

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента**

**доктора технических наук, профессора Шорина Олега Александровича**

**на диссертацию Локтева Даниила Алексеевича**

**на тему: «Методы и моделирование измерительной системы контроля**

**объектов транспорта по их изображениям»**

**на соискание учёной степени доктора технических наук по**

**специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные**

**методы и комплексы программ**

**Актуальность избранной темы.** Актуальность темы диссертационного исследования Локтева Д.А. обоснована увеличением роли информационных и автоматизированных систем и комплексов в различных областях человеческой деятельности, например, в транспортной отрасли, где растёт значение своевременного выявления дефектов транспортной инфраструктуры и дорожного полотна, а также дистанционного контроля транспортных и пассажирских потоков. Проектирование подобных измерительных систем контроля объектов входит в такие приоритетные направления развития науки, технологии и техники в Российской Федерации, как «Безопасность и противодействие терроризму» и «Информационно-телекоммуникационные системы», и способствует развитию критических технологий «Технологии информационных, управляющих, навигационных систем» и «Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», а также связано с федеральным проектом «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» и проектом ОАО «РЖД» «Цифровая железная дорога».

Получение информации о реальных объектах на основе анализа их образов и реализация таких методов и алгоритмов в измерительной системе контроля позволяет автоматизировать контроль технического состояния объектов транспортной системы, таких как объекты инфраструктуры, железнодорожное полотно, транспортные средства, отслеживать пассажиропоток, при этом уменьшая финансовые расходы на создание и

обеспечение работоспособности подобных систем как с помощью унификации устройств получения информации (использовании только камер одного типа для определения множества различных характеристик объектов), так и расширением диапазона применения системы контроля и увеличением ее функциональности без дополнительных настроек рабочего места и добавления аппаратных блоков. При этом использование анализа размытия объектов на изображении для определения параметров объектов предполагает извлечение полезной информации из шумовой составляющей получаемого сигнала. Подобный подход позволяет увеличить информационную емкость отдельных фрагментов изображения, получать дополнительную информацию путем обработки состояния образа объекта, что также приводит к экономии вычислительных мощностей и рациональному использованию пропускной способности каналов передачи данных в системах измерений и мониторинга.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.** Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается проведенными автором теоретическими и экспериментальными исследованиями, корректным применением математического аппарата, в том числе методов статистической обработки результатов экспериментов, применением современных программных комплексов, положительными результатами внедрения на предприятиях, а также достаточным уровнем анализа научно-технической литературы по рассматриваемым вопросам и корректным формулированием на его основе задач.

**Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций.** Достоверность полученных результатов диссертации подтверждается обоснованным использованием известных соотношений и законов, приводимых в классической литературе по математическому моделированию, численным методам, системам и методам контроля и мониторинга объектов различной природы и наиболее цитируемых современных источниках, строгих аналитических и численных процедурах, которые могут быть проверены на любом этапе вычислительного процесса.

На различных этапах исследования полученные результаты сравниваются с результатами ведущих отечественных и зарубежных ученых и опираются на существующую теоретико-методологическую и нормативно-справочную базу.

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций диссертации состоит:

- в моделировании измерительной системы контроля объектов транспорта на основе набора признаков, их описывающих, и использования размытия образа объекта в качестве нового информативного критерия;
- в разработке метода определения удалённости объекта контроля, его размеров, скорости, направления движения на основе анализа размытия образа объекта на стереопаре;
- в разработке численного метода определения размытия образа объекта и алгоритма для изменения фокусного расстояния видео- или фотодетекторов;
- в разработке метода определения динамических параметров транспортных средств на основе предлагаемых математических моделей транспортных средств и полученных на основе анализа изображений геометрических и кинематических параметров объекта;
- в разработке метода выбора алгоритмов получения первичной информации и распознавания объекта на основе предлагаемых эвристических правил и размытия образа объекта; алгоритмов для распознавания и детектирования объектов в инфракрасном и ультразвуковом диапазонах длин волн в средах с низкой прозрачностью в видимом диапазоне;
- в разработке на основе предложенных методов и алгоритмов программного комплекса контроля объектов транспортной системы с возможностью имитации различных условий его работы.

**Значимость результатов работы.** Теоретическая и практическая значимость определяется широкой областью возможного применения результатов работы: разработанные модели, методы, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение позволяют внедрить в современные измерительные системы контроля новые эффективные

инструменты получения и обработки информации о подвижных объектах и объектах инфраструктуры. Представляемые положения могут найти и, в некоторых случаях, уже нашли применение в системах диагностирования, измерений, мониторинга и контроля объектов, в том числе в транспортной отрасли.

Оригинальность и научная значимость полученных результатов подтверждается публикациями в российских и зарубежных рецензируемых изданиях. По теме диссертации опубликовано 80 научных работ, в том числе 28 статей в журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ, 20 статей – в изданиях, индексируемых в Scopus и WoS. Получено 8 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, что подтверждает практическую значимость исследования.

Работа выполнена в рамках научного направления «Определение параметров подвижных и неподвижных объектов по серии их изображений и разработка программных приложений для комплексной системы мониторинга» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)» и при поддержке Фонда содействия инновациям (договор № 13048ГУ/2018, Автонет-2017), Российского научного фонда (проект № 14-49-00079), Министерства образования и науки Российской Федерации (НИР Госзадание №2.5048.2017/8.9).

**Оценка содержания диссертации.** Диссертацию Локтева Д.А. можно считать целостной, законченной и самостоятельной научно-квалификационной работой. Содержание и структура работы соответствует поставленной цели исследования, критерию внутреннего единства. Решение задач диссертации и полученные результаты излагаются в чёткой логической последовательности технически грамотным языком. Сформулированные автором положения, выводы и рекомендации являются новыми, четкими и аргументированными. По тексту диссертации приведены корректные ссылки на материалы, входящие в библиографический список, где приведены основные работы по теме диссертации, в том числе опубликованные автором.

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, библиографического списка, насчитывающего 338 наименований, приложения и изложена на 336 страницах, содержит 20 таблиц, 127 рисунков.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации. Указаны цель и задачи работы, кратко изложена структура диссертации, охарактеризована ее научная новизна, практическая значимость, личный вклад автора в работу, апробация и реализация результатов работы. Тематика работы отнесена с основными положениями паспорта специальности.

**В первой главе** приведена классификация объектов транспортной системы, в том числе отдельно по внешним дефектам железнодорожного пути и прилегающих к нему элементам путевого хозяйства и транспортных средств. Приведены основные понятия, касающиеся систем контроля и мониторинга, проклассифицированы существующие системы по области применения и способу получения данных, а также методологии их проектирования, рассмотрены существующие аналоги и приведены основные инструментальные средства для разработки подобных систем. Предложена концептуальная модель комплекса программ измерительной системы контроля и мониторинга объектов транспорта, где в качестве основного информативного критерия предложено использовать размытие изображения объекта.

**Вторая глава** включает в себя анализ методов получения первичной информации о подвижных и неподвижных объектах с указанием недостатков существующих методов и алгоритмов определения геометрических и кинематических параметров объектов. Предложено понятие меры размытия изображения, используемое для определения характеристик объектов. Предложена модель размытия образа объекта, в которой учитываются не только внутренние характеристики элементов системы детектирования, но и внешние параметры – параметры среды и самого объекта наблюдения.

**В третьей главе** разработан метод определения параметров состояния и поведения объектов на основе использования анализа размытия образа на стереопаре. Рассмотрены различные варианты аппроксимации как с помощью классических методов статистического анализа, так и с помощью

нахождения коэффициентов аппроксимации с использованием свёрточной нейронной сети. В ходе численного моделирования продемонстрировано, что наилучшее приближение к реальным геометрическим параметрам исследуемого объекта дает разработанный метод. Для проверки адекватности предлагаемой модели рассмотрен критерий Фишера при нормальном распределении ошибок. Предложен численный метод определения величины размытия границ объекта на изображении с использованием итерационной схемы обработки изображения, где при прохождении разных уровней разрешающей способности от более грубой до более точной происходит уточнение получаемой величины. На основе этого метода разработан алгоритм настройки фокусного расстояния камеры и приведены варианты вычисления размеров, скорости и направления движения объекта на основе найденной удаленности от камеры.

**В четвертой главе** разработан метод определения динамических параметров транспортных средств на основе их математических моделей, выбор которых зависит от количества степеней свободы и габаритов объектов с использованием моделей колебательных систем и с учётом упругих, вязких элементов и элементов сухого трения. Для задания начальных значений переменных в полученной системе уравнений используется серия изображений транспортного средства, по которой определяются положения отдельных точек кузова и колеса до наезда на искусственное препятствие и при непосредственном расположении первой и второй колесной пары на нём.

**В пятой главе** предложен метод выбора получения первичной информации и распознавания объектов транспорта по их размытию. Определена логико-лингвистическая модель с учетом предложенных лингвистических переменных «контрастность», «расстояние», «скорость» и выходной переменной «возможность обработки информации». Рассмотрены алгоритмы распознавания объектов с использованием примитивов Хаара и характерных точек для изображений, полученных в видимом диапазоне.

**Шестая глава** содержит рассмотрение задач распознавания и детектирования объектов в среде с низкой прозрачностью, для чего

предложены алгоритмы обработки изображений как в инфракрасном диапазоне, так и с помощью ультразвука.

**Седьмая глава** посвящена проектированию программного комплекса измерительной системы контроля, включая описание интерфейса, отдельных функций и сценариев работы с ним, различных режимов его работы с возможностью имитации различных внешних условий, а также размещения элементов детектирования для неподвижной системы наблюдения.

**В заключении** приведены основные выводы, рекомендации и научные результаты, разработанные и обоснованные в диссертации.

Диссертация Локтева Д.А. «Методы и моделирование измерительной системы контроля объектов транспорта по их изображениям» по широте и глубине охвата проблемы, содержанию и оформлению отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук.

**Соответствие паспорту научной специальности.** Диссертация Локтева Д.А. соответствует паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (п.1, 3, 5, 7, 8). В работе присутствуют оригинальные результаты одновременно из всех трех необходимых областей: математического моделирования, численных методов и комплексов программ.

**Соответствие автореферата диссертации.** Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации, раскрывает основные положения работы и полученные результаты. В заключении автореферата приведены основные выводы по диссертации.

**Замечания.** В рецензируемой диссертационной работе, помимо существенных достоинств, присутствуют и некоторые недостатки:

1. В главе 1, на стр. 50 автор предлагает в качестве информационной меры использовать показатель СКО распределения, что отличается от известных определений количества информации. Далее для отношения сигнал/шум автор предлагает использовать отношение СКО сигнала и шума, а не квадратов указанных значений. Желательно было бы привести для них дополнительные исследования, подтверждающие их эффективность.

2. Все исследования по размытости изображений, составляющих одно из защищаемых положений, базируются на анализе детерминированной кривой, снятой для аппарата Nikon D3100 или Galaxy S10+ (см. рис. 2.24-2.25, 3.1 – 3.18, 3.23-3.24), при этом следовало обобщить результаты и на другие технические средства.

3. На стр. 164 формула (3.47) противоречива, т.к. взвешенная сумма показательных функций  $\sum W_i x_i^{-b}$  не может быть представлена как функция от линейной комбинации ( $W*x+b$ ).

4. Стр. 196 упоминается об «улучшении быстродействия» с помощью применения аппарата нейросетей, но в данной главе нейросеть рассматривалась только как техника для полиномиальной аппроксимации, которую можно осуществить гораздо более простыми способами.

5. На стр. 233 и далее автор для расчета затрат производительности обращается к платформе реализации на базе ЦП ПК с различными значениями тактовой частоты. Это довольно странно для задач обработки графической информации. В настоящее время наоборот, пытаются высокозатратные процессы перевести из области задач ЦП (CPU) в область задач графического процессора (GPU).

6. На стр. 234-235 автор использует графики (рис. 5.9 – 5.11) для ошибок 1-го и 2-го рода, возникающих при решении задач различения. Это не согласуется с общепринятым определением ошибок 1-го и 2-го рода, которые используют в задачах обнаружения, но не различения.

Отмеченные недостатки не снижают значимости работы и не уменьшают общего положительного впечатления от диссертации.

### **Заключение.**

В целом, диссертационная работа Локтева Даниила Алексеевича «Методы и моделирование измерительной системы контроля объектов транспорта по их изображениям» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, актуальную как для транспортной отрасли, так и для других отраслей, где используются измерительные системы контроля. Основные выводы по результатам исследований достоверны и обоснованы. В работе на основании выполненных автором исследований изложены новые



научно обоснованные теоретические основы и технические решения по определению параметров объектов по их изображениям и проектированию программного комплекса системы контроля, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. Диссертация Локтева Д.А. полностью соответствует п. 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

**Официальный оппонент:**

профессор кафедры «Радиотехнические системы» ФГБОУ ВО  
«Московский технический университет связи и информатики»,  
доктор технических наук по специальности 05.12.13 –  
Системы, сети и устройства телекоммуникаций,

профессор

тел.: +7 (495) 957-77-31

эл. почта: oshorin@gmail.com

Шорин Олег Александрович

«29» 01 2021 г.

ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»,  
111024, г. Москва, улица Авиамоторная, дом 8а.

Подпись профессора Шорина О.А. удостоверяю

Проректор по научной работе

д.т.н., проф.



Леохин Юрий Львович

«29» 01 2021 г.