

# Цифровая метрология. Работа с передовыми приборами для геометрических измерений

В практико-ориентированной программе слушатели получают новые знания и умения в сфере цифровой метрологии и работы с передовыми приборами для геометрических измерений по компетенциям: знание современных методов и средств высокоточных геометрических измерений; умение работать с координатно-измерительными машинами (КИМ), лазерными трекерами, интерферометрами, 3D-сканерами и другим цифровым измерительным оборудованием; проведение практической работы по программированию измерительных задач, обработке облаков точек, оценке неопределённости измерений и интерпретации результатов в соответствии с требованиями геометрической спецификации продукции.

**Дата проведения:** 12 - 15 апреля 2027 с 10:00 до 17:30

**Артикул:** СП15581

**Вид обучения:** Курс повышения квалификации

**Формат обучения:** Онлайн-трансляция

**Срок обучения:** 4 дня

**Продолжительность обучения:** 32 часа

**Стоимость участия:** 57 000 руб.

**Для участников предусмотрено:** Методический материал.

**Документ по окончании обучения:** Удостоверение о повышении квалификации в объеме 32 часов.

## Для кого предназначен

Инженеров-метрологов, специалистов по качеству, инженеров-конструкторов, технологов, операторов координатно-измерительных машин, сотрудников измерительных лабораторий, а также всех специалистов, занимающихся контролем геометрических параметров изделий, внедрением цифровых измерительных технологий и автоматизацией процессов контроля качества на предприятиях машиностроения, авиастроения, автомобилестроения, судостроения и других отраслей.

## Цель обучения

Формирование системных знаний и практических навыков по применению передовых цифровых средств и методов геометрических измерений; освоение современных технологий высокоточного контроля линейных и угловых размеров, формы и расположения поверхностей; изучение методов обработки измерительной информации, оценки неопределённости и принятия решений о соответствии продукции установленным требованиям.

## Результат обучения

**В результате обучения слушатели:**

- получают актуальные знания о современных методах и средствах геометрических измерений, включая контактные, оптические и лазерные технологии;
- изучат устройство, принципы работы и метрологические характеристики координатно-измерительных машин (КИМ), лазерных трекеров, интерферометров, 3D-сканеров и видеоизмерительных систем;
- освоят методы программирования измерительных задач на КИМ, включая создание программ измерений, выбор стратегий обмера и настройку измерительных головок;
- научатся выполнять сканирование, обработку облаков точек и анализ геометрических параметров с использованием современного программного обеспечения (PolyWorks, Geomagic Control X, PC-DMIS и др.);

- ознакомились с современными подходами к оценке неопределённости измерений в соответствии с актуальными руководящими документами;
- получают практические навыки по интерпретации результатов измерений, анализу отклонений формы и расположения поверхностей;
- изучат принципы интеграции цифровых измерительных систем в единую цифровую среду предприятия (цифровой двойник, метрология 4.0).

Это мероприятие можно заказать в корпоративном формате (обучение сотрудников одной компании).

# Программа обучения

## ДЕНЬ 1

### Введение в цифровую метрологию. Современные методы геометрических измерений:

- Понятие цифровой метрологии. Место и роль в современном производстве. Цифровая трансформация метрологического обеспечения.
- Основные термины и определения в области геометрических измерений: измеряемая величина, размер, отклонение формы, отклонение расположения, шероховатость поверхности.
- Классификация методов геометрических измерений: контактные и бесконтактные, прямые и косвенные, абсолютные и относительные.
- Обзор современных средств измерений геометрических величин: координатно-измерительные машины, лазерные трекары, интерферометры, 3D-сканеры, видеоизмерительные системы, профилометры.
- Принципы выбора метода и средства измерений в зависимости от требований к точности, габаритов детали, материала и условий измерения.
- Актуальные требования к прослеживаемости геометрических измерений и подтверждению компетентности измерительных лабораторий.

**Практикум:** Анализ измерительной задачи для конкретной детали. Выбор оптимального метода и средств измерений с обоснованием решения.

### Координатно-измерительные машины (КИМ): устройство, принципы работы, метрологические характеристики:

- Классификация КИМ: мостовые, порталные, горизонтальные, с подвижной колонной.
- Конструктивные элементы КИМ: станина, измерительная головка, система перемещения, датчики.
- Типы измерительных головок: контактные (касательные, с зондом переключения, измерительные), сканирующие, оптические.
- Метрологические характеристики КИМ: допустимая погрешность измерения длины, повторяемость, разрешающая способность.
- Методы поверки и калибровки КИМ: использование эталонных сфер, лазерных интерферометров, калибровочных артефактов.
- Условия эксплуатации КИМ: требования к температуре, влажности, вибрациям, чистоте воздуха.

**Деловая игра:** «Выбор КИМ для конкретной производственной задачи» – слушателям предлагаются характеристики деталей и условия производства. Задание: выбрать тип КИМ, определить необходимые метрологические характеристики и обосновать выбор.

### Программирование измерительных задач на КИМ:

- Обзор систем программирования КИМ: PC-DMIS, Calypso, CMM-Manager, RationalDMIS.
- Основные этапы создания программы измерений: импорт CAD-модели, определение системы координат, выбор стратегии обмера, задание допусков.
- Методы установки системы координат: метод 3-2-1, выравнивание по геометрическим элементам, использование базовых поверхностей.
- Стратегии обмера: количество и расположение точек, скорость перемещения, использование различных типов зондов.
- Программирование автоматического измерения с использованием сканирования и контактных методов.
- Верификация программ измерений: проверка корректности, повторяемость, сравнение с эталонными значениями.

**Практикум:** Разработка программы измерений на КИМ для заданной детали (на основе CAD-модели). Определение системы координат, выбор стратегии обмера, задание допусков. (В зависимости от наличия ПО – демонстрация или выполнение в симуляторе.)

## ДЕНЬ 2

### Лазерные трекары и интерферометры:

- Лазерные трекары: назначение, принцип действия. Измерение расстояния с помощью лазерного интерферометра и абсолютного дальномера.
- Конструктивные элементы лазерного трекера: лазерный источник, интерферометр, угловые энкодеры, система автоматического слежения за отражателем.
- Типы отражателей: сферические, плоские, пассивные и активные. Способы крепления.
- Измерение геометрических параметров крупногабаритных изделий: сборка, выверка, контроль положения.
- Лазерные интерферометры: принцип действия, применение для измерения перемещений, калибровки КИМ и станков.
- Оценка погрешностей лазерных трекеров и интерферометров. Влияние условий окружающей среды (температура, давление, влажность).

**Практикум:** Измерение координат точек крупногабаритного объекта с использованием лазерного трекера (демонстрация или работа с симулятором). Оценка неопределённости измерения.

#### **3D-сканеры и оптические измерительные системы:**

- Классификация 3D-сканеров: лазерные триангуляционные, структурированного света, фотограмметрические, томографические.
- Принципы работы лазерных сканеров и сканеров структурированного света. Достоинства и ограничения.
- Применение 3D-сканеров для обратного проектирования, контроля качества, анализа деформаций, инспекции сложных поверхностей.
- Видеоизмерительные системы: принцип работы, применение для измерения малых деталей и тонкостенных элементов.
- Обработка облаков точек: фильтрация, регистрация, построение CAD-моделей.
- Программное обеспечение для обработки данных 3D-сканирования: PolyWorks, Geomagic Control X, GOM Inspect.

**Деловая игра:** «Контроль геометрии сложной детали с использованием 3D-сканера» – слушателям предлагается облако точек сканированной детали. Задание: выполнить регистрацию, сравнение с CAD-моделью, анализ отклонений и оценку соответствия требованиям.

#### **Оценка неопределённости геометрических измерений:**

- Понятие неопределённости измерений в геометрической метрологии. Отличие от погрешности.
- Источники неопределённости при геометрических измерениях: средство измерения, метод, оператор, условия окружающей среды, обрабатываемая деталь.
- Оценивание неопределённости по типу А (статистический анализ) и типу В (априорная информация).
- Расчёт суммарной и расширенной неопределённости для геометрических измерений. Коэффициент охвата.
- Бюджет неопределённости для измерений на КИМ, лазерном трекере, 3D-сканере.
- Учёт неопределённости при принятии решений о соответствии продукции.

**Практикум:** Составление бюджета неопределённости для конкретной измерительной задачи на КИМ или лазерном трекере. Расчёт суммарной и расширенной неопределённости.

### **ДЕНЬ 3**

#### **Геометрическая спецификация продукции (GPS). Допуски формы, расположения и шероховатости:**

- Система геометрической спецификации продукции (GPS). Основные принципы и термины.
- Допуски формы: прямолинейность, плоскостность, круглость, цилиндричность, профиль продольного сечения.
- Допуски расположения: параллельность, перпендикулярность, наклон, соосность, симметричность, позиционные допуски.
- Допуски ориентации и биения: радиальное и торцевое биение, полное радиальное и торцевое биение.
- Обозначение допусков на чертежах. Правила нанесения и интерпретации.
- Шероховатость поверхности: параметры (Ra, Rz, Rmax), методы измерения.
- Методы измерения допусков формы и расположения с использованием КИМ, лазерных трекеров и 3D-сканеров.

**Деловая игра:** «Анализ чертежа и выбор методов контроля» – слушателям предлагается чертёж детали с указанием допусков формы и расположения.

**Задание:** определить методы и средства контроля для каждого допуска, разработать план измерений.

#### **Обработка и анализ измерительной информации:**

- Статистическая обработка результатов измерений: проверка нормальности распределения, расчёт среднего, стандартного отклонения, доверительных интервалов.
- Индексы воспроизводимости и пригодности процесса (Cp, Cpk, Pp, Ppk) для геометрических параметров.
- Анализ измерительных систем (MSA) для геометрических измерений: повторяемость, воспроизводимость, стабильность, смещение, линейность.
- Использование контрольных карт для мониторинга стабильности измерительных процессов.
- Программные средства для статистического анализа: Minitab, JMP, специализированные модули в ПО для КИМ.
- Визуализация результатов измерений: отчёты, цветовые карты отклонений, графики.

**Практикум:** Анализ измерительной системы (MSA) для КИМ. Расчёт показателей повторяемости и воспроизводимости (GRR). Интерпретация результатов и разработка рекомендаций.

## ДЕНЬ 4

### Цифровые технологии в метрологии. Метрология 4.0:

- Концепция «Индустрия 4.0» и её влияние на метрологию. Цифровой двойник изделия.
- Интеграция измерительных систем в цифровую среду предприятия. Автоматизация сбора и анализа данных.
- Использование искусственного интеллекта и машинного обучения для обработки измерительной информации.
- Облачные технологии и совместная работа в области метрологии.
- Применение цифровых платформ для управления метрологическим обеспечением.
- Примеры внедрения цифровых решений на ведущих предприятиях.

**Деловая игра:** «Проектирование цифрового метрологического обеспечения для производственного участка» – слушателям предлагается описание производственного участка. Задание: разработать концепцию цифрового метрологического обеспечения, включающую выбор оборудования, программного обеспечения, методы интеграции и автоматизации.

### Практические аспекты работы с передовым измерительным оборудованием:

- Подготовка к измерениям: калибровка оборудования, настройка датчиков, выбор параметров сканирования.
- Проведение измерений: контактные и бесконтактные методы, управление процессом измерения.
- Обработка результатов: фильтрация, удаление выбросов, построение отчётов.
- Типичные ошибки при работе с КИМ, лазерными трекерами и 3D-сканерами.
- Техническое обслуживание и поверка измерительного оборудования.
- Обеспечение прослеживаемости измерений: использование эталонов, сертификатов калибровки.

**Практикум:** Комплексное практическое задание: измерение геометрических параметров детали с использованием доступного оборудования (или симулятора), обработка результатов, оценка неопределённости, оформление отчёта о соответствии.

### Тенденции развития цифровой метрологии:

- Новые технологии в геометрических измерениях: рентгеновская компьютерная томография, оптическая когерентная томография, голографическая интерферометрия.
- Развитие портативных и мобильных измерительных систем.
- Применение дронов и роботизированных систем для измерений в труднодоступных местах.
- Использование дополненной реальности для визуализации результатов измерений.
- Требования к компетентности специалистов по цифровой метрологии.
- Перспективы развития нормативной базы в области геометрических измерений.

**Деловая игра:** «Прогнозирование развития метрологического обеспечения на предприятии» – слушателям предлагается описание предприятия.

**Задание:** разработать стратегию развития метрологического обеспечения на 3–5 лет с учётом современных тенденций.

**Подведение итогов:** Пример классификатора типовых несоответствий, выявляемых при геометрических измерениях, и ошибок при работе с цифровым измерительным оборудованием, рекомендации по их устранению и предотвращению.

# Преподаватели

## ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

К.т.н, доцент Института фундаментальной подготовки и технологических инноваций (ИФПТИ) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.