

ОТЗЫВ

официального оппонента **Светлова Анатолия Вильевича**, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Радиотехника и радиоэлектронные системы» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, на диссертационную работу Гирина Романа Викторовича «Интеллектуальная информационно-измерительная система тепловизионного диагностирования технических объектов на основе нейронной сети», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы (технические системы)»

1. Актуальность диссертационного исследования

Техническая диагностика и неразрушающий контроль качества играют все возрастающую роль в тех секторах промышленности, где требуется повышенная надежность технических систем (авиационная и космическая техника, железнодорожный транспорт, радиоэлектроника, робототехника). Одним из эффективных методов является контроль объектов с использованием тепловизионного диагностирования состояний по температурному полю поверхности объекта. Однако в большинстве случаев приходится решать проблему анализа в течение короткого времени большого числа термограмм, имеющих сложный вид и содержащих много информации. Использование экспертов и операторов для этой цели не позволяет в реальном времени реагировать на изменения технических состояний контролируемых объектов. В связи с этим актуальной является задача разработки автоматизированных информационно-измерительных систем оперативной диагностики с использованием средств интеллектуализации обработки измерительной информации.

В связи с недостаточным уровнем технических разработок в данной области, диссертационная работа Гирина Р.В., посвященная повышению точности и сокращению времени контроля при тепловизионном диагностировании технических объектов на основе разработки интеллектуальной информационно-измерительной системы (ИИИС) с использованием глубоких нейронных сетей, является актуальной и имеющей важное значение для науки и техники.

Об актуальности темы диссертации говорит и тот факт, что работа выполнялась в рамках проектов СамГТУ по Федеральной целевой

программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы».

2. Анализ структуры и содержания работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Работа изложена на 172 страницах, список литературы содержит 134 наименования.

Во *введении* кратко изложена актуальность темы, состояние исследований в данной области, сформулированы цели и задачи исследований.

В *первой главе* рассмотрены возможности использования информационно-измерительных систем тепловизионного диагностирования при определении технических состояний и выявления неисправностей технических объектов. Проведен анализ проблем технического диагностирования на основе сравнительной инфракрасной термографии. Сформулирован интеллектуальный метод анализа состояний контролируемого объекта при тепловизионном диагностировании. Рассмотрена процедура формирования модельных термограмм для тепловизионного диагностирования.

Во *второй главе* предложена архитектура и разработана структура интеллектуальной ИИС для тепловизионного диагностирования. Разработан нейросетевой анализатор на базе глубокой конволюционной нейронной сети. Исследованы метрологические характеристики измерительных каналов ИИС, в том числе и включающие искусственную нейронную сеть. С помощью методов понижения размерности признаков проведен анализ обучающей выборки и оценка ее зашумленности.

В *третьей главе* предложена методика конструирования программной реализации нейронных сетей, использованных при интеллектуализации ИИС. Разработана методика декомпозиция логики ИИС и построен шаблон «Проектировочный грид». Предложено новое построение функции активации выходного слоя нейронной сети для классификации технических состояний.

В *четвертой главе* описаны результаты экспериментального исследования нейросетевого анализатора для диагностики. Приведены примеры использования интеллектуальных ИИС с нейронными сетями в практических применениях.

В *приложении* приведены документы о внедрении результатов работы в промышленность и использовании в учебном процессе.

3. Научная новизна работы и полученных результатов

В диссертационной работе, в процессе решения поставленных задач автором получены следующие новые научные результаты.

1. Разработан интеллектуальный метод классификации технических состояний объекта с использованием информационно-измерительных систем тепловизионного диагностирования, отличающийся применением сравнительной инфракрасной термографии, формированием базы данных комплексных модельных термограмм, а также нейросетевого программного анализатора, обучающегося на комплексных модельных термограммах, что позволило повысить точность классификации отказов и автоматизировать принятие решений по техническому обслуживанию объекта контроля.

2. Предложен нейросетевой программный анализатор термограмм и дополнительных параметров объекта, отличающийся введением двухветвенной глубокой нейронной сети, состоящей из многослойной конволюционной сети и полносвязной сети, что обеспечило повышение достоверности классификации отказов и уменьшение времени анализа термограмм.

3. Предложена функция активации выходного слоя нейросетевого программного анализатора термограмм, отличающаяся последовательным применением нормализации по диапазону и линейной нормализации, что обеспечило повышение точности и информативности классификации распознаваемых состояний контролируемого объекта.

4. Разработана методика объектно-ориентированного проектирования программной логики искусственных нейронных сетей для анализа термограмм, отличающаяся набором формальных правил декомпозиции программной логики сети и использованием предложенного шаблона, основанного на решеточной структуре взаимосвязей абстрактных доменных классов и программных интерфейсов нейронной сети.

В диссертационной работе Гириной Р.В. в процессе исследований также получил ряд новых частных решений, представляющих научный интерес:

- формальное описание предложенных комплексных модельных термограмм;

- подход к анализу методической погрешности измерительного канала с искусственной нейронной сетью в его составе;
- использование математических методов понижения пространства признаков для оценки обучающей выборки для нейронной сети.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений

Автор корректно использует результаты известных научных исследований для обоснования положений, изложенных в диссертации. Список использованной литературы содержит 134 наименования, включающих современные труды отечественных и зарубежных ученых и интернет-источники.

При обосновании основных результатов и выводов использованы достаточно строгие математические выкладки. Для оценки достоверности работы предложенных нейронных сетей автор использует математические методы снижения размерности. Оценки погрешностей основаны на известной методике метрологических моделей измерительных каналов. Вывод выражений для оценки результирующих погрешностей разрабатываемой ИИС выполнен на основе строгих математических выкладок. Экспериментальные исследования подтверждают правильность научных положений.

Научные положения, выводы и заключения соискателя достаточно полно отражены в опубликованных научных трудах. По результатам исследований Гириным Р.В. опубликовано 13 научных работ, в том числе 3 в рецензируемых изданиях из списка ВАК РФ по соответствующей научной специальности, 1 работа опубликована в зарубежном издании, индексирующемся в Scopus. Получены 2 свидетельства на программы для ЭВМ.

Основные результаты работы обсуждались на 7 научно-технических конференциях. В публикациях, выполненных с соавторами, соискатель четко обозначил личный вклад в выполненные исследования.

4. Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики

Полученные в диссертации результаты имеют теоретическую и практическую ценность и доведены до реального внедрения.

Предложенный метод интеллектуализации ИИС тепловизионного диагностирования на основе нейронных сетей и разработанная ИИИС позволяют в реальном времени проводить дистанционную диагностику сложных технических объектов, применяя метод неразрушающего контроля.

Разработанная программная библиотека на платформе CLR на языке C# для построения и обучения искусственных нейронных сетей является отечественным программным продуктом, независимым от других программных систем.

Результаты диссертационного исследования внедрены в АО НПЦ «ИНФОТРАНС», г. Самара, в системах термографического контроля контактной сети железной дороги и диагностики рельсовых скреплений железнодорожного пути. Также результаты используются при выполнении крупного проекта по созданию роботизированной системы сельскохозяйственных автомобилей на базе семейства автомобилей КАМАЗ с автономным и дистанционным режимом управления.

Материалы по методике построения интеллектуальных ИИС и оценки их погрешностей использованы при изучении дисциплин направлений магистратуры в учебном процессе СамГТУ.

5. Замечания по диссертационной работе

1. Не показано, как в общем случае выбирать дополнительно измеряемые величины для регуляризации обратной задачи классификации.

2. В диссертации в одних местах говорится о базе данных термограмм (с.41), в других местах – о базе знаний (с.42 и с. 48). При этом в разработанной ИИС используется только база данных, а база знаний должна реализовываться в системе принятия решений.

3. Не ясно, как влияет внешнее освещение контролируемого объекта на точность формирования термограмм с помощью тепловизора?

4. Не рассмотрены случайные составляющие погрешности измерительного канала с тепловизором.

5. Не сформулированы требования к выбору математических моделей теплообмена для построения обучающей выборки термограмм для нейронных сетей.

6. В работе не приведены конкретные сведения о конструктивных параметрах рассматриваемого электронного прибора – фоточувствительной матрицы на ПЗС.

7. В тексте диссертации личный вклад автора в развитие данного научного направления целесообразно акцентировать в более явной форме, используя фразы: «автором предложено, разработано» и т. п., с библиографическими ссылками на печатные труды автора. Применяемый автором стиль изложения не всегда позволяет четко разграничить новые результаты, полученные автором, и известные сведения.

Указанные замечания не снижают научной ценности диссертационной работы в целом и не изменяют сущности результатов, выводов и рекомендаций представленной работы.

6. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

На основании анализа диссертации, автореферата и опубликованных автором работ считаю, что диссертационная работа Гирина Р.В. представляет собой завершенную научную квалификационную работу.

В диссертации разработаны теоретические положения, которые можно рассматривать как новые достижения в развитии перспективного направления интеллектуализации информационно-измерительных систем для диагностики технических систем.

Диссертационная работа содержит новое решение актуальной научно-технической задачи по совершенствованию информационно-измерительных систем для тепловизионной диагностики технических объектов с повышенной точностью и быстродействием классификации дефектных состояний.

Диссертация написана ясным научным языком и хорошим стилем, позволяющим получить полное представление о выполненных исследованиях. Полученные результаты полностью соответствуют поставленным задачам.

Автореферат диссертации Гирина Р.В. соответствует содержанию диссертационной работы. В нем изложены основные достижения и выводы, показаны степень научной новизны и практическая значимость результатов.

Диссертация соответствует пунктам паспорта специальности 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (технические системы): п. 5 «Методы анализа технического состояния, диагностики и идентификации информационно-измерительных и управляющих систем, п. 6 «Исследование возможностей и путей совершенствования существующих и

создания новых элементов, частей, образцов информационно - измерительных и управляющих систем, улучшение их технических, эксплуатационных, экономических и эргономических характеристик, разработка новых принципов построения и технических решений».

Вышеизложенное подтверждает соответствие представленной диссертационной работы всем требованиям Положения ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Гирин Роман Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (технические системы).

Официальный оппонент:

Светлов Анатолий Вильевич, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Радиотехника и радиоэлектронные системы»
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
Тел.: (841-2) 368217; Факс (841-2) 565122
E-mail: retch@pnzgu.ru

 А.В. Светлов

«05» 08 2019 г.

Докторская диссертация защищена по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерений (электрические и магнитные величины)

Подпись Светлова А.В. удостоверяю.

Ученый секретарь Ученого совета ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», к.т.н. Дорощенко



О.С. Дорофеева

08. 2019 г.