

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

**Рощина 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» (технические науки).

**1. Актуальность работы**

Проблемой получения оперативной и достоверной информации о техническом состоянии участков железных дорог в условиях неуверенного приема спутниковых радионавигационных сигналов занимаются не одно десятилетие ученые в России и за рубежом, но решение этой проблемы остается актуальным и сейчас. В связи с этим возникает потребность в разработке диагностических систем и комплексов для мониторинга и контроля геометрических параметров верхнего и нижнего строения железнодорожного пути, а также необходимость совершенствования способов их применения для сокращения времени восстановления путевого сообщения.

Методы измерений геометрических параметров железнодорожного пути основаны на различных физических принципах и технических решениях. По принципу взаимодействия с рельсовой колеей методы измерений подразделяются на контактные и бесконтактные. Ограничения по применению контактных средств измерения возникают вследствие невозможности проводить измерения удаленно, трудоемкости передачи измерительной информации в устройство для её обработки, а также сложности автоматизации измерительной процедуры. Данные недостатки могут быть устранены с помощью бесконтактных методов измерений.

Эффективность применения бесконтактных измерений зависит от условий распространения электромагнитного излучения в измерительном тракте, а также от свойств объекта измерений, поверхность которого характеризуется геометрической формой, шероховатостью и её анизотропией по направлениям и в различных частях объекта. Особенность лазерных сканирующих и оптико-электронных систем состоит в том, что измерения производятся не на самом объекте, а на его модели, представляющей собой массив координат точек или изображений, полученных с разного ракурса. Координаты точек передают информацию о геометрических параметрах объекта измерений с учётом соблюдения условий к отражающим свойствам его поверхности, взаимного положения объекта и измерительной системы, а также требований к каналу передачи информации. Объект измерений с его естественными свойствами далеко не всегда удовлетворяет этим условиям и для их выполнения требуется на объекте искусственно создавать источник исходной информации.

В связи с этим вполне обоснованным для бесконтактных измерений является применение технологии компьютерного зрения, позволяющей не только реализовывать наиболее эффективные методы обнаружения, отслеживания и идентификации объекта измерений, но также способствующей повышению точности позиционирования самих средств контроля и их курсовой устойчивости в зоне частичного или полного отсутствия спутниковых навигационных сигналов. При этом существует большое количество явлений, которые необходимо учитывать при формировании изображения объекта измерения и определении его признаков, включая вынужденное излучение (флуоресценцию), отражение, поглощение и рассеяние излучения. Эти явления зависят от оптических свойств материала объекта измерений и от структуры его поверхности.

Возникает необходимость в создании таких способов применения технологии компьютерного зрения для контроля геометрических параметров железных дорог, которые позволили бы учитывать данные физические явления и компенсировать их влияние на погрешность результата измерений.

## **2. Цель, новизна, обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций**

Целью диссертационной работы Рощина Д.А. является создание новой информационно-измерительной и управляющей системы для контроля геометрических параметров железнодорожного пути на основе технологии компьютерного зрения, позволяющей повысить оперативность применения и точность позиционирования средств контроля в условиях неуверенного приема спутниковых сигналов.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе предложены решения следующих задач:

1. Построение концепции проектирования комплексной видеограмметрической системы, обеспечивающей решение широкого спектра разнотипных контрольно-измерительных задач в процессе строительства, ремонта и содержания железных дорог на единой конструктивной, технологической и метрологической основе.
2. Определение целевых показателей и формирование требований к комплексной видеограмметрической системе для обеспечения безопасности высокоскоростных грузопассажирских перевозок и сокращения времени ремонтно-восстановительных работ на поврежденных участках железнодорожного пути.
3. Разработка физической модели видеограмметрической системы на элементной базе радиоэлектронных и оптико-электронных средств измерений с применением технологии компьютерного зрения.
4. Спектральный анализ шумов матричного фотоприемника оптико-электронных приборов и разработка методы цифровой обработки изображений, обеспечивающие подавление источников шума и повышение точности координатных измерений видеограмметрической системы.
5. Разработка видеограмметрических методов цифровой обработки видеоизображений для обнаружения объекта измерений, позволяющие определять его геометрические параметры, угловые координаты, скорость и вектор перемещения.
6. Метод калибровки видеограмметрической системы, позволяющий оценивать её динамические погрешности в целях повышения точности определения геометрических параметров движущихся объектов;
7. Разработка теоретических основ и технических решений для оперативного контроля геометрических параметров железных дорог с применением БПЛА, позволяющие в условиях неуверенного приема спутниковых радионавигационных сигналов оперативно обнаруживать повреждения верхнего строения железнодорожного пути и дефекты земляного полотна.
8. Усовершенствование процесса проектирования железных дорог на основе применения трехмерных моделей, позволяющих описать структуру путевого развития с учетом топографических, климатических, экологических условий местности, в которых планируется осуществлять строительство, а также экономических факторов, обуславливающих минимизацию расходов на проведение строительно-восстановительных работ.
9. Повышение точности привязки геометрических параметров железнодорожного пути к геоцентрической системе координат с помощью статистических методов обработки радионавигационных спутниковых сигналов.
10. На основе технологии компьютерного зрения разработка методов контроля геометрических параметров верхнего и нижнего строения железнодорожного пути в



процессе строительства, ремонта и эксплуатации, обеспечивающих повышение точности и оперативности получения измерительной информации о техническом состоянии контролируемого участка железной дороги.

Поставленные задачи решались с помощью технологий компьютерного зрения и методов цифровой обработки изображений, направленных на повышение точности, расширение функциональных возможностей и диапазона измерений информационно-измерительных и управляющих систем.

По материалам диссертации опубликовано 97 печатных работ (91 работа опубликована без соавторов), в том числе 32 статьи в реферируемых журналах (из перечня ВАК при Минобрнауки РФ), входящих в международные реферативные базы данных (Scopus/WOS) - 4. Получено 12 патентов РФ на изобретение и 12 свидетельств на программы для ЭВМ.

### **3. Структура, содержание и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложения. Диссертация логично построена и хорошо иллюстрирована, ее структура и содержание соответствуют цели и задачам исследования. Диссертация изложена на 441 страницах машинописного текста, содержит 203 рисунка, 14 таблиц и 359 наименований библиографического указателя.

### **4. Практическая ценность работы**

Результаты проведенных автором исследований позволили разработать новые видеограмметрические системы и устройства для измерения дальности, габаритов, координат, мгновенной скорости и вектора перемещения объектов по их цифровым видеоизображениям, формирования панорамных пространственных изображений, контроля геометрических параметров рельсовой колеи и земляного полотна железной дороги (патенты на изобретение РФ № 2779703, 2769637, 2686341, 2689848, 2804376). Разработан видеограмметрический способ для определения параметров погрузки гусеничной техники своим ходом на грузовую платформу (патент на изобретение РФ № 2022661514). Разработаны алгоритмы для обнаружения и идентификации визирных целей активного типа по визуальным признакам, обработки радионавигационных спутниковых сигналов и высокоточной оценки объемов грунта при возведении земляного полотна железных дорог (свидетельства на программы для ЭВМ № 2022661237, 2017661435, 202161358).

На базе выполненных исследований разработана интеллектуальная система автоматизированного управления базовым техническим средством строительной и специальной техники, предназначенная для выполнения различных информационно-измерительных и управляющих процессов, которая была реализована в системе автоматизированного управления беспилотной строительной техники, выпускаемой на заводе ДСТ Урал. Разработаны многофункциональный комплекс с БПЛА легкого класса и программный комплекс, которые в настоящее время применяются в Железнодорожных войсках для мониторинга и диагностики железнодорожных путей, а также для высокоточной оценки объемов грунта при строительстве (восстановлении) земляного полотна железной дороги.

### **5. Достоверность результатов работы**

Достоверность полученных результатов обосновывается применением апробированных методик экспериментальных исследований. Использованием современного оборудования, а также большим объемом выполненных экспериментов.

### **6. Замечания по работе**

1. В 3 главе диссертации на страницах 137-155 избыточно, излишне подробно описываются ряд известных способов обработки изображений (формирование тепловизионного изображения в псевдоцветах, принципы выделения цветовых признаков и детекторов движения).

2. Описываемый в разделе 4.1 способ применения комплексов с БПЛА для контроля технического состояния железной дороги не учитывает зависимость от уровня освещенности железнодорожного пути, присущую всем оптическим устройствам.

3. В выводах раздела 5.2.6 содержатся две вероятностные характеристики, полученные по результатам моделирования: допуски на измерение положения по осям  $X, Y$  – 85 мм, и по  $Z$  – 35 мм; вероятность идентификации визиров – 99,6%. Однако не указаны условия проведения моделирования (например, результаты получены на хорошо освещенной площадке без мешающих факторов в виде тумана, пыли, дождя и т.д., или же в других условиях).

4. В разделе 5.4 приводится оценка погрешностей определения координат рабочего органа с помощью полнофункциональной радиоуправляемой физической модели бульдозера, сделанной в масштабе 1:10. Необходимо отметить, что погрешности, оцененные при масштабе 1:10, могут отличаться от погрешностей при масштабе 1:1 – это следует из того, что разрешение видеоизображения 1280x960 может быть достаточным для оценки расстояний по визирам на расстоянии 10 м, но вероятнее всего будет недостаточным для визиров на расстоянии 100 м.

5. Ряд замечаний по математическим выкладкам:

- в формуле (4.57) для вычисления интегралов от интерполирующих функций отсутствуют пояснения для определения предела интегрирования  $h$ ;
- в формуле (3.112) не совсем понятно, что подразумевается под функцией  $g(\phi)$  – тригонометрический ряд или уравнение гармонических колебаний, не объясняется как связаны  $A_k$ ,  $\phi_k$  и на основании чего делается вывод, что  $g(\phi)$  подчинено нормальному закону Гаусса, предполагающего диффузионность, хаотизацию;
- не указано, как было получено уравнение (3.57) для вычисления среднего радиуса окружности по методу наименьших квадратов;
- в формуле (5.53) не объясняется на чем основано предположение, что амплитуда  $A_k$  распределена по закону Рэлея, а фаза  $\phi_k$  имеет равномерный закон распределения;
- в формуле (5.58) не объясняется по какой причине использовался фильтр низких частот и каким образом определялась гармоника перехода с макрогеометрии в микрогеометрию контура визирной цели.

6. На стр. 363 указана формула 5.120 для расчета погрешности измерения координат точек на местности  $\Delta XYZ$  с помощью БПЛА, оснащенного воздушным лазерным сканером и аэрофотокамерой. Из данной формулы следует, что погрешность измерения координат точки зависит от высоты проведения съемки с БПЛА, угла отклонения оптической оси от вертикали и погрешности определения точки съемки с помощью спутникового навигационного приемника. Также на стр. 387 приводится табл. 5.4, в которой указано расчетное значение погрешности сегмента системы для мониторинга и формирования 3-D моделей железных дорог, составляющее 10 мм. При этом автор не указывает какие именно средства измерений необходимо применять в комплексе с БПЛА для достижения заявленной погрешности измерений и на какой высоте необходимо проводить лазерное сканирование.

7. Заметное место в диссертационной работе занимает использование стереосистем, но нет сравнительного анализа с известными методами обработки стереоизображений, в частности, формирования карты глубин. Приводится только одна ссылка на учебное пособие.

Указанные замечания не снижают общей положительной характеристики работы, её научной и практической ценности.

## 7. Заключение

Диссертационная работа **Рощина Дмитрия Александровича** на тему: «Комплексная видеограмметрическая система компьютерного зрения для контроля геометрических



параметров железнодорожного пути» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения по повышению оперативности и точности существующих, а также перспективных средств контроля геометрических параметров железнодорожного пути, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие информационно-измерительных и управляющих систем.

Публикации автора в полной мере отражают его основные научные и практические достижения и достаточно полно характеризуют защищаемую работу. Печатные труды автора, приводимые в диссертации и автореферате, опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ, а также входящих в наукометрические базы Scopus и WOS. Результаты работы апробированы на конференциях и семинарах в период с 2008 по 2024 годы.

Автореферат диссертации достаточно полно и правильно отражает основные положения диссертации.

В целом, диссертационная работа Рощина Д.А. соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор, Рощин Дмитрий Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.11. «Информационно-измерительные и управляющие системы».

Главный научный сотрудник, д.ф.-м.н., проф.

олов Сергей Михайлович  
амилия, имя, отчество оппонента)

Подпись г.н.с  
Учёный секр

(А.А. Давыдов)

## СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

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

Фамилия, имя, отчество (полностью)	Соколов Сергей Михайлович
Ученая степень (с указанием отрасли науки)	Доктор физико-математических наук
Шифр и наименование специальности, по которым защищена диссертация	05.13.11 - Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей
Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное учреждение "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)
Ведомственная принадлежность организации	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Занимаемая должность	Главный научный сотрудник
Адрес организации, телефон, адрес электронной почты	125047, Москва, Миусская пл., д.4, ИПМ им. М.В.Келдыша РАН тел.: +7 499 978-13-14 факс: +7 499 972-07-37 e-mail: <a href="mailto:office@keldysh.ru">office@keldysh.ru</a>
Список основных публикаций оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет, не более 15 публикаций	
1. Соколов, С. М. Анализ сцены в информационных системах подвижных робототехнических комплексов / С. М. Соколов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2024. – № 1(237). – С. 285-299. – DOI 10.18522/2311-3103-2024-1-285-299.	
2. Соколов, С. М. Технологии разработки программного обеспечения бортовых СТЗ / С. М. Соколов, А. А. Богуславский, А. С. Дикарев // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению "Робототехника" : Сборник статей V Всероссийской научно-технической конференции, Анапа, 19–20 июля 2023 года. – Анапа: Федеральное государственное автономное учреждение "Военный инновационный технополис "ЭРА", 2023. – С. 233-243	



3. Соколов, С. М. Использование семантических технологий для описания реализации робототехнических комплексов / С. М. Соколов // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению "Робототехника" : Сборник статей V Всероссийской научно-технической конференции, Анапа, 19–20 июля 2023 года. – Анапа: Федеральное государственное автономное учреждение "Военный инновационный технополис "ЭРА", 2023. – С. 244-264.
4. Соколов, С. М. Постановка задач информационного обеспечения беспилотных наземных средств системами технического зрения / С. М. Соколов // XVI Всероссийская мультikonференция по проблемам управления (МКПУ-2023) : Материалы мультikonференции. В 4-х томах, Волгоград, 11–15 сентября 2023 года / Редколлегия: И.А. Каляев, В.Г. Пешехонов, С.Ю. Желтов [и др.]. Том 1. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2023. – С. 208-210.
5. Соколов, С. М. Сравнительный анализ степени автономности робототехнических комплексов / С. М. Соколов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2023. – № 1(231). – С. 65-76. – DOI 10.18522/2311-3103-2023-1-65-76.
6. Sokolov S. M., Beklemishev N.D., Boguslavsky A.A. Coordinated use of visual odometry and landmarks for navigation of mobile ground vehicles // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLIV-2/W1-2021, 201–205, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-2-W1-2021-201-2021>, 2021.
7. Соколов, С. М. Технологии технического зрения и военно-технические задачи боевой робототехники / С. М. Соколов // Вооружение и экономика. – 2023. – № 3(65). – С. 51-59.
8. Соколов, С. М. Коррекция навигационных данных летательного аппарата по ориентирам / С. М. Соколов, Н. Д. Беклемишев, А. С. Сгонников // XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства : сборник тезисов : в 4 т., Москва, 30 марта – 02 2021 года. Том 4. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – С. 493-496.
9. Соколов, С. М. Реализация алгоритмов обработки зрительных данных на бортовых вычислительных ресурсах / С. М. Соколов, А. А. Богуславский, С. А. Романенко // Робототехника и техническая кибернетика. – 2021. – Т. 9, № 2. – С. 106-111. – DOI 10.31776/RTSJ.9204.
10. Соколов, С. М. Программно-аппаратные средства для бортовых систем информационного обеспечения подвижных средств с использованием систем технического зрения / С. М. Соколов, А. А. Богуславский, С. А. Романенко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2020. – № 1(211). – С. 246-257. – DOI 10.18522/2311-3103-2020-1-246-257.
11. Соколов С.М. Анализ сцены в информационных системах подвижных робототехнических комплексов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2024. № 1 (237). С. 285-299.

12. Соколов С.М., Богуславский А.А. Технология изготовления программного обеспечения СТЗ автономных РТК // Экстремальная робототехника. 2024. № 1 (34). С. 27-35.

13. Sokolov, S., Sudakov, V. Multicriteria Analysis of the Robotic Systems Autonomy Using Fuzzy Calculations // International Conference on Agents and Artificial Intelligence. 2024. 3. PP. 915–919. DOI: 10.5220/0012418200003636.

Доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник  
Федерального государственного учреждения "Федеральный  
исследовательский центр Институт прикладной математики им.  
М.В. Келдыша Российской академии наук" (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)

Подпи  
д.ф.-м.  
Соколс  
Учёны

Соколов Сергей Михайлович  
(фамилия, имя, отчество оппонента)

— (А.А. Давыдов)