восстановление корпусов, прототипирование нестандартных деталей и модернизация сложных узлов на базе 3D-сканирования ускоряют ремонтные работы и продлевают срок службы техники.

## **Преимущества и ограничения применения 3D-сканирования**

### **Преимущества**

- Существенное повышение точности и качества изделий
- Ускорение процессов проектирования и производства
- Возможность работы с изделиями сложной геометрии
- Снижение затрат за счет сокращения брака и оптимизации процессов
- Повышение уровня автоматизации и цифровизации производства

### **Ограничения**

- Высокая стоимость качественного оборудования
- Необходимость квалифицированного персонала для работы и обработки данных
- Технические ограничения при работе с отражающими, прозрачными и очень мелкими поверхностями
- Требования к условиям эксплуатации и подготовке объектов

В будущем развитие технологий 3D-сканирования будет связано с:

- Повышением точности и скорости сканирования
- Уменьшением стоимости оборудования
- Интеграцией с технологиями искусственного интеллекта для автоматической обработки данных
- Разработкой мобильных и беспроводных систем для оперативного сканирования на производстве
- Внедрением технологий дополненной и виртуальной реальности для анализа цифровых моделей
- Расширением применения в умных производственных комплексах Industry 4.0

## **Заключение**

3D-сканирование является критически важной технологией для современного машиностроения, способствующей цифровой трансформации отрасли и созданию

гибких, высокотехнологичных производственных процессов. Активное внедрение этой технологии позволяет повысить качество продукции, снизить сроки разработки и производства, а также расширить возможности по ремонту и модернизации оборудования.

Преодоление существующих технических и экономических барьеров делает 3D-сканирование доступным и массовым инструментом на всех уровнях машиностроительного производства, обеспечивая устойчивое развитие отрасли в условиях глобальной конкуренции.

## Литература

1. Иванов А.А. Современные методы 3D-сканирования в машиностроении. — М.: Машиностроение, 2021. — 320 с.
2. Смирнов В.В., Петров К.Д. Инновационные технологии в цифровом машиностроении. — СПб.: Питер, 2020. — 285 с.
3. Zhang S., Huang X. 3D Scanning Technology and Applications in Industrial Manufacturing // Journal of Manufacturing Science and Engineering. — 2019. — Vol. 141, No. 3.
4. Chen X., Wang J. Reverse Engineering and 3D Scanning: A Review // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2022. — Vol. 118.
5. Беляев Н.И. Цифровые двойники и технологии Industry 4.0 в машиностроении. — Новосибирск: Сибирское издательство, 2023. — 250 с.
6. Кузнецов П.В., Тарасов А.В. Интеграция 3D-сканирования и CAD/CAM систем. — М.: Техносфера, 2022. — 200 с.
7. Lee H., Kim D. Application of Structured Light 3D Scanning in Automotive Manufacturing // Procedia Manufacturing. — 2021. — Vol. 53.