

КЛЮЧЕВАЯ РОЛЬ МЕТРОЛОГИИ В ПРОЦЕССАХ И УЛУЧШЕНИЯХ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА

Хажиев Нурбек Матякубович

Начальник Хорезмского филиала ГУ УзНИИМ

Кадилов Шухрат Камилжанович

Ведущий специалист Хорезмского филиала ГУ УзНИИМ

Аннотация: Метрология имеет ключевую роль в современных производственных процессах, обеспечивая достижение высоких стандартов качества и оптимизацию эффективности производства. Этот комплексный обзор углубляется в значение каждого раздела метрологии в повышении качества производства в различных отраслях промышленности. Обзор охватывает изучение передовых метрологических методов, их применения, проблем и будущих перспектив. Обзор начинается с разъяснения основных принципов метрологии, подчеркивая ее важнейшую роль в количественной оценке точности размеров, чистоты поверхности и других важнейших параметров в производстве. В нем исследуется эволюция метрологии от традиционных методов до современных технологий. Интеграция этих методов в современные производственные среды произвела революцию в процессах контроля качества, обеспечив мониторинг в реальном времени и быстрые механизмы обратной связи. Кроме того, в обзоре освещаются многогранные приложения метрологии в различных отраслях промышленности, включая автомобилестроение, аэрокосмическую промышленность, электронику и медицинские приборы. В нем объясняется, как метрологические достижения способствовали производству сложных компонентов с жесткими допусками, тем самым повышая производительность, надежность и безопасность продукции. Кроме того, в обзоре рассматривается роль метрологии в обеспечении соответствия нормативным стандартам и сертификации, что имеет решающее значение для отраслей с жесткими требованиями к качеству. Несмотря на свои многочисленные преимущества, метрология также создает проблемы, такие как неопределенность измерений, сложность калибровки и проблемы интерпретации данных. В обзоре подробно обсуждаются эти проблемы и изучаются новые стратегии и технологии, направленные на их смягчение. Кроме того, в нем рассматривается необходимость стандартизированных метрологических практик и международного сотрудничества для содействия взаимодействию и гармонизации в глобальных производственных экосистемах. Заглядывая вперед, в обзоре излагаются будущие направления и возможности в метрологии, включая достижения в области искусственного интеллекта. В нем

подчеркивается важность постоянных исследований и инноваций в метрологии для удовлетворения меняющихся производственных потребностей и обеспечения устойчивого улучшения качества и конкурентоспособности продукции. В заключение следует отметить, что в этом комплексном обзоре подчеркивается незаменимая роль каждого раздела метрологии в повышении качества производства, стимулировании инноваций и формировании будущей современной промышленности.

Ключевые слова: Метрология, Производство, Качество, Обзор.

Введение

Метрология является основным фактором в сфере производства, охватывая набор методов и методик, имеющих решающее значение для количественной оценки и обеспечения качества производимых компонентов. По своей сути метрология относится к науке и практике точных измерений, часто включающих высокоточные приборы для оценки размерных, геометрических и поверхностных характеристик продуктов. В современном производстве метрология играет незаменимую роль в повышении качества в различных отраслях промышленности. Ее значение заключается в её способности обеспечивать точные и надежные измерения, которые имеют первостепенное значение для соответствия строгим стандартам качества, обеспечения надежности продукции и повышения общей удовлетворённости клиентов. Метрология позволяет производителям выявлять и устранять отклонения от желаемых спецификаций, тем самым минимизируя дефекты и оптимизируя производственные процессы. Этот комплексный обзор направлен на изучение многогранной роли метрологии в повышении качества производства. Он стремится обеспечить углубленное изучение передовых метрологических методов, их применения в различных отраслях промышленности, возникающих проблем и будущих перспектив. Синтезируя существующие знания и результаты исследований, стремимся пролить свет на критическую важность метрологии и её последствия для современных производственных практик. Область применения охватывает широкий спектр тем, включая основы метрологии, достижения в области метрологических методов, приложения в различных промышленных секторах и влияние на качество производства. Целью является предоставление посредством этого всестороннего анализа ценной информации о роли метрологии как катализатора повышения качества производства и обеспечения постоянного совершенствования промышленных процессов.

Основы метрологии в производстве

На сегодняшний день метрология служит основой обеспечения качества в производственных процессах, гарантируя, что компоненты и продукты

соответствуют строгим спецификациям и стандартам. В этом разделе мы углубимся в фундаментальные принципы метрологии, рассмотрим ключевые параметры и стандарты измерений и проследим эволюцию методов метрологии с течением времени. Метрология вращается вокруг точного измерения физических величин, таких как размеры, углы, шероховатость поверхности и отклонения формы. Основные принципы, лежащие в основе метрологии, включают точность, повторяемость, воспроизводимость и прослеживаемость. Точность относится к близости измеренного значения к истинному значению измеряемой величины. Достижение высокой точности требует тщательной калибровки измерительных приборов и тщательного учета таких факторов, как условия окружающей среды и систематические погрешности. Повторяемость означает способность измерительной системы выдавать единообразные результаты при измерении одного и того же объекта в идентичных условиях. Это необходимо для обеспечения последовательности и надежности измерений, особенно в производственных средах, где повторные измерения являются обычным явлением. Воспроизводимость относится к способности получать единообразные результаты в разных измерительных системах. Она гарантирует, что измерения можно надежно воспроизводить с использованием разного оборудования или персонала, тем самым повышая надежность и надежность метрологических процедур. Прослеживаемость подразумевает установление документированной цепочки измерений к известным эталонным стандартам, как правило, через аккредитованные калибровочные лаборатории. Она гарантирует, что результаты измерений могут быть прослежены до международных признанных стандартов, тем самым обеспечивая уверенность в точности и надежности измерений.

В метрологии параметры измерения имеют решающее значение для оценки качества и соответствия изготовленных компонентов. Точность размеров относится к степени соответствия его предполагаемому или номинальному измеренного размера. Это фундаментальный аспект метрологии, который часто выражается в виде допусков или отклонений от номинальных размеров. Поверхности охватывает такие характеристики, как шероховатость, волнистость и слоение, которые влияют на текстуру и качество поверхности. Точное измерение и контроль поверхности необходимы для обеспечения функциональных характеристик, эстетики и долговечности изготовленных компонентов. Геометрические допуски включают указание допустимых отклонений в геометрических характеристиках, таких как прямолинейность, плоскостность, округлость и концентричность. Это позволяет проектировщикам точнее определять функциональные требования и производственные

ограничения, что приводит к улучшению взаимозаменяемости деталей и совместимости сборки.

Организации по стандартизации, такие как Международная организация по стандартизации (ISO) и национальные метрологические институты, устанавливают и поддерживают стандарты для методов измерения, оборудования и терминологии. Эти стандарты содержат основные принципы для обеспечения согласованности, сопоставимости и совместимости в метрологической практике в разных отраслях и регионах. За прошедшие годы в области метрологии произошел значительный прогресс в методах и технологиях измерения, обусловленный спросом на более высокую точность, эффективность и автоматизацию в производственных процессах. Традиционные механические методы метрологии, такие как штангенциркули, микрометры и высотометры, легли в основу измерения размеров. Хотя эти методы на сегодняшний день по-прежнему широко используются для определенных средств измерений, они были в значительной степени вытеснены более совершенными методами, обеспечивающими более высокую точность и автоматизацию. КИМ (Координатно-измерительные машины) произвели революцию в метрологии, обеспечив точное измерение сложных трехмерных измерений. Эти управляемые компьютером системы используют зонды для сбора точечных данных на поверхностях объектов, которые затем анализируются для определения размерных отклонений и геометрических характеристик. Методы оптической метрологии, включая оптическую профилометрию, интерферометрию и цифровую визуализацию, используют световые технологии для измерения топографии поверхности, формы и размеров с исключительной точностью и скоростью. Эти бесконтактные методы особенно хорошо подходят для измерения деликатных или сильно отражающих поверхностей. Системы 3D-сканирования используют лазер, структурированный свет или другие технологии зондирования для получения подробных 3D-представлений объектов. Эти системы широко используются для обратного проектирования, контроля качества и размерного анализа в таких отраслях, как автомобилестроение, аэрокосмическая промышленность и производство медицинских приборов. Последние достижения в метрологии включают интеграцию искусственного интеллекта, автоматизации анализа данных и обеспечения предсказательного обслуживания в метрологических системах.

Подводя итог, можно сказать, что эволюция методов метрологии характеризуется постоянным стремлением к более высокой точности, эффективности и автоматизации для удовлетворения меняющихся потребностей современного производства. Используя передовые технологии измерений и придерживаясь строгих метрологических принципов и стандартов,

производители могут гарантировать качество, надежность и конкурентоспособность своей продукции на сегодняшнем мировом рынке.

Применение метрологии в производстве

Метрология находит широкое применение в различных отраслях промышленности, где точность измерений и обеспечение качества имеют первостепенное значение. В этом разделе мы рассмотрим, как метрология используется в автомобильной, аэрокосмической, электронной, медицинской и других соответствующих отраслях. В автомобильной промышленности метрология играет решающую роль в обеспечении качества и производительности транспортных средств и их компонентов. Такие методы метрологии, как координатно-измерительные машины (КИМ) и системы 3D-сканирования, используются для размерного контроля компонентов двигателя, деталей шасси и панелей кузова, чтобы убедиться, что они соответствуют проектным спецификациям. Анализ отделки поверхности необходим для автомобильных компонентов, чтобы обеспечить плавную работу, минимизировать трение и повысить долговечность. Методы оптической метрологии используются для измерения шероховатости поверхности, волнистости и отклонений формы. Метрология помогает проверять точность сборки критических компонентов, таких как блоки двигателей, корпуса трансмиссии и системы подвески, для предотвращения несоосности и обеспечения надлежащей функциональности. Метрология незаменима в аэрокосмической промышленности для обеспечения безопасности, надежности и производительности компонентов самолетов и космических аппаратов. Основные области применения включают: Компоненты аэрокосмической промышленности должны соответствовать строгим геометрическим допускам для обеспечения надлежащей посадки и функциональности. Такие метрологические методы, как лазерные трекеры и фотограмметрия, используются для измерения сложной геометрии с высокой точностью. С ростом использования композитных материалов в аэрокосмических приложениях метрология имеет решающее значение для проверки композитных конструкций на наличие дефектов, расслоений и отклонений размеров. Метрология используется во время сборки и интеграции конструкций и систем самолетов для проверки выравнивания, зазоров и совместимости интерфейсов, гарантируя, что все компоненты точно подходят друг другу. В электронной сфере промышленности метрология играет жизненно важную роль в обеспечении надежности и производительности электронных компонентов и устройств. Такие метрологические методы, как автоматизированный оптический контроль и рентгеновский контроль, используются для проверки печатных плат на наличие дефектов, целостности паяных соединений и точности размеров. В производстве

полупроводников метрология используется для измерения критических размеров, толщины слоев и профилей элементов на кремниевых пластинах для обеспечения качества интегральных схем и микроэлектронных устройств. Метрология помогает проверять точность размещения и качество паяных соединений поверхностно монтируемых компонентов на печатных платах, обеспечивая надежные электрические соединения и функциональность. Метрология имеет жизненно важное значение в отрасли медицинских приборов для обеспечения безопасности, эффективности и соответствия нормативным требованиям медицинских изделий. Метрология используется для измерения точности размеров и отделки поверхности ортопедических имплантатов, зубных протезов и хирургических инструментов для обеспечения надлежащей посадки и функциональности. Для неразрушающего контроля медицинских изделий, обнаружения дефектов и проверки внутренних структур применяются такие метрологические методы, как оптическая когерентная томография (ОКТ) и компьютерная томография (КТ).

Метрология играет решающую роль в обеспечении соответствия нормативным стандартам, таким как Регламент системы качества ISO 13485 для производителей медицинских приборов, помогая демонстрировать качество и безопасность продукции. Метрология необходима в отраслях точной обработки, таких как изготовление инструментов и штампов, изготовление пресс-форм и аэрокосмическое производство, для проверки точности размеров, чистоты поверхности и геометрических допусков. В индустрии бытовой электроники метрология используется для контроля качества таких продуктов, как смартфоны, планшеты и носимые устройства, гарантируя, что они соответствуют проектным спецификациям и требованиям к производительности. Метрология используется в энергетическом секторе для проверки таких компонентов, как лопасти турбин, валы генераторов и оборудование для передачи электроэнергии, для обеспечения эксплуатационной надежности и эффективности.

Влияние на качество производства

Метрология оказывает глубокое влияние на качество производства в различных отраслях промышленности, способствуя точности размеров, отделке поверхности и соблюдению стандартов и сертификации. Метрология гарантирует, что изготовленные компоненты соответствуют жестким допускам размеров, минимизируя отклонения и отклонения от проектных спецификаций. Точно измеряя размеры и геометрию, метрология помогает выявлять и исправлять производственные ошибки, обеспечивая надлежащую посадку, функциональность и совместимость сборки изделий. Методы метрологии позволяют точно измерять и анализировать шероховатость поверхности,

волнистость и отклонения формы, гарантируя, что компоненты соответствуют указанным требованиям к отделке поверхности. Улучшение отделки поверхности повышает эстетичность, функциональность и долговечность изделий, особенно в тех случаях, когда гладкие и бездефектные поверхности имеют решающее значение. Метрология играет жизненно важную роль в обеспечении соответствия отраслевым стандартам, правилам и сертификациям, регулирующим качество и безопасность продукции. Предоставляя прослеживаемые и точные измерения, метрология помогает производителям демонстрировать соответствие таким стандартам, как ISO 9001, AS9100, правила и положения FDA, повышая доверие клиентов и способствуя принятию продукции рынком. В заключение следует сказать, что метрология является основным компонентом современного производства, её применение охватывает различные отрасли: от автомобильной и аэрокосмической до электронной и медицинской техники. Обеспечивая точное измерение, контроль качества и соответствие стандартам, метрология способствует производству высококачественной, надежной и безопасной продукции, которая отвечает требованиям современного конкурентного мирового рынка.

Проблемы метрологии в производстве

Метрология, несмотря на свою важную роль в обеспечении качества производства, сталкивается с рядом проблем, которые могут повлиять на точность, надежность и эффективность измерений. В этом разделе мы рассмотрим три основные проблемы: неопределенности измерений, сложности калибровки и проблемы интерпретации данных. Неопределенности измерений возникают из разных источников, включая ограничения оборудования, факторы окружающей среды и присущую изменчивость процесса измерения. Измерительные приборы могут иметь присущие им погрешности из-за таких факторов, как дрейф датчика, нелинейность и ограничения разрешения, что приводит к неточностям в результатах измерений. Колебания температуры, влажности и вибрации могут влиять на точность измерений, особенно в приложениях метрологии, где требуются жесткие допуски. Различия в навыках оператора, уровне квалификации и интерпретации данных измерений могут вносить изменчивость и непоследовательность в результаты измерений. Для устранения неопределенностей измерений требуется тщательная калибровка, анализ ошибок и количественная оценка неопределенности, чтобы гарантировать, что результаты измерений прослеживаются, надежны и согласованы между различными измерительными системами и операторами. Калибровка измерительных приборов и оборудования представляет собой проблему из-за сложности процедур калибровки, требований прослеживаемости и необходимости периодической повторной калибровки. Поддержание

прослеживаемости к национальным или международным стандартам имеет важное значение для обеспечения точности и надежности результатов измерений. Однако достижение прослеживаемости может быть сложной задачей, особенно для сложных измерительных систем и специализированного оборудования. Определение соответствующих интервалов калибровки для измерительных приборов требует тщательного рассмотрения таких факторов, как схемы использования, условия окружающей среды и рекомендации производителя. Баланс между необходимостью регулярной калибровки и временем простоя, связанными с процедурами калибровки, имеет решающее значение. Доступность подходящих калибровочных стандартов и справочных материалов для калибровки измерительных приборов может быть ограничена, особенно для новых технологий или специализированных приложений. Интерпретация данных измерений и извлечение значимых выводов могут быть сложными из-за таких факторов, как сложность данных, и неопределенность. Выбор соответствующих методов анализа данных и алгоритмов для обработки и интерпретации данных измерений требует экспертных знаний и тщательного рассмотрения таких факторов, как качество данных. Ошибки и неопределенности в данных измерений могут распространяться через последующие процессы анализа данных и принятия решений, что приводит к неточностям и неверным выводам. Интерпретация данных может включать субъективные суждения и интерпретации, особенно в случаях, когда результаты измерений неоднозначны или открыты для интерпретации. Стандартизация методов интерпретации данных и минимизация субъективности имеют важное значение для обеспечения согласованности и надежности метрологического анализа.

Стратегии смягчения проблем

Для решения проблем, присущих разделов метрологии, можно использовать несколько стратегий и передовых методов для повышения точности, надежности и эффективности измерений. Ключевые стратегии включают: Достижения в методах калибровки, приборах и программном обеспечении могут помочь повысить точность, эффективность и прослеживаемость процессов калибровки. Автоматизация процедур калибровки с использованием роботизированных систем, компьютерного оборудования и программного обеспечения для калибровки может оптимизировать процессы калибровки, снизить человеческие ошибки и улучшить повторяемость. Разработка и распространение прослеживаемых калибровочных стандартов и эталонных материалов национальными метрологическими институтами и организациями по стандартизации помогают обеспечить точность и последовательность процедур калибровки. Стандартизация метрологических практик, терминологии и

процедур имеет важное значение для обеспечения последовательности, совместимости и сопоставимости в различных отраслях и регионах. Принятие международных стандартов, таких как ISO 17025 для калибровочных лабораторий и ISO 9001 для систем менеджмента качества, помогает гарантировать, что метрологическая практика соответствует признанным требованиям качества и прослеживаемости. Предоставление программ метрологического обучения и схем сертификации для специалистов по метрологии гарантирует, что персонал обладает необходимыми навыками, знаниями и компетенциями для выполнения точных и надежных измерений. Участие в межлабораторных сличениях и программах проверки квалификации позволяет лабораториям сравнивать свои измерительные возможности, определять области для улучшения и демонстрировать соответствие международным стандартам и передовой практике. Международные усилия по сотрудничеству между метрологическими институтами, организациями по стандартизации, отраслевыми ассоциациями и регулирующими органами имеют решающее значение для продвижения метрологических исследований, гармонизации метрологической практики и решения глобальных метрологических проблем. Совместные исследовательские и инновационные программы способствуют обмену знаниями, передаче технологий и разработке новых метрологических методов и стандартов для решения возникающих проблем измерений. Согласование метрологических стандартов, правил и структур аккредитации в разных странах и регионах помогает повысить согласованность, облегчить торговлю и обеспечить взаимное признание результатов измерений. В заключение следует отметить, что для решения проблем в области метрологии требуется многогранный подход, включающий достижения в области методов калибровки, стандартизацию метрологических практик и международное сотрудничество. Внедряя эти стратегии, производители могут повысить точность, надежность и прослеживаемость измерений, в конечном итоге улучшая качество продукции и конкурентоспособность на современном мировом рынке.

Заключение

Метрология является основой современного производства, обеспечивая качество, надежность и производительность продукции в различных отраслях промышленности. Как подчеркивается в этой статье, метрология играет жизненно важную роль в повышении качества производства за счет точных измерений, обеспечения качества и соответствия стандартам. Заглядывая вперед, можно сказать, что будущее метрологии открывает захватывающие перспективы для инноваций и развития, обусловленные новыми технологиями, такими как искусственного интеллекта. Системы предиктивного обслуживания и

автономного контроля качества готовы произвести революцию в метрологии, обеспечивая активное обслуживание, мониторинг качества в реальном времени и замкнутый цикл управления производственными процессами. Постоянные исследования и инновации в метрологии обещают решить возникающие проблемы и открыть новые возможности, формируя будущее современной промышленности. Подводя итог, метрология остается незаменимой для обеспечения качества производства и конкурентоспособности на современном мировом рынке. Внедряя новые технологии, совершенствуя метрологическую практику и способствуя сотрудничеству и инновациям, производители могут использовать весь потенциал метрологии для обеспечения постоянного совершенствования и инноваций в своих продуктах и процессах.

Список литературы

Abd Al Rahman, M., & Mousavi, A. (2020). A review and analysis of automatic optical inspection and quality monitoring methods in electronics industry. *Ieee Access*, 8, 183192-183271. Обзор и анализ методов автоматического оптического контроля и контроля качества в электронной промышленности.

Bajenescu, T.I., & Bazu, M.I. (2012). *Reliability of electronic components: a practical guide to electronic systems manufacturing*. Springer Science & Business Media. Надежность электронных компонентов: практическое руководство по производству электронных систем.

Baleani, A. (2023). In-line quality control for Zero Defect Manufacturing: design, development and uncertainty analysis of vision-based instruments for dimensional measurements at different scales. *Контроль качества для производства без дефектов: проектирование, разработка и анализ неопределенности приборов на основе технического зрения для измерения размеров в различных масштабах*.

Begley, C.G., & Ioannidis, J.P. (2015). Reproducibility in science: improving the standard for basic and preclinical research. *Circulation Research*, 116(1), 116-126. Воспроизводимость в науке: повышение стандарта для фундаментальных и доклинических исследований.

Gaska, A., Śladek, J., & Gaska, P. (2020). Challenges for uncertainty determination in dimensional metrology put by industry 4.0 revolution. In *Proceedings of 5th International Conference on the Industry 4.0 Model for Advanced Manufacturing: AMP 2020* (pp. 92-104). Springer International Publishing. Проблемы определения неопределенности в метрологии, вызванные революцией промышленности. В трудах 5-й Международной конференции по модели промышленности 4.0 для передового производства.

Guo, F., Xiao, Q., Xiao, S., & Wang, Z. (2023). Analysis on quantifiable and controllable assembly technology for aeronautical thin-walled structures. *Robotics and*

Computer-Integrated Manufacturing, 80, 102473. Анализ количественной и контролируемой технологии сборки для авиационных тонкостенных конструкций. Робототехника и компьютерно-интегрированное производство.

Harding, K. (2008). Challenges and opportunities for 3D optical metrology: what is needed today from an industry perspective. Two-and Three-Dimensional Methods for Inspection and Metrology VI, 7066, 112-119. Проблемы и возможности для 3D-оптической метрологии: что необходимо сегодня с точки зрения отрасли. Двумерные и трехмерные методы контроля и метрологии.

Karaböce, B. (2020). Challenges for medical metrology. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, 23(4), 48-55. Проблемы медицинской метрологии.

Larue, J.F., Brown, D., & Viala, M. (2015). How optical CMMs and 3D scanning will revolutionize the 3D metrology world. Integrated Imaging and Vision Techniques for Industrial Inspection: Advances and Applications, 141-176. Как оптические КИМ и 3D-сканирование произведут революцию в мире 3D-метрологии. Интегрированные методы визуализации и зрения для промышленного контроля: достижения и приложения.