

ГВАИ ОД	Документ зарегистрирован
	« 21 » 05 2026 г.
	Вх. № 81-179/26

Первый проректор
д.х.н., профессор

УТВЕРЖДАЮ

Н.И. Прокопов
«26» 03 2026

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«МИРЭА – Российский технологический университет»

на диссертационную работу Чуприновой Ольги Витальевны
«Техническая диагностика печатных узлов тепловизионным методом
неразрушающего контроля»
представленную на соискание степени кандидата технических наук
по научной специальности 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики
материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки)

Актуальность диссертационной работы

Диссертационная работа Чуприновой О.В. посвящена решению актуальной научно-практической задачи – повышению оперативности контроля и диагностики печатных узлов радиоэлектронной аппаратуры. В условиях реализации стратегий цифровизации и импортозамещения, качество выпускаемой электронной продукции становится критическим фактором конкурентоспособности и национальной безопасности. Традиционные методы оптической инспекции и электрического контроля обладают ограничениями – первые не выявляют скрытые дефекты, а вторые требуют физического контакта с объектом контроля и не всегда локализуют проблему на ранней стадии. Тепловизионный контроль, будучи бесконтактным и информативным не находил широкого применения из-за сложности интерпретации термограмм. Предложенное автором диссертации решение – интеграция известного тепловизионного метода с современными технологиями искусственного интеллекта – полностью соответствует современным тенденциям развития контрольно-измерительных систем и позволяет не только автоматизировать процесс выявления дефектов, но и прогнозировать остаточный ресурс изделий

радиоэлектроники. Таким образом, тема диссертации является актуальной и своевременной.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа Чуприновой О.В. состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 106 пунктов, 9 приложений. Общий объем работы составляет 139 страниц текста, включая 41 рисунок и 11 таблиц. Структура работы логически выстроена и полностью соответствует поставленной цели и задачам исследования.

Во введении обоснована актуальность, степень разработанности проблемы, сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая значимость работы, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ современных методов неразрушающего контроля печатных узлов. Автором не только рассмотрены достоинства и недостатки оптических, рентгеновских и электрических методов, но и выполнена количественная оценка влияния человеческого фактора на оперативность контроля и диагностики. С помощью разработанной имитационной модели «СканСим» автор доказала, что предварительная тепловизионная диагностика с интеллектуальной поддержкой позволяет сократить время контроля партии изделий до 20%. Заслуживает внимания разработанный на доступной элементной базе (тепловизионный датчик AMG8833, модуль Arduino) программно-аппаратный комплекс, что показывает возможность создания доступных автоматизированных средств контроля и диагностики.

Во второй главе автором предложена оригинальная методика оценки количества возможных неисправностей в печатном узле, позволяющая обосновать объем обучающей выборки для нейросети. Проведенный автором в работе сравнительный анализ методов машинного обучения показал целесообразность использования для решения задачи классификации дефектов метода обучения с учителем. Разработанная математическая модель обработки термограмм, основанная на векторизации температурных данных и

использовании нейронной сети прямого распространения с регуляризацией и пакетной нормализацией, обеспечивает высокую точность классификации. Представленные в работе метрики оценки «матрица ошибок», «Precision», «Recall», «F1-score» и графики обучения подтверждают адекватность и устойчивость разработанной модели.

В третьей главе печатный узел рассматривается автором с точки зрения физики отказов. Анализируются деградационные процессы в печатных узлах и электронных компонентах, среди которых: термомеханические напряжения, электромиграция, коррозия. Для количественной оценки влияния температуры на скорость старения компонентов печатного узла адаптировано уравнение Аррениуса с заменой универсальной газовой постоянной на постоянную Больцмана, что корректно для электронных компонентов, где энергия активации задается в электрон-вольтах. Разработанный автором алгоритм по отклонению температур от эталонных, полученным по данным тепловизионного контроля, позволяет оценить изменение наработки на отказ всего печатного узла.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

Приложения содержат листинги программ, копии свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и акты внедрения, подтверждающие практическую реализацию результатов.

Достоверность результатов проведенных исследований обеспечивается:

- корректным использованием математического аппарата: теории вероятностей, машинного обучения, математической статистики;
- высокой точностью (до 98%) разработанной нейросетевой модели, подтвержденной на тестовой выборке с использованием объективных метрик;
- апробацией основных результатов на 6 международных форумах и конференциях;

– достаточной публикационной активностью автора: 25 научных работ, из них 6 в рецензируемых изданиях из перечня ВАК, 2-я свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ;

– наличием актов о внедрении результатов в учебный процесс ГУАП и производственную деятельность предприятий ООО «Нью-Лайн» и ООО «Бергмаш».

Научная новизна

1. Программно-аппаратный комплекс, реализующий тепловизионный метод неразрушающего контроля, отличается от известных тем, что обработка полученных термограмм осуществляется искусственной нейронной сетью, что позволяет повысить оперативность проведения контроля и диагностики печатных узлов.

2. Математическая модель обработки термограммы с помощью искусственной нейронной сети отличается от известных тем, что основана на упрощенной обработке численных данных, полученных при тепловизионном контроле, что позволяет повысить оперативность выявления дефектов печатного узла.

3. Алгоритм оценки влияния перегрева компонентов отличается от известных тем, что учитывает отличия температуры компонентов от эталонных значений и позволяет оценить изменение надежности печатного узла.

Практическая значимость работы

1. Программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий повышение оперативности проведения контроля и диагностики печатных узлов до 20%, в сравнении с ручным методом.

2. Математическая модель обработки термограмм позволяет автоматизировать процесс тепловизионного контроля и сократить количество ошибок диагностирования, связанных с влиянием человеческого фактора до

15%, а также увеличить оперативность проведения контроля и диагностики до 40%.

3. Алгоритм оценки влияния перегрева компонентов, позволяющий повысить точность оценки надежности печатного узла на 5-7 % за счет оценки влияния реальных температур компонентов.

Замечания и вопросы по диссертационной работе

Положительно оценивая диссертационную работу в целом, следует отметить некоторые замечания:

1. В работе для построения термограмм используется тепловизор с низким разрешением (8x8 пикселей). Не совсем ясно, как будет масштабироваться предложенная математическая модель и нейросеть при использовании промышленных тепловизоров с разрешением 320x240 пикселей и выше. Потребуется ли это полного переобучения сети или возможен трансфер обучения?

2. В работе на страницах 8, 46, 104 приводятся конкретные цифры повышения оперативности (до 20%, до 40%), однако из текста диссертации неясно как были получены эти значения.

3. Автор использует всего 90 наблюдений для обучения нейросети (страница 59) на 15 классов неисправностей (страницы 57-58), что может вести к переобучению модели.

4. В тексте встречаются опечатки, например, страницы 12-13, 16, 22-25. График на рисунке 35, приведённый на странице 90, подписан как «зависимость логарифма константы скорости от температуры», но на оси абсцисс указана температура в градусах Цельсия, в то время как уравнение Аррениуса требует использования абсолютной температуры в Кельвинах.

Указанные замечания носят рекомендательный или уточняющий характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования что, впрочем, не снижает общей ценности результатов диссертационного исследования.

Заключение

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.2.8 – «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки)» по пунктам:

п.1 – «Научное обоснование новых и совершенствование существующих методов, аппаратных средств и технологий контроля, диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующее повышению надёжности изделий и экологической безопасности окружающей среды»;

п.4 – «Разработка методического, математического, программного, технического, приборного обеспечения для систем технического контроля и диагностирования материалов, изделий, веществ и природной среды, экологического мониторинга природных и техногенных объектов, способствующих увеличению эксплуатационного ресурса изделий и повышению экологической безопасности окружающей среды»;

п.6 – «Разработка математических моделей, алгоритмического и программно-технического обеспечения обработки результатов регистрации сигналов в приборах и средствах контроля и диагностики с целью автоматизации контроля и диагностики, подготовки их для внедрения в цифровые информационные технологии».

Диссертация Чуприновой О.В. является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной научно-практической задачи повышения оперативности процесса контроля и диагностики неисправностей печатных узлов за счёт разработки нового программно-аппаратного комплекса, реализующего тепловизионный метод неразрушающего контроля.

По актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов диссертационная работа соответствует требованиям, установленным положением о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Чупринова О.В. – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.8 – «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки)».

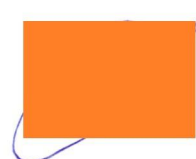
Отзыв ведущей организации обсужден и утвержден на расширенном заседании кафедры электротехнических систем 26 марта 2026 г., протокол № 8.

И.о. заведующего кафедрой
электротехнических систем ИРИ,
к.т.н.



М.С. Родюков

Профессор кафедры
электротехнических систем ИРИ,
д.т.н., доцент



С.А. Микаева

Доцент кафедры
электротехнических систем ИРИ,
к.ф.-м.н., доцент



М.А. Назаренко

Сведения о ведущей организации:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»

Почтовый адрес: 119454 г. Москва, проспект Вернадского, дом 78

Официальный сайт в сети Интернет: <https://www.mirea.ru/>

Телефон: +7 499 600-80-80

e-mail: mirea@mirea.ru