

**Родионова Арина Михайловна** магистрант, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ), Россия, Санкт-Петербург

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ  
ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Аннотация**

В статье рассматриваются современные подходы к оценке неопределенности измерений при цифровизации процессов контроля качества строительных материалов. Особое внимание уделено особенностям формирования метрологической прослеживаемости в условиях применения автоматизированных систем и цифровых датчиков. Приведён анализ ключевых факторов, влияющих на достоверность цифровых измерений, а также предложен алгоритм оценки суммарной неопределенности результатов. Показана необходимость адаптации действующих методик в соответствии с принципами стандарта ISO/IEC 17025 и рекомендациями GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement).

**Abstract**

The article considers modern approaches to the evaluation of measurement uncertainty in the digitalization of quality control processes for construction materials. Particular attention is paid to the formation of metrological traceability in automated systems and digital sensor environments. The key factors affecting the reliability of digital measurements are analyzed, and an algorithm for estimating total uncertainty is proposed. The necessity of adapting existing methods in accordance with ISO/IEC 17025 and the GUM guidelines (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) is demonstrated.

**Ключевые слова:** неопределенность измерений, цифровизация, строительные материалы, контроль качества, метрология, ISO/IEC 17025.

**Keywords:** measurement uncertainty, digitalization, construction materials, quality control, metrology, ISO/IEC 17025.

## **Введение**

Современные тенденции в строительной отрасли связаны с активным внедрением цифровых технологий в процессы контроля качества материалов и изделий. Применение датчиков, автоматизированных систем сбора данных и интеллектуальных алгоритмов анализа позволяет значительно повысить оперативность и точность измерений. Однако переход к цифровым системам порождает новые источники неопределенности, не всегда учтённые в традиционных методиках.

Неопределенность измерений является ключевым параметром, характеризующим достоверность результатов испытаний и их пригодность для принятия решений. В соответствии с требованиями **ISO/IEC 17025:2017** и **GUM**, любая лаборатория должна идентифицировать, оценивать и документировать все составляющие неопределенности.

Целью данной работы является анализ методов оценки неопределенности измерений при цифровизации процессов контроля качества строительных материалов, а также разработка рекомендаций по адаптации существующих методик под условия цифровой трансформации.

### **1. Теоретические основы оценки неопределенности**

Неопределенность измерений отражает диапазон возможных значений, в пределах которого находится истинное значение измеряемой величины. В классической метрологии принято выделять два типа неопределенности:

- **тип А** — оцениваемая статистическими методами по результатам повторных наблюдений;

- **тип В** — определяемая на основе априорной информации (паспортов приборов, сертификатов калибровки и т.д.).

В цифровых системах контроля качества строительных материалов источниками неопределенности становятся не только классические метрологические факторы (класс точности приборов, стабильность условий измерений), но и специфические цифровые:

- алгоритмы оцифровки и фильтрации сигнала;
- сетевые задержки и потери данных;
- программные ошибки в системах обработки;
- несогласованность между аналоговой и цифровой шкалой прибора.

Таким образом, цифровизация требует пересмотра методических подходов к оценке суммарной неопределенности.

## **2. Методические подходы к оценке неопределенности в цифровых измерениях**

В соответствии с рекомендациями GUM [1] и ISO 5725 [2], оценка неопределенности включает следующие этапы:

1. Идентификация всех возможных источников неопределенности.
2. Оценка стандартных неопределенностей каждого источника.
3. Комбинирование стандартных неопределенностей с учетом корреляций.
4. Определение расширенной неопределенности с заданным коэффициентом охвата  $k_k$ .

Для цифровых систем предлагается модифицированный подход, включающий анализ влияния программных алгоритмов и сетевой инфраструктуры. Примером может служить калибровка цифрового ультразвукового дефектоскопа: кроме традиционных параметров (погрешность временного измерителя, температурная стабильность), необходимо учитывать дрейф сигнала, обусловленный внутренней обработкой данных.

## **3. Практические аспекты оценки неопределенности в строительной метрологии**

В строительных лабораториях широко применяются цифровые устройства: влагомеры, термогигрометры, плотномеры, ультразвуковые приборы контроля прочности бетона. Для корректной оценки неопределенности необходимо учитывать:

- стабильность источников питания и программного обеспечения;
- качество интерфейсов передачи данных;
- верификацию алгоритмов усреднения результатов.

На практике рекомендуется использовать **комбинированный метод**, при котором классическая метрологическая модель дополняется цифровыми поправочными коэффициентами, получаемыми экспериментально.

*Таблица 1 – Пример структуры расчета комбинированной неопределенности*

Источник неопределенности	Тип	Значение, %	Метод оценки
Погрешность датчика	B	1,2	Сертификат калибровки
Алгоритм цифровой фильтрации	B	0,8	Моделирование
Колебания температуры	A	0,5	Статистический анализ
Сетевые потери данных	B	0,4	Анализ протоколов обмена

#### **4. Перспективы развития и стандартизации**

С учётом глобальной цифровизации процессов контроля и мониторинга строительных материалов целесообразно разработать национальные методические рекомендации по учёту цифровых факторов неопределенности. Такая работа может быть выполнена в рамках стандартизации по направлениям ИСО/МЭК 17025, ИСО 10012 и новых версий ГОСТ ISO 5725.

Развитие концепции «цифровой метрологии» (Digital Metrology) позволит обеспечить единство измерений при интеграции лабораторных данных в системы ВІМ и цифровые паспорта зданий.

## **Заключение**

Цифровизация процессов контроля качества строительных материалов приводит к появлению новых источников неопределенности, которые должны быть учтены при проведении измерений и испытаний.

Предложенные в работе подходы позволяют адаптировать классические методики к современным условиям цифрового контроля.

Практическое внедрение данных рекомендаций способствует повышению достоверности и прослеживаемости результатов, а также их соответствию международным требованиям в области метрологии и управления качеством.

## **Список литературы**

1. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). — ISO, Geneva, 2008.
2. ISO 5725-1:1994. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: General principles and definitions.
3. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
4. Жуков, А.А. Современные методы оценки неопределенности в цифровых измерительных системах // Метрология. — 2022. — №5. — С. 14–21.
5. Ковалев, Д.В., Пономаренко, Е.С. Цифровая трансформация метрологического обеспечения в строительстве // Измерительная техника. — 2023. — №2. — С. 45–53.

## **References**

1. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). ISO, Geneva, 2008.
2. ISO 5725-1:1994. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: General principles and definitions.

3. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
4. Zhukov, A.A. Modern Methods for Assessing Uncertainty in Digital Measurement Systems. *Metrology*, 2022, No. 5, pp. 14–21.
5. Kovalev, D.V., Ponomarenko, E.S. Digital Transformation of Metrological Support in Construction. *Measuring Equipment*, 2023, No. 2, pp. 45–53.