

**А. В. ТУМАНОВ**, канд. техн. наук, доц.  
Херсонский аграрный университет (Антоновка, Россия)

## **КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ: МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ**

**Аннотация.** Рассмотрены эволюция и современные тенденции применения компьютерных технологий в области неразрушающего контроля (НК). Анализируются ключевые методы НК, интегрированные с цифровыми системами, особенности компьютерного анализа данных, а также инновационные приборы контроля качества состояния объектов, основанные на вычислительных мощностях. Обсуждаются преимущества, перспективы и вызовы, связанные с цифровизацией НК.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, компьютерные технологии, методы контроля, приборы контроля, качество объектов, цифровое моделирование, анализ данных, машинное зрение, искусственный интеллект.

Контроль качества и оценка технического состояния объектов различного назначения – от промышленных изделий и сооружений до медицинских структур и произведений искусства – являются критически важными задачами для обеспечения безопасности, надежности и долговечности. Традиционные методы неразрушающего контроля (НК), такие как ультразвуковая дефектоскопия, радиография, магнитопорошковый и капиллярный контроль, на протяжении десятилетий служили основой диагностики. Однако экспоненциальный рост вычислительных мощностей, развитие алгоритмов обработки и анализа данных, а также повсеместное внедрение цифровых технологий кардинально трансформировали эту область. Компьютерные технологии не просто автоматизируют рутинные процессы, но и открывают новые горизонты для более точной, быстрой и комплексной оценки состояния объектов, позволяя выявлять дефекты, ранее недоступные для обнаружения. Данная статья посвящена изучению интеграции компьютерных технологий в методы и приборы неразрушающего контроля, а также их роли в повышении качества контроля.

*Эволюция неразрушающего контроля под влиянием компьютерных технологий.* Исторически, неразрушающий контроль базировался на визуальном анализе оператором показаний приборов (например, экрана осциллографа, шкалы прибора). Этот подход был подвержен субъективизму, ограничен скоростью человеческого восприятия и вычислительными возможностями. Компьютерные технологии начали активно проникать в НК с появлением:

- Цифровых преобразователей сигналов: Замена аналоговых индикаторов на цифровые дисплеи позволила оцифровывать получаемые данные.

- Микропроцессорной техники: Интеграция микропроцессоров в приборы НК дала возможность выполнять первичную обработку сигналов «на лету», фильтрацию шумов и базовую автоматизацию.

- Персональных компьютеров: Позволили проводить более глубокий анализ полученных данных, хранить результаты, создавать базы данных и генерировать отчеты.

- Современных вычислительных платформ: Высокопроизводительные компьютеры, облачные технологии и специализированное ПО открыли путь к сложным алгоритмам анализа, искусственному интеллекту и машинному обучению.

Ключевые методы неразрушающего контроля и их компьютерная интеграция

Современные методы НК в значительной степени опираются на компьютерную обработку и анализ данных.

1. Ультразвуковой контроль (УЗК): Традиционные методы: Основаны на анализе эхо-сигналов или проходящих волн. Компьютерная интеграция: Цифровые ультразвуковые дефектоскопы: Обработывают сигналы в цифровом виде, позволяя проводить сложные фильтрации, работать с А- и В-сканами. 3D-визуализация: Создание объемных моделей внутренней структуры объекта на основе множества сканов (например, при УЗК-томографии). Алгоритмы определения размера и локализации дефектов: Автоматический расчет характеристик дефектов на основе анализа амплитуды и времени прихода эхо-сигналов. Фазные решетки (Phased Array Ultrasonic Testing - PAUT): Компьютерное управление элементами преобразователя позволяет формировать электронно-управляемые ультразвуковые пучки, проводить фокусировку и механизировать сканирование. Это значительно повышает скорость и точность контроля.

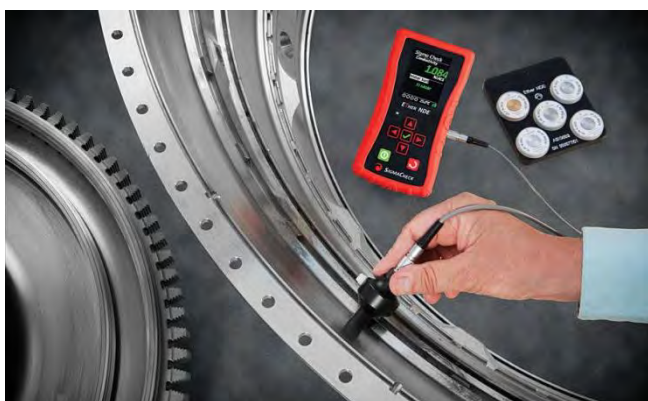


2. Радиографический контроль (РК). Традиционные методы: Использование рентгеновских или гамма-излучений с пленкой. Компьютерная интеграция: Цифровая радиография (DR) и компьютерная радиография (CR): Замена рентгеновской пленки на цифровые детекторы (пластины CR, цифровые камеры DR). Постобработка изображений: Программное усиление контрастности, фильтрация, увеличение, измерение размеров дефектов непосредственно на цифровом изображении. Автоматизированный анализ

изображений (AI/Machine Learning): Разработка алгоритмов, способных автоматически выявлять и классифицировать дефекты (поры, трещины, включения) на радиографических снимках, снижая нагрузку на оператора и повышая скорость анализа. 3D-рентгеновская томография: Создание объемных моделей внутренней структуры объекта.



3. Вихретоковый контроль (ВТК): Традиционные методы: Основаны на регистрации изменения импеданса вихретокового преобразователя при его перемещении над поверхностью объекта. Компьютерная интеграция: Цифровые вихретоковые дефектоскопы: Обработка и анализ сигналов в цифровом виде. Многочастотный ВТК: Использование нескольких частот для отдельной оценки различных параметров (толщина покрытия, наличие поверхностных дефектов). Сканирование и картирование поверхности: Создание карт распределения дефектов или изменений свойств материала. Компьютерное моделирование: Прогнозирование поведения вихревых токов в сложных геометрических объектах.



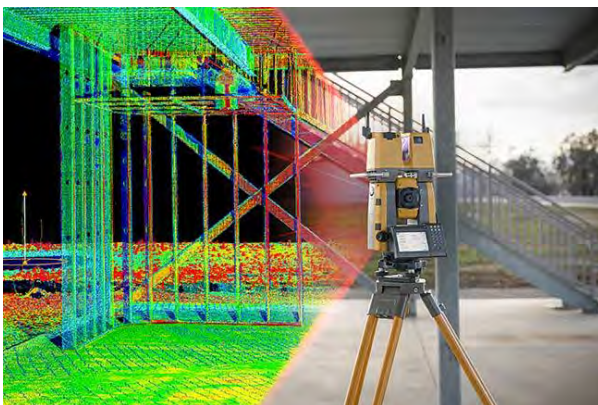
4. Магнитный и капиллярный контроль (МПК, УК): Компьютерная интеграция: Автоматизированные системы: Сканирование поверхности после нанесения магнитного порошка или проникающей жидкости. Системы машинного зрения: Фотографирование поверхности и последующий автоматический анализ изображений для выявления индикаций (следов дефектов). Алгоритмы распознавания образов: Обучение нейронных сетей для идентификации и классификации различных типов дефектов.



5. Методы акустической эмиссии (АЭ): Компьютерная интеграция: Многоканальные системы регистрации: Одновременный сбор данных с нескольких датчиков. Анализ параметров сигналов: Компьютерная обработка сигналов АЭ для определения местоположения источника (триангуляция), анализа характеристик дефекта (скорость роста трещины, тип разрушения). 3D-визуализация: Отображение зон генерации акустической эмиссии на 3D-модели объекта.



6. Оптические методы (лазерное сканирование, интерферометрия, видеонаблюдение): Компьютерная интеграция: Лазерное сканирование: Создание высокоточных 3D-моделей объектов для сравнения с проектными данными, выявления деформаций. Цифровая интерферометрия: Компьютерный анализ интерференционных картин для измерения малейших смещений и деформаций. Машинное зрение: Автоматизированный мониторинг состояния поверхностей, выявление трещин, коррозии, деформаций с помощью камер и специализированного ПО.



Приборы контроля качества состояния объектов на основе компьютерных технологий

Современные приборы НК характеризуются высокой степенью интеграции компьютерных систем, что проявляется в следующем:

- Интеллектуальные преобразователи: Преобразователи (например, фазированные решетки, комплексные вихретоковые зонды) с встроенными микропроцессорами, выполняющими предварительную обработку данных.

- Портативные компьютеры и планшеты: Интеграция с мобильными устройствами для управления приборами, визуализации данных, ведения отчетности и GPS-привязки результатов.

- Программное обеспечение для анализа: Специализированное ПО, включающее:

  - Алгоритмы постобработки изображений: Усиление, фильтрация, измерение.

  - Инструменты 3D-моделирования: Визуализация внутренней структуры, сравнение с САД-моделями.

  - Системы машинного обучения и искусственного интеллекта (AI): Автоматическое детектирование и классификация дефектов, прогноз остаточного ресурса.

  - Базы данных: Хранение истории контроля, сравнение результатов разных периодов.

- Системы дистанционного контроля: Беспилотные летательные аппараты (дроны) с интегрированными датчиками (камеры, тепловизоры, ультразвуковые сканеры) и системами автоматического анализа данных.

- Интегрированные системы мониторинга: Комплексные системы, объединяющие данные с множества датчиков (АЭ, тензодатчики, датчики температуры, смещения) и анализирующие их в реальном времени.

Преимущества компьютерных технологий в неразрушающем контроле

- Повышение точности и достоверности: Минимизация субъективного фактора, применение точных алгоритмов анализа.

- Увеличение скорости контроля: Автоматизация процессов сканирования, анализа и отчетности.

- Выявление скрытых дефектов: Возможность анализа сложных сигналов и изображений, недоступных для визуального восприятия.

- Объективность результатов: Создание цифровых протоколов, исключающих двоякое толкование.

- Хранение и анализ больших объемов данных: Возможность создания истории контроля, сравнения данных, прогнозирования.

- Автоматизация и снижение трудоемкости: Снижение нагрузки на персонал, повышение производительности.

- Возможность дистанционного контроля: Применение беспилотных аппаратов и удаленных систем мониторинга.

- Предиктивное обслуживание: Основанное на анализе данных НК, позволяет прогнозировать выход из строя и планировать ремонт.

Вызовы и перспективы

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение компьютерных технологий в НК сталкивается с рядом вызовов:

- Необходимость высококвалифицированных специалистов: Требуются кадры, сочетающие знания в области НК с навыками работы с программным обеспечением, анализом данных и AI.

- Стоимость оборудования и ПО: Высокотехнологичные приборы и специализированное программное обеспечение могут быть дорогостоящими.

- Стандартизация алгоритмов: Отсутствие единых стандартов для алгоритмов автоматического анализа изображений и сигналов.

- Интерпретация результатов AI: Необходимость валидации решений, принятых искусственным интеллектом.

- Кибербезопасность: Защита конфиденциальных данных, полученных в ходе контроля.

Перспективы развития:

- Дальнейшее развитие AI и машинного обучения: Создание более совершенных систем автоматического детектирования и классификации дефектов.

- Интеграция с BIM: Использование данных НК для создания и актуализации цифровых двойников зданий и сооружений.

- Развитие роботизированных систем контроля: Автономные роботы, способные выполнять сложные задачи НК.

- «Интернет вещей» (IoT) для НК: Создание сетей умных датчиков для непрерывного мониторинга состояния объектов.

- Облачные платформы для анализа данных: Удаленная обработка и анализ больших объемов информации.

Компьютерные технологии не просто трансформировали, но и революционизировали область неразрушающего контроля. Интеграция цифровых методов обработки и анализа данных в традиционные и новые методы НК позволила значительно повысить точность, скорость и объективность контроля качества состояния объектов. Применение интеллектуальных приборов, алгоритмов машинного обучения и систем автоматического анализа открывает новые возможности для раннего выявления дефектов, прогнозирования остаточного ресурса и обеспечения безопасности конструкций. Несмотря на существующие вызовы, связанные с внедрением и подготовкой кадров, перспективы развития компьютерных технологий в НК обещают дальнейшее повышение эффективности и надежности диагностики, что критически важно для современного индустриального и инфраструктурного развития.

Контакты

tumanovpguas@list.ru (Туманов Антон Вячеславович)