

УДК 006.91

ЦИФРОВАЯ МЕТРОЛОГИЯ DIGITAL METROLOGY

Котова Е.В., Сапрыгина С.С.

Сибирский государственный индустриальный университет, Россия,
Новокузнецк

Аннотация. Цифровая метрология играет ключевую роль в обеспечении высокой точности и надежности измерений в промышленности и науке. В статье рассматриваются современные тенденции, проблемы и перспективы цифровых методов измерений, включая применение искусственного интеллекта, автоматизированных систем и анализа больших данных. Особое внимание уделяется вопросам стандартизации, кибербезопасности и интеграции цифровых измерительных систем с промышленным IoT. Анализируются вызовы, связанные с нормативным регулированием, нехваткой специалистов и техническими ограничениями. Обсуждаются перспективные технологии, такие как квантовая метрология и цифровые двойники, способные существенно повысить точность измерений и эффективность производства.

Ключевые слова: цифровая метрология, автоматизированные измерительные системы, искусственный интеллект, анализ данных, стандартизация, кибербезопасность, IoT, цифровые двойники, квантовая метрология.

Abstract. Digital metrology plays a crucial role in ensuring high accuracy and reliability of measurements in industry and science. This paper examines current trends, challenges, and prospects of digital measurement methods, including the application of artificial intelligence, automated systems, and big data analytics. Special attention is given to standardization issues, cybersecurity, and the integration of digital measurement systems with industrial IoT. The study analyzes regulatory challenges, the shortage of specialists, and technical limitations. Promising technologies such as quantum metrology and digital twins are discussed as potential solutions to enhance measurement accuracy and production efficiency.

Keywords: digital metrology, automated measurement systems, artificial intelligence, data analysis, standardization, cybersecurity, IoT, digital twins, quantum metrology.

В современном мире цифровая метрология приобретает все большее значение, обеспечивая высокую точность и надежность измерений в различных областях. Развитие компьютерных технологий способствует

переходу от аналоговых методик к цифровым инструментам и автоматизированным системам обработки данных. При этом учитываются требования международных и национальных стандартов, таких как ГОСТ Р 71561-2024 [1].

За последнее десятилетие цифровая метрология значительно изменилась: появились новые методы оценки неопределенности, специализированные программные комплексы, алгоритмы искусственного интеллекта для обработки данных в реальном времени. Это обусловлено растущими требованиями к точности и скорости измерений. В результате повысился спрос на специалистов, владеющих цифровыми методами измерений и калибровки.

Цифровая метрология объединяет классические измерительные методы и современные информационные технологии, позволяя автоматизировать многие этапы процесса, повышая оперативность, снижая ошибки и расширяя функциональные возможности анализа. Интеграция измерительных средств с глобальными сетями дает возможность удаленного мониторинга, диагностики и калибровки оборудования, сокращая временные затраты и повышая эффективность контроля. По данным предприятий, внедрение цифровой метрологии снизило затраты на метрологический контроль на 15–20 %.

Основные направления цифровой метрологии включают автоматизированные измерительные системы, средства интеллектуального анализа данных и алгоритмы машинного обучения. Применение таких технологий позволяет снизить влияние человеческого фактора, улучшить воспроизводимость измерений и обеспечить оперативную обратную связь при отклонениях. К 2024 году доля автоматизированных систем в высокотехнологичных отраслях РФ превысила 50 % [2].

Алгоритмы обработки данных постоянно совершенствуются, внедряя методы регрессионного анализа, фильтрации сигналов, выявления аномалий. Искусственный интеллект позволяет анализировать большие массивы данных, прогнозировать отклонения. Концепция цифровых двойников открывает новые возможности моделирования без проведения дорогостоящих экспериментов.

Цифровая метрология повышает конкурентоспособность предприятий, обеспечивая точный контроль качества продукции. Внедрение цифровых методов позволяет повысить производительность на 10–15 % и сократить число дефектов в два раза [3]. В научных исследованиях автоматизация сбора данных снижает субъективные ошибки и ускоряет эксперименты.

Интеграция цифровых измерительных систем с промышленным IoT дает возможность предиктивного анализа, прогнозирования отказов

оборудования. Это особенно важно в авиа-, авто- и энергетической промышленности. Вопросы стандартизации остаются актуальными: современные алгоритмы ИИ требуют адаптации нормативных документов. В РФ метрологический контроль регулируется Постановлением Правительства № 879 [2] и Приказом Минпромторга № 2510 [3].

Проблемы стандартизации связаны с многообразием решений и отсутствием единых критериев оценки точности алгоритмов ИИ. ГОСТ Р 71561-2024 [1] частично регулирует эти вопросы, но требуется доработка. Технические ограничения включают пропускную способность каналов передачи данных, точность сенсоров, необходимость мощных вычислительных систем. Решением могут стать параллельная обработка данных, калибровка сенсоров и адаптивные алгоритмы.

Кибербезопасность — ключевая проблема цифровой метрологии. Рост числа сетевых измерительных систем увеличивает риски несанкционированного доступа. Важны шифрование данных, сертифицированные платформы, защита облачных сервисов. Надежность измерений требует многоуровневого контроля качества и валидации программных средств.

Отрасли с высокой степенью автоматизации наиболее активно внедряют цифровую метрологию. В нефтегазовом секторе используются системы контроля добычи и переработки, снижая риск аварий. Аналогично, в металлургии, химической промышленности и энергетике цифровизация повышает эффективность.

Перспективы цифровой метрологии связаны с ИИ, квантовыми вычислениями, анализом больших данных. Квантовая метрология обещает революцию в точности измерений, но требует значительных инвестиций. В промышленности цифровые модели процессов повышают эффективность на 20–30 %, но существуют барьеры в виде устаревших стандартов и дефицита специалистов [4].

Научный интерес к цифровой метрологии растет: число публикаций по теме удвоилось за последние пять лет [5]. Однако уровень внедрения различается в зависимости от региона и отрасли. Инфраструктурные ограничения, нехватка стандартов и специалистов затрудняют цифровизацию, создавая вызовы для органов регулирования.

Технические барьеры включают несовместимость оборудования, необходимость стандартизации алгоритмов обработки данных. Однако развитие сенсорики и микропроцессорной техники снижает эти проблемы. Безопасность хранения данных требует резервного копирования и блокчейна, что повышает надежность и прозрачность измерительных данных [7].

Подготовка кадров — важный аспект. Вузы внедряют курсы цифровой метрологии, обучая программированию датчиков, анализу данных, IoT [8]. Это способствует развитию отрасли и удовлетворению спроса на квалифицированных специалистов.

В заключение, цифровая метрология — это ключевой элемент промышленности и науки, повышающий точность измерений и эффективность процессов. Внедрение ИИ и автоматизированных систем сокращает издержки и повышает качество. Однако нормативное регулирование, стандартизация и кибербезопасность требуют дальнейшего развития. Комплексный подход, включая обновление стандартов, технологические решения и подготовку кадров, обеспечит устойчивый рост цифровой метрологии.

Список литературы

1. ГОСТ Р 71561-2024. Средства измерений на основе искусственного интеллекта. Состав, структура и области применения. Основные положения.

2. Постановление Правительства РФ от 31.10.2009 № 879. Об утверждении положения о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации.

3. Приказ Минпромторга России от 31.07.2020 № 2510. Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке. – Официальный интернет-портал правовой информации [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202008030001> (дата обращения: 20.02.2025).

4. Антонюк, С.В. Основы метрологии, стандартизации и сертификации [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. – 120 с. URL: <https://etu.ru/assets/files/Faculty-Fibs/Vvedenie-v-specialnost/Antonyuk.pdf> (дата обращения: 20.02.2025).

5. Верещагина, А.С., Кудрявцева, Ю. Метрология, стандартизация и сертификация [Электронный ресурс]. – Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 250 с. URL: <https://urait.ru/book/metrologiya-530812> (дата обращения: 20.02.2025).

6. Пелевин, В.Ф. Метрология и средства измерений. – Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2023. – 352 с.

7. Сергеев, А.Г. Метрология. – Москва: Юрайт, 2021. – 400 с.

8. Шишмарев, А.В. Метрология, стандартизация, сертификация и техническое регулирование [Электронный ресурс]. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 300 с. URL:

https://urpc.ru/student/pechatnie_izdania/018_706215816_Shishmarev.pdf (дата обращения: 20.02.2025).