

## ОТЗЫВ

официального оппонента Бусурина Владимира Игоревича, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры 301 «Системы автоматического и интеллектуального управления» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на диссертацию Рощина Дмитрия Александровича на тему «Комплексная видеограмметрическая система компьютерного зрения для контроля геометрических параметров железнодорожного пути», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы

### 1. Общая характеристика и оценка содержания работы

Диссертация Рощина Д.А. представлена на 475 страницах, в том числе 441 странице основного текста, и включает 203 иллюстрации, 14 таблиц, 359 наименований списка литературы и приложения. Диссертация содержит введение, пять глав, заключение и четыре приложения. **В первой главе** дается описание строения железнодорожного пути и геометрических параметров, характеризующих его транспортно-эксплуатационное состояние, проведен анализ подходов к контролю геометрических параметров железнодорожного пути. Определены основные требования, предъявляемые к видеограмметрической системе компьютерного зрения и ее функциональным возможностям. **Вторая глава** посвящена обзору общих принципов измерения геометрических параметров железнодорожного пути. В связи с повышением требований к пропускной способности железных дорог определена необходимость повышения оперативности и точности существующих средств контроля, достижение которых возможно с помощью технологий компьютерного зрения, лазерного сканирования и спутниковой навигации. **Третья глава** посвящена разработке видеограмметрического устройства в составе видеограмметрической системы компьютерного зрения и совершенствованию координатных методов измерений. Разработана физическая модель видеограмметрического устройства, с помощью которой проведен анализ достижимости требований, предъявляемых к функциональному назначению видеограмметрической системы компьютерного зрения. Разработан метод сегментации изображений, позволяющий составить карту глубины изображения и объединить смежные сегменты, которые находятся на одинаковом удалении от точки съемки. Для видеограмметрического устройства разработан способ применения физического маятника, совершающего плоскопараллельные затухающие колебания, с помощью которого оценивались погрешности измерения динамических параметров движущихся объектов. **Четвертая глава** посвящена применению результатов исследований для решения прикладных контрольно-измерительных задач, возникающих в процессе строительства, ремонта и эксплуатации железнодорожного пути. Разработана комплексная видеограмметрическая система для контроля геометрических параметров железнодорожного пути, состоящая из четырех сегментов: - для мониторинга

железных дорог и формирования моделей поврежденных участков железнодорожного пути; - для выполнения работ по планово-высотному обоснованию и выносу проекта строительства железной дороги в натуру; - для операционного контроля геометрических параметров полотна в процессе производства земляных работ; - для контроля геометрических параметров рельсовой колеи. **В пятой главе** проводится метрологический анализ и оценка погрешности измерения видеограмметрической системы контроля геометрических параметров железнодорожного пути в процессе строительства, ремонта и эксплуатации.

## **2. Актуальность темы диссертационной работы**

В настоящее время расширяются возможности для создания более совершенных информационно-измерительных и управляющих систем на основе применения технологий, обеспечивающих решение контрольно-измерительных задач и обработку больших массивов данных в режиме реального времени. При этом теоретические и прикладные исследования по выявлению системных связей и закономерностей функционирования информационно-измерительных систем, основанные на обработке оптических данных, являются перспективным научным направлением.

Железнодорожная сеть является сложной пространственно-распределенной транспортной системой, состоящей из элементов, объединённых территориально, технологически и функционально. Ее эффективное функционирование и развитие возможно при наличии актуальной и достоверной информации о техническом состоянии железнодорожных путей на всех этапах их обслуживания с учетом взаимосвязей компонентов транспортной системы. Необходимо также создать целостную модель, пригодную для информационного обеспечения разных технологических процессов в ходе строительства, ремонта и эксплуатации железных дорог. В связи с этим обоснование подходов к построению и разработка комплексной видеограмметрической системы для контроля геометрических параметров железнодорожного пути является актуальным.

## **3. Научная новизна полученных результатов**

К новым научным результатам, полученным в диссертационной работе, можно отнести следующее:

- 1) основы концепции проектирования комплексной видеограмметрической системы компьютерного зрения на базе радиоэлектронных и оптико-электронных средств измерений, позволяющей увеличить диапазон измерений и уменьшить погрешность системы более чем в 2 раза, а также расширить область возможного применения ИИУС, обеспечивая решение разнотипных контрольно-измерительных задач в процессе строительства, содержания и ремонта железных дорог;
- 2) разработку на основе режекторного и идеального низкочастотного фильтров и двумерного преобразования Фурье метода фильтрации шумов матричного фотоприемника, позволяющего подавить аддитивный шум на изображении и скомпенсировать искажения контура визирной цели, что

обеспечивает уменьшение погрешности измерения угловых координат визирной цели;

3) разработку метода калибровки видеограмметрической системы по видеоизображению тест-объекта с контролируемыми динамическими параметрами перемещения, представляющего собой физический маятник, совершающий плоскопараллельные затухающие колебания, траектория движения которого рассчитывается на основе полученной элементарной функции для вычисления эллиптического интеграла 1-го рода, что позволяет оценить погрешность видеограмметрической системы при измерении геометрических параметров движущихся объектов;

4) разработку на основе проекционного метода регистрации изображений, триангуляционного метода определения дальности и метода сегментации изображений нового метода построения трехмерных панорамных изображений объектов, позволяющего осуществлять цифровую обработку стереопар разноракурсных изображений, формируемых в процессе вращения оптико-электронного устройства и определять дальности объектов, которые попадают в поле его зрения;

5) разработку на основе методов аэрофототопографической съемки и воздушного лазерного сканирования нового метода построения цифровой трехмерной модели участка железнодорожного пути, в котором для ориентирования используются нити рельсовой колеи, расположенные на нормированном расстоянии друг относительно друга, что обеспечивает курсовую устойчивость и навигацию БПЛА на низких высотах в условиях неуверенного приема спутникового радионавигационного сигнала, а также уменьшает погрешность координатных точек на сканируемой поверхности железной дороги;

6) разработку метода определения координат точек на местности, находящихся вне зоны прямой оптической видимости видеограмметрической системы, обеспечивающий плано-высотное обоснование и вынос проекта железных дорог в натуру с помощью БПЛА, по результатам измерений его зенитного и азимутального углов, дальности и возвышения над местностью;

7) разработку на основе метода решения геодезической задачи обратной однократной угловой засечки видеограмметрического метода, позволяющего определять координаты и пространственное положение рабочих органов дорожностроительных машин в локальной системе координат, образованной с помощью трех визирных целей активного типа, что обеспечивает операционный контроль параметров земляного полотна ж/д пути в процессе производства земляных работ;

8) разработку видеограмметрического метода для контроля параметров геометрии рельсовой колеи, который позволяет определять положение рельсовых нитей в плане и профиле с помощью визирных целей, установленных на путеизмерительной тележке, что обеспечивает обнаружение длинных неровностей на криволинейных участках пути.

**4. Степень обоснованности и достоверности научных результатов, выводов и заключений, содержащихся в диссертации**

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, подтверждается обоснованностью допущений и преобразований при разработке математических моделей узлов комплексной видеограмметрической системы компьютерного зрения. Корректность математических моделей обоснована соответствием полученных результатов известным, а также подтверждена согласованностью результатов компьютерного моделирования и экспериментальных исследований. Выводы в диссертационной работе сделаны на основании анализа данных теоретических исследований и моделирования.

#### **5. Теоретическая и практическая значимость полученных в диссертации результатов**

Разработанные основы совершенствования информационно-измерительных и управляющих систем с помощью технологии компьютерного зрения, а также комплекс научно-технических решений, методов и разработок в области метрологического обеспечения железных дорог, позволили обосновать состав перспективной комплексной видеограмметрической системы компьютерного зрения для контроля геометрических параметров железнодорожного пути, расширить её функциональные возможности и улучшить технические характеристики.

Разработанная система обеспечивает решение геодезической задачи обратной однократной угловой засечки по трем равноудаленным друг от друга визирным целям активного типа. Это позволяет строить реперные системы координат, обеспечивающие контроль планового и высотного положения рабочего органа строительной техники в пределах допуска 2 мм.

Значимость результатов диссертационной работы для практики подтверждена тремя актами о внедрении результатов.

#### **6. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям**

Диссертация обладает внутренним единством, имеет научную новизну, теоретическую и практическую значимость, раскрывает сущность выполненного исследования, содержит обоснования полученных автором результатов и описание их практической реализации. Диссертация является логически завершенным изложением результатов научного исследования, выполненного автором.

Содержание диссертации соответствует научной специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы. Отраженные в диссертации научные положения соответствуют областям исследований: п.1. Научное обоснование перспективных ИИУС, систем их контроля, испытаний и метрологического обеспечения, повышение эффективности существующих систем; п. 2. Исследование возможностей и путей совершенствования существующих и создания новых элементов структуры и образцов ИИУС, улучшение их технических, эксплуатационных, экономических и эргономических характеристик, разработка новых принципов построения и технических решений; п. 3. Математическое, алгоритмическое,

информационное, программное и аппаратное обеспечение ИИУС; п. 4. Расширение функциональных возможностей ИИУС на основе применения методов измерений контролируемых параметров объектов для различных предметных областей исследования; п. 7. Методы и системы программного и информационного обеспечения процессов исследования и испытаний образцов ИИУС, в том числе с использованием технологий искусственного интеллекта; п. 8. Новые методы и технические средства контроля и испытаний образцов ИИУС.

Диссертация соответствует критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней.

#### **7. Публикации и апробация результатов работы**

Основные научные результаты диссертации изложены в 97-и работах, среди которых 32 статьи в журналах, включенных в перечень ВАК, 4 статьи в журналах, входящих в базу Scopus, получено 12 патентов на изобретение и 12 свидетельств на программы для ЭВМ. Результаты работы апробированы на 33-х вузовских, всероссийских и международных научно-практических конференциях и семинарах.

#### **8. Соответствие автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат и диссертация написаны технически грамотным языком, соответствуют требованиям ГОСТ Р. 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации». Структура и содержание автореферата соответствуют основным положениям диссертации.

#### **9. Личный вклад автора**

По тексту диссертации и автореферата и списку опубликованных работ можно сделать вывод о том, что исследование проведено автором самостоятельно. Личный вклад автора заключается в решении научных задач для достижения поставленной цели исследования, разработке методов измерений, физических и имитационных моделей, программ для ЭВМ, технических устройств, видеодиагностических систем и средств контроля, разработке технических решений и способов их применения; проведении моделирования, проведении экспериментов, обработке полученных результатов, формулировке основных положений, выносимых на защиту и выводов. Из печатных работ по теме диссертационного исследования 91 работа опубликована без соавторов.

#### **10. Замечания по работе**

1) При формулировке цели работы указано, кроме прочего, что, ей является «исследование технологии компьютерного зрения» (стр. 10), что, очевидно, является этапом на пути достижения цели, а не самой целью.

2) Не пояснено в явном виде, в чем заключается новизна заявляемой «концепции проектирования комплексной видеодиагностической системы компьютерного зрения на элементной базе радиоэлектронных и оптико-электронных средств измерений утвержденного типа» (стр. 12); в тексте диссертации использованы другие словосочетания: «концепция разработки» (стр. 30, 35), концепция создания» (стр. 31).

3) Название рисунка 1.3 Классификация измерительных технологий по области технических наук (стр. 33) неудачно, так как на рисунке представлены области применения измерительных технологий, а не их разновидности.

4) Не пояснено, как компенсируются внутренние ошибки видеogramметрического устройства (ВУ), возникающие при его повороте, при определении дальности по формуле (3.40) (стр. 163).

5) Требуется пояснения приведенное соотношение увеличения значения сигнал/шум «на 67,3%» и диапазона: «с 31,5 дБ до 46,7 дБ» (п. 5.2.2., стр. 313).

6) Имеются терминологические несоответствия между пунктами положений, выносимых на защиту, и заключения. В тексте отсутствуют разделы с названиями, соответствующими формулировкам защищаемых положений 1, 3, 4, 5, 6, что затрудняет их восприятие.

7) Не рассмотрено влияние поворотов железной дороги с разновысокими рельсами на погрешность измерений при реконструкции трехмерного изображения по стереопаре аэрофотоснимков (п. 4.1).

8) Формула внизу на стр. 22 автореферата, в явном виде в диссертации не приведена, что затрудняет восприятие единства материала.

9) В работе приведен большой объем обзорных материалов (см. Главы 1, 2, 3).

10) Имеются погрешности в оформлении; встречаются словосочетания: «который позволять» (стр. 13), «аэрофотопографической съемки» (стр. 13, 121, 360, 390), «дальности объектов» (стр. 164, 315) и др.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не являются определяющими при оценке диссертационного исследования.

## **11. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней**

Диссертационная работа Рощина Дмитрия Сергеевича на соискание ученой степени доктора технических наук является законченным научным исследованием, содержит решение актуальных теоретических и научно-практических задач в области контроля железных дорог и обеспечения безопасности перевозок железнодорожным транспортом.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы, раскрывает основные положения проведенного исследования и полученные результаты.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, свидетельствует о личном вкладе автора в науку (п. 10 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ). Диссертация имеет прикладной характер, в ней приведены сведения о практическом использовании полученных научных результатов, предложенные решения аргументированы (п. 10 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ).



## СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

по диссертационной работе Рошина Дмитрия Александровича на тему «Комплексная видеограмметрическая система компьютерного зрения для контроля геометрических параметров железнодорожного пути», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.11. - «Информационно-измерительные и управляющие системы»

Фамилия, имя, отчество (полностью)	Бусурин Владимир Игоревич
Ученая степень (с указанием отрасли науки)	Доктор технических наук
Шифр и наименование специальности, по которым защищена диссертация	05.13.05 "Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления"
Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»
Ведомственная принадлежность организации	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Занимаемая должность	профессор кафедры «Системы автоматического и интеллектуального управления»
Адрес организации, телефон, адрес электронной почты	125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4 тел.: +7 499 158-92-09 e-mail: <a href="mailto:mai@mai.ru">mai@mai.ru</a>
Список основных публикаций оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет, не более 15 публикаций	
1. Бусурин, В. И. Компенсационный микроэлектромеханический преобразователь ускорения с пьезоэлектрическим чувствительным элементом и оптическим считыванием / В. И. Бусурин, К. А. Коробков, Л. Х. Зо // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2024. – Т. 27, № 1. – С. 79-89. – DOI 10.32603/1993-8985-2024-27-1-79-89.	
2. Бусурин, В. И. Управление бесконтактным профилометром при сканировании поверхностей сложного профиля / В. И. Бусурин, Л. Чжэ, П. С. Кудрявцев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2022. – Т. 23, № 10. – С. 529-535. – DOI 10.17587/mau.23.529-535.	
3. Бусурин, В. И. Исследование двухконтурной системы управления	

- положением оптического преобразователя прецизионного бесконтактного сканирующего профилометра / В. И. Бусурин, Ч. Лю, П. С. Кудрявцев, Л. А. Шлеенкин // Датчики и системы. – 2020. – № 9-10(251). – С. 25-32. – DOI 10.25728/datsys.2020.9-10.4.
4. Бусурин, В.И. Алгоритм расчета микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости с оптическим считыванием / Бусурин В.И., Васецкий С.О., Булычев Р.П. // Датчики и системы. — 2024. — №3. — с. 23-30.
5. Busurin, V.I. Micro-Opto-Electro-Mechanical System Accelerometer Based on Coarse-Fine Processing of Fabry–Perot Interferometer Signals / V. I. Busurin, V. V. Korobkov, K. A. Korobkov, and N. A. Koshevarova // Measurement Techniques, Vol. 63, No. 11, February, 2021, p.p. 883-890. DOI 10.1007/s11018-021-01869-6
6. Бусурин, В.И. Компенсационный микроэлектромеханический преобразователь ускорения с пьезоэлектрическим чувствительным элементом и оптическим считыванием / Бусурин В. И., Коробков К.А., Золвин Хту // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2024. Т. 27, № 1. С.79-89.
7. Бусурин, В.И. Использование двухволнового преобразования для расширения диапазона измерения и температурной компенсации рамочного микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости / Бусурин, В.И., Васецкий, С.О., Казарьян, А.В. // Датчики и системы. — 2023. — №6. — с. 40-45.
8. Busurin, V.I. Compensation of the Influence of Linear Acceleration on the Parameters of a Frame Micro Optoelectromechanical Angular Velocity Transducer / Busurin, V.I., Vasetskiy, S.O., Korobkov, K.A. // Measurement Techniques, 2023, 66, pp. 244–251. <https://doi.org/10.1007/s11018-023-02217-6>
9. Busurin, V.I. Frame Micro-Optoelectromechanical Angular Velocity Transducer with Optical Readout Units Based on the Optical Tunneling Effect / Busurin, V.I., Kazaryan, A.V., Shtek, S.G., Zheglov, M.A., Vasetskiy, S.O., Kyi, P.L. // Measurement Techniques, 2022, 65(5), pp. 360–365. <https://doi.org/10.1007/s11018-022-02088-3>
10. Бусурин, В.И. Метод «грубо-точного» считывания для преобразователя ускорения с адаптируемым оптическим модулем / Бусурин, В.И., Коробков, К.А., Шлеенкин, Л.А. Датчики и системы, 2020, №8, с. 27-34. DOI: 10.25728/datsys.2020.8.4
11. Визильтер, Ю. В. Современный морфологический анализ и его применение в авиационных системах технического зрения / Ю. В. Визильтер, С. Ю. Желтов, В. И. Бусурин. – Москва : Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. – 176 с. – ISBN 978-5-4316-0750-9.

Доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

  
(подпись)

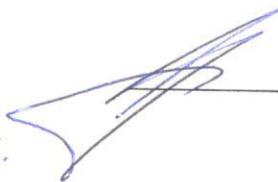
Бусурин Владимир Игоревич  
(фамилия, имя, отчество оппонента)

Подпись профессора Бусурина В.И. удостоверяю.

Начальник Отдела кадрового  
делопроизводства работников МАИ



25.12.2024.



О.В. Носова