

Сведения о выполненных работах и
полученных научных результатах в 2024 году

по проекту **«Разработка математической модели и программного обеспечения для дефектоскопии снимков интеллектуального рентгеновского 3D микротомографа на основе нейро-нечеткого метода анализа, диагностики и классификации дефектов радиоэлектронной аппаратуры»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 22-19-00389

Руководитель: Сырямкин Владимир Иванович, д-р техн. наук

1. Определены основные определения, понятия, содержание и классификация методов и средств материалов и конструкций. Классификация средств неразрушающего контроля и диагностики (СНКД) рассмотрены по пяти следующим основаниями: тип используемого излучения, принцип действия, функциональное назначение, способ обработки сигнала и вид рабочей информации. Показана связь измерительных технологий с типами материалов и метрологическая база обеспечения единства измерений в нанотехнологиях. Кратко представлены СНКД такие методы, как оптические, магнитные, электромагнитные (вихретоковые), электрические, радиационные, тепловые, капиллярные, шумовые, акустические и ультразвуковые.

2. Проведен синтез универсального «Цифрового двойника» объекта на основе гибридного нейронечеткого вычислителя. (ГННВ). ГННВ состоит из 3-х уровней: формирование содержательной модели объекта; адаптивная многокритериальная нейро-нечеткая модель; нейрософкая когнитивная модель. ГННВ превосходит аналоги за счет следующих достоинств: 1) высоких функциональных возможностей, обусловленных способностью формировать «Цифровой двойник» объекта широкой номенклатуры (робототехнический комплекс, СНКД и др.); 2) высоких точностных характеристик синтеза цифровой модели объекта за счет использования объективной (математической теорий и компьютерных программ) и субъективной (привлечения знаний высококвалифицированных экспертов) информации; 3) высоких функциональных возможностях и высокой точностью синтеза «Цифрового двойника» объекта за счёт постоянного мониторинга функционирования синтезированного объекта (путём использования информации о состоянии физического объекта). Таким образом, ГННВ представляет САПР на основе нейросетей.

3. Методы, высокопроизводительные алгоритмы обработки изображений с использованием нейроподобных структур, а также качество аппаратных и программных средств обработки изображений. Обоснована модернизированная модель процесса ввода и обработки изображений, включая алгоритмы линейного локального контрастирования, персептрон со многими выходами, двумерную матрицу нейронов, упрощенную структуру нейросети, структуру нейросети для выделения контура изображения на основе операторов Лапласа и Собела. Синтезированы алгоритмы выделения контуров объектов на изображении с использованием PCA (principal component analyze) нейросети, например, бинаризация

и скелетизация изображения и др. Рассмотрено качество обработки передачи и анализа изображений (ОПАИ) в соответствии с международным стандартом качества ИСО 9000-2008, связывающего также характеристики как уровень определяющего показателя качества, значение оценочного показателя и базовые значения того же оценочного показателя; определены основные требования к системам ОПАИ, включая применение рентгеновского датчика изображений.

4. Разработаны основы теории и экспериментальные результаты создания трехмерных математических моделей, описывающих аппроксимацию дефектов элементов РЭА по изображениям, полученным рентгеновским 3D микротомографом. Разработан алгоритм анализа многомерных (двух- и трехмерных, цветных) изображений, основанный на корреляционной обработке изображений и позволяющий определять положение контролируемого объекта и его поверхностные цветные дефекты. Рассмотрены варианты трехмерных СНКД на основе рентгеновского датчика изображений: классическая трехмерная рентгеновская мехатронная схема для контроля малогабаритных объектов, (элементов РЭА, микросхем, печатных плат). Модернизированная трехмерная рентгеновская мехатронная схема для контроля крупногабаритных объектов (корпусов, печатных плат) и комбинированная быстродействующая трехмерная для диагностики крупногабаритных изделий (широкоразных печатных плат, корпусов, шестерен и др.); для проектирования универсального СНКД синтезирована блок-схема «Цифрового двойника» рентгеновского 3D микротомографа. Построена трехмерная математическая модель, описывающая послойно дефекты элементов РЭА (например, печатных плат), использующая сглаживающие сплайны; это обеспечивает построение карт изолиний дефектов элементов РЭА.

5. Метрология и синтез «Цифрового двойника» программного обеспечения системы диагностики элементов РЭА. Впервые разработаны и применены блок-схема и операторная ленточная схема «Цифрового двойника» программного обеспечения универсальной распределенной системы диагностики элементов РЭА; приведена классификация метрик качества программных средств СНКД (Тейнера, Денесенко, Холстеда, сложности потока управления программ и числа точек пересечения).

6. Дополнение первоначальной (созданной) базы данных дефектов и особенностей исследуемых материалов и элементов РЭА. Дополнена база неисправностей элементов РЭА дефектами конденсаторов, резисторов, катушек индуктивности, сварных соединений материалов (микротрещины), топологии печатных плат; особенно дополнительно рассмотрены модели изображений дефектов печатных плат (17 типов дефектов), например, смещение контактных площадок, изменение размеров разъемных контактов и др.).

7. Синтез собственной архитектуры (на основе уже существующих) нейронной сети для поиска дефектов в 3-х мерных моделях по снимкам, полученным рентгеновским 3D микротомографом. Программное обеспечение имитирует исследование бти дефектов проводников и печатных плат (разрыв, замыкание, вырыв, выступ, остров, прокол) путем зашумленности 1500 реальных снимков ПП с

разрешением 640x640 пикселей. В качестве нейронной сети для обнаружения дефектов были модернизированы 2 варианта сетей – двухэтапная FasterR-CNN и одноэтапная YOLOv8. Для обработки изображений разработаны также блоки нейросети, как автоэнкодеры, энкодеры, декодеры.

Результаты проекта можно практически использовать для контроля и диагностики элементов РЭА и другой аппаратуры, а также для формирования новых инновационных технологических процессов в России и за рубежом. Разработанное алгоритмическое и программное обеспечение можно также использовать в научных исследованиях и учебном процессе. Следует отметить, что достигнутые высокие результаты по контролю и диагностике элементов РЭА, с помощью нейро-сетевых технологий и цифрового рентгеновского 3D микротомографа свидетельствует о приоритете России в этой высокой технологичной области.