

На правах рукописи



Железнов Максим Максимович

Методы повышения безопасности движения
и предупреждения чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте
с использованием средств аэрокосмического мониторинга

05.26.02 – Безопасность в чрезвычайных ситуациях (транспорт)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)» (РУТ (МИИТ))

Научный

консультант: доктор технических наук, профессор
Пономарёв Валентин Михайлович

Официальные
оппоненты:

Гуменюк Василий Иванович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», профессор Высшей школы техносферной безопасности;

Трофименко Юрий Васильевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», заведующий кафедрой «Техносферная безопасность»;

Таранцев Александр Алексеевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, заведующий лабораторией проблем безопасности транспортных систем.

Ведущая

организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»

Защита состоится «18» апреля 2018 года в 14⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 218.005.03 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр.9, аудитория 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ) www.miit.ru.

Автореферат разослан « » февраля 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Плицына Ольга Витальевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Обеспечение устойчивости перевозочного процесса и предотвращение чрезвычайных ситуаций (ЧС) является актуальной задачей для железнодорожного транспорта. ЧС создают серьезные риски техногенного характера для работников железнодорожного транспорта и населения, проживающего на прилегающих территориях. Инновационные технические решения, применяемые для задач мониторинга протяженных участков железнодорожного пути, позволяют достичь максимального интегрированного эффекта для безопасности железнодорожного транспорта.

Возникновение ЧС на железнодорожном транспорте обусловлено рядом природно-техногенных факторов, влияние которых на инфраструктурные объекты со временем не снижается:

- большая часть железных дорог построена и функционирует в сложных природно-климатических условиях (равнинные территории и низменности с преобладанием увлажненных грунтов);

- до 1900 года дороги (до 80% железнодорожной сети) строились по частным рекомендациям, а разработанные позднее нормативы пересматривались более 10 раз;

- повышение интенсивности перевозочного процесса и введение повышенных осевых нагрузок приводили и приводят к необратимым физико-химическим процессам в земляном полотне, которые меняют характер поведения железнодорожного пути в целом.

При этом необходимо отметить непрерывный рост грузонапряженности на сети железных дорог. Средний вес грузового поезда за последние 100 лет вырос с 600 до 4000 т брутто. Среднесетевой рост грузонапряженности за прошедшие 10 лет (период 2006 – 2016 гг.) составил более 11%, а на дорогах Восточного полигона (Западно-Сибирской,

Красноярской, Восточно-Сибирской, Забайкальской, Дальневосточной), работающих в сложных природно-климатических условиях, более 33%.

Таким образом, актуальность решения проблемы мониторинга железнодорожного пути, а также потенциально-опасных объектов и явлений на прилегающих территориях, определяется необходимостью реализации повышенных требований к безопасности движения (в первую очередь к геометрическим параметрам устройств железнодорожного пути большой протяженности на строящихся и функционирующих грузонапряженных магистралях), предупреждению техногенных катастроф и масштабных негативных последствий природных явлений на железных дорогах.

В то же время интеграция национальных железнодорожных систем в единую мировую транспортную систему требует единого научно-технологического подхода к вопросам мониторинга железнодорожного пути для предупреждения и предотвращения ЧС, унификации методов измерений, форм представления информации и нормативных требований к её полноте и точности, перехода от традиционных технологий сбора информации к инновационным, в том числе космическим.

Также необходимо отметить, что разрабатываемый ОАО «РЖД» инновационный проект «Цифровая железная дорога» ориентирован на интеграцию инновационных технологий в целях повышения безопасности и эффективности железнодорожного транспорта. В рамках реализации проекта аэрокосмические технологии должны стать одним из основных средств сбора оперативной актуальной информации о состоянии инфраструктурных объектов железнодорожного транспорта.

Степень разработанности темы исследования. Для достижения поставленной цели были проанализированы проблемы комплексной безопасности и устойчивости функционирования железнодорожного транспорта, опубликованные в трудах ученых: В.А. Аксёнова, М.Х. Ахтямова, М.М. Гаденина, В.И. Гуменюка, А.М. Замышляева, С.А. Каргопольцева, В.И. Колесникова, В.И. Купаева, Б.А. Левина,

В.М. Лисенкова, И.Г. Малыгина, И.В. Мартынюка, Н.А. Махутова, В.И. Медведева, В.Н. Морозова, А.Ю. Панычева, В.М. Пономарева, В.Г. Попова, В.А. Пучкова, А.А. Таранцева, Т.С. Титовой, Ю.В. Трофименко, В.П. Феоктистова, В.Н. Филиппова, А.А. Хохлова, М.А. Шевандина, К.П. Шенфельда, С.К. Шойгу и др.

Были изучены труды ученых в области мониторинга состояния железнодорожного пути для предупреждения ЧС: А.Ю. Абдурашитова, Е.С. Ашпиза, Л.С. Блажко, В.М. Богданова, В.М. Бугаенко, В.А. Бучкина, Ю.А. Быкова, А.Г. Гельфгата, Б.Э. Глюзберга, В.М. Ермакова, А.Я. Когана, В.И. Новаковича, В.О. Певзнера, С.П. Першина, Ю.С. Ромена, В.Н. Сазонова, В.А. Явны, М. Роуни (США) и др.

Также были проанализированы труды ведущих ученых по применению спутниковых технологий в задачах мониторинга транспортной инфраструктуры в целях предупреждения и отслеживания ЧС: Г.А. Аванесова, А.С. Василейского, В.М. Бройде, С.В. Духина, С.Б. Жукова, Я.Л. Зимана, В.И. Кафтана, Е.А. Лупяна, А.Ю. Макарова, Д.С. Манойло, А.С. Матвеева, С.И. Матвеева, С.В. Нехина, В.П. Савиных, Н.В. Сазонова, Е.Н. Розенберга, И.Н. Розенберга, Р. Хансена (Нидерланды), В.Я. Цветкова, Д. Эртеля (Германия) и др.

Изученные работы позволяют сделать вывод, что аэрокосмические методы дистанционного зондирования представляют интерес для задач мониторинга в целях предотвращения и локализации ЧС, но вопросы их комплексного применения на железнодорожном транспорте решаются в данной работе впервые.

Целью данной работы является разработка технических и технологических решений для создания и практической реализации системы аэрокосмического мониторинга и предупреждения ЧС на полигонах с интенсификацией перевозочного процесса.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие основные задачи:

1. Разработать научную концепцию мониторинга деформаций протяженных участков пути и прилегающих территорий.
2. Сформировать модель многоуровневой системы комплексного мониторинга и предупреждения ЧС путем интеграции в единый технологический комплекс аэрокосмических и традиционных технологий.
3. Предложить и опробовать методы предупреждения ЧС путем оценки динамики изменений в состоянии железнодорожного пути и объектов на прилегающих территориях.
4. Разработать технологическую схему и систему комплексного аэрокосмического мониторинга и предотвращения ЧС.
5. Апробировать и внедрить разработанную систему комплексного мониторинга и предупреждения ЧС и ее технологических элементов на полигонах интенсификации перевозочного процесса.

Объектом исследования является система обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте от возникновения ЧС.

Предметом исследования являются методы, средства, технологии и практическая реализация системы комплексного аэрокосмического мониторинга и предупреждения ЧС применительно к протяженным участкам железнодорожных линий с интенсивным перевозочным процессом.

Научная новизна работы. Разработана научная концепция мониторинга пути для предупреждения и предотвращения ЧС, которая основана на выдвинутой автором гипотезе об учете влияния эксплуатационных факторов, связанных с повышением интенсивности перевозочного процесса (тяжеловесное движение, подвижной состав с повышенными осевыми нагрузками, масштабное инфраструктурное вмешательство в природу ландшафта и т.д.), на появление протяженных форм деформаций железнодорожного пути.

Разработана модель применения методов космического мониторинга в комплексе с традиционными технологиями, впервые предусматривающая построение системы многоуровневого мониторинга протяженных участков железнодорожного пути. Модель реализует принципиально новый подход к задачам мониторинга ЧС для железнодорожного транспорта.

В разработанной методике определения геометрических параметров железнодорожного пути эффективно использован комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе численных методов, экспериментальных методик, позволивших сформировать математический аппарат обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования протяженных инфраструктурных объектов.

Впервые реализована технологическая схема и технология аэрокосмического мониторинга железнодорожного пути для предупреждения и предотвращения ЧС с использованием методов обработки данных космической радиолокации по трехмерным моделям местности, что является весьма перспективным направлением развития космических технологий, а также существенным направлением технологического развития в рамках формирования концептуального проекта ОАО «РЖД» - «Цифровая железная дорога».

Принципиальное отличие разработанной системы мониторинга заключается в комплексной обработке данных, полученных с помощью космической и авиационной съемки с беспилотных летательных аппаратов, в сочетании с результатами натурных измерений и хронологической информации о событиях последних лет. Разработанная система позволяет оценивать в динамике параметры протяженных деформаций железнодорожного пути и объектов инфраструктуры (насыпи, мосты и т.д.) с точностью до 0,1 мм в год на участках протяженностью до сотен километров, что является принципиально новым уровнем достигаемых параметров для существующих систем и средств мониторинга.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в том, что разработанные и предложенные к использованию теоретические положения, методы и рекомендации позволяют научно обосновать новые методы мониторинга протяженных участков железнодорожного пути с построением многоуровневых систем для предупреждения и локализации ЧС, обеспечивающих повышение безопасности железнодорожного транспорта.

Реализованные в диссертации теоретико-методологический подход и технологический инструментарий позволяют формировать комплексные системы мониторинга протяженных участков железнодорожного пути.

Внедрение результатов диссертационного исследования на опытных участках железнодорожного пути общей протяженностью более 300 км подтверждает технологическую эффективность разработанных систем и технологий, показывает соответствие их теоретических и практических параметров. Практическая значимость подтверждается справками о внедрении со стороны ведущих отраслевых научно-исследовательских институтов – АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»), а также Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» (ОУС ОАО «РЖД»).

Методология и методы исследования. Методы исследования основаны на системном анализе технологических процессов мониторинга протяженных инфраструктурных объектов, положениях теории вероятности и математической статистики, а также теории математической обработки геодезических измерений и решения координатно-временных задач дистанционного зондирования Земли.

Объект, предмет и методы исследования находятся в рамках паспорта специальности 05.26.02 – Безопасность в чрезвычайных ситуациях, а именно пунктов:

7. Исследование проблем управления и методов принятия решений в чрезвычайных ситуациях, разработка научных основ развития систем управления, связи и оповещения, создания автоматизированных информационно-управляющих систем;

8. Разработка научных основ создания и совершенствования систем и средств прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций;

9. Разработка методологии прогнозирования природных и техногенных опасностей, рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, динамики и их последствий, оценки ущерба.

Положения, выносимые на защиту:

1. Научная концепция мониторинга железнодорожного пути для предупреждения и предотвращения ЧС с использованием аэрокосмических технологий.
2. Структура многоуровневой системы мониторинга протяженных участков железнодорожного пути, основанная на модели, использующей методы космического мониторинга в комплексе с традиционными технологиями.
3. Методы мониторинга и предупреждения ЧС путем оценки динамики изменений в состоянии железнодорожного пути и объектов инфраструктуры на прилегающих территориях.
4. Технологическая схема и технология аэрокосмического мониторинга железнодорожного пути для предупреждения и предотвращения ЧС.
5. Комплексная система предупреждения и предотвращения ЧС на полигонах с интенсификацией перевозочного процесса на базе технологии аэрокосмического мониторинга железнодорожного пути и прилегающих территорий.

Достоверность и обоснованность результатов диссертации подтверждается верификацией предложенных новых методов традиционными технологиями, сопоставлением полученных результатов аэрокосмического мониторинга с данными полевых исследований и

статистическими данными, корректным применением известных методов и инструментов исследования, результатами обсуждения на научно-технических конференциях и форумах, а также результатами внедрения и практического применения результатов диссертационного исследования.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на международных, всероссийских и отраслевых научно-технических конференциях, в том числе: Третьей общероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» (г. Москва, 2002 г.); Международной научно-практической конференции «Транссибирская магистраль на рубеже XX-XXI веков: Пути повышения эффективности использования перевозочного потенциала» (г. Москва, 2003 г.); IV общероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» (г. Москва, 2003 г.); Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)» (г. Москва, 2003 г.); V общероссийской научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте» (г. Москва, 2004 г.); V общероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» (г. Москва, 2004 г.); Второй открытой всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (г. Москва 2004 г.); Третьей открытой всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (г. Москва, 2005 г.); VI общероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» (г. Москва, 2005 г.); Второй международной конференции «Геопространственные технологии и сферы их применения» (г. Москва, 2006 г.); Пятой международной конференции «Авиация и космонавтика-2006» (г.Москва, 2006 г.); Четвертой открытой всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного

зондирования Земли из космоса», (г. Москва, 2006 г.); Третьей Международной конференции «Геопространственные технологии и сферы их применения» (г. Москва, 2007 г.); Второй международной научно-практической конференции «Спутниковые технологии на службе железнодорожного транспорта» (г. Москва, 2008 г.); Четвертой международной конференции «Геопространственные технологии и сферы их применения» (г. Москва, 2008 г.); Шестой всероссийской открытой ежегодной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (г. Москва, 2008 г.); Пятой международной конференции «Геопространственные технологии и сферы их применения» (г. Москва, 2009 г.); Седьмой всероссийской открытой ежегодной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (г. Москва, 2009 г.); Третьем международном форуме по спутниковой навигации (г. Москва, 2009 г.); Шестой международной конференции «Геопространственные технологии и сферы их применения» (г. Москва, 2010 г.); XI общероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» (г. Москва, 2010 г.); Восьмой всероссийской открытой ежегодной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (г. Москва, 2010 г.); Первом международном форуме «Транспортная наука: инновационные решения для бизнеса» (г. Москва, 2011 г.); XII общероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» (г. Москва, 2011 г.); Седьмой международной конференции «Геопространственные технологии и сферы их применения» (г. Москва, 2011 г.); XIII общероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» (г. Москва, 2012 г.); Втором международном форуме «Транспортная наука: инновационные решения для бизнеса» (г. Москва, 2012 г.); Международном семинаре Россия – Европейский союз (ЕС) по исследованиям в области железнодорожного транспорта (г. Москва, 2012 г.); XIV общероссийской научно-практической конференции «Безопасность

движения поездов» (г. Москва, 2013 г.); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (г. Иркутск, 2014 г.); XII чтения, посвященные памяти профессора Г.М. Шахунянца (международная конференция, г. Москва, 2015 г.); Пятом международном форуме «Транспортная наука: инновационные решения для бизнеса. Экспериментальное кольцо – 85» (г. Москва, 2017 г.).

По итогам федерального окружного форума глобального развития «5+5: Инновации. Приволжская инициатива» (2010 г.) среди лучших предложений Президенту России был направлен проект «ЖД-Космос», посвященный комплексному внедрению космических технологий для обеспечения безопасности транспортной инфраструктуры, разработанный автором.

Разработанная концепция информационно-технологического совершенствования системы мониторинга железнодорожной инфраструктуры одобрена в рамках семинара Россия – ЕС по исследованиям в области железнодорожного транспорта (г. Москва, 2012 г.).

Результаты практической реализации разработанных технических и технологических решений для системы мониторинга и предупреждения ЧС на полигонах с интенсификацией перевозочного процесса доложены на заседании Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» (протокол №63 от 17 сентября 2015 года).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 118 печатных работах, в том числе 19 статей в российских рецензируемых периодических изданиях, рекомендованных ВАК, 1 патент РФ на изобретение и 5 патентов РФ на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 241 наименований и приложения. Диссертация изложена на 282 страницах машинописного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы исследования, определена цель работы, изложена научная новизна, отмечена теоретическая и практическая значимость полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, представлены апробация и результаты внедрения исследования.

В первой главе приводится анализ чрезвычайных ситуаций, происшедших на территории Российской Федерации, на основе опубликованных материалов МЧС России. Показано, что проведенные автором исследования выполнялись согласно приоритетному направлению научно-технической деятельности МЧС России, утвержденному решением коллегии МЧС России от 06 мая 2013 года № 6/IV «О научно-технической деятельности в МЧС России в 2012 году и приоритетных направлениях развития науки, техники и технологий в системе МЧС России на 2014-2016 годы и на перспективу до 2020 года», а именно «Научное обеспечение развития системы мониторинга и прогнозирования масштабных чрезвычайных ситуаций и уменьшения опасности бедствий».

Анализ факторов природно-техногенного характера, приводящих к возникновению ЧС на железнодорожном транспорте, позволяет сделать вывод, что серьезным фактором риска возникновения чрезвычайной ситуации является сам железнодорожный путь, как отторгаемая антропогенная часть экосистемы. Возникновение этого эффекта объясняется тем, что при строительстве и эксплуатации железнодорожного пути возникает нарушение естественной природной обстановки, способное провоцировать и усугублять природные ЧС.

Необходим единый научно-технологический подход к вопросам мониторинга потенциально-опасных участков железнодорожного пути и, в первую очередь, к решению ключевых технологических проблем: унификации методов измерений, формы представления информации и нормативных требований к ее полноте и точности (таблица 1).

Таблица 1 – Ключевые технологические проблемы мониторинга

Ключевые технологические проблемы мониторинга	Основные причины недостаточной эффективности мониторинга потенциально-опасных участков железнодорожного пути
Отсутствие в масштабах сети интеграции показаний путеизмерительных и диагностических средств в единой системе координат	<ul style="list-style-type: none"> - невозможность выявления целого ряда геометрических параметров рельсовой колеи; - высокая погрешность координатной привязки дефектов пути в пикетажной системе координат; - невозможность ведения непрерывной <i>«истории состояния (болезни)»</i> каждого километра железнодорожного пути с непрерывной актуализацией информации в единой системе координат.
Отсутствие единой системы контроля соответствия проектным и паспортным данным железнодорожного пути (в том числе на больших протяженных участках)	<ul style="list-style-type: none"> - невозможность <i>определения и контроля</i> с необходимой точностью проектных параметров пути на больших протяженных участках; - невозможность отслеживания взаимного влияния при <i>изменении состояния</i> железнодорожного пути на другие объекты железнодорожного транспорта и искусственные сооружения.
Отсутствие технологий комплексного мониторинга железнодорожного пути для отслеживания опасных природно-техногенных явлений и ЧС	<ul style="list-style-type: none"> - невозможность контроля событий на протяженных территориях, прилегающих к железнодорожному пути (до десятков километров удаления), оказывающих непосредственное влияние на железнодорожный путь (оползни, лавины, шторма и т.д.); - мониторинг потенциально-опасных участков железнодорожного пути носит локальный характер, результаты не интегрируются в комплексную систему мониторинга.

Рассматривая этапы развития техники и технологии, можно сделать вывод, что идет непрерывный процесс интеграции методов и средств мониторинга и предупреждения ЧС в единую информационно-управляющую систему. Наглядно это демонстрирует эволюция методов и средств мониторинга (рисунок 1).

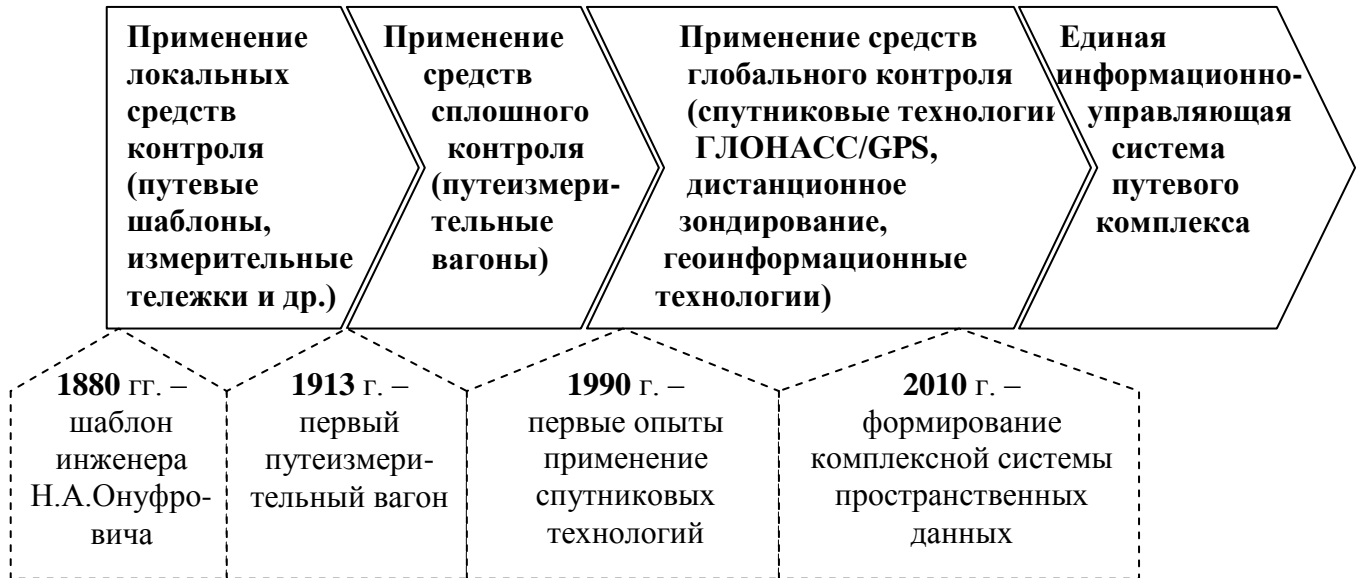


Рисунок 1 – Эволюция методов и средств мониторинга

Представленная картина подтверждает тезис о необходимости создания глобальной системы предупреждения и предотвращения ЧС с помощью средств аэрокосмического мониторинга железнодорожного пути и прилегающих территорий для предотвращения ЧС.

Проведенные исследования явились одним из оснований включения в Стратегию инновационного развития ОАО «РЖД» (Белая книга ОАО "РЖД") приоритетного направления «Внедрение инновационных спутниковых и геоинформационных технологий». Непосредственно с участием автора, как члена редакционной комиссии, сформулированы три перспективных направления научно-технического развития железнодорожного транспорта в целях обеспечения безопасности движения:

- спутниковые технологии мониторинга состояния пути, а также объектов железнодорожной инфраструктуры в полосе отвода;

- спутниковые технологии мониторинга потенциально опасных объектов и крупных искусственных сооружений железнодорожного транспорта;

- технологии комплексной обработки спутниковых навигационных данных и материалов спутниковой съемки в местах повышенного риска и возникновения ЧС.

На основании приведенных доводов ОАО «РЖД» было принято решение о разработке спутниковой технологии мониторинга потенциально-опасных участков пути (оползни, скально-обвальные участки и т.д.) в рамках реализации международного научно-технического сотрудничества между ОАО «РЖД» и корпорацией «Финмекканика (Телеспацио), Италия, на опытном полигоне Адлер-Туапсе Северокавказской железной дороги в рамках выполнения работы плана НТР ОАО «РЖД» №19.5.011.Н.

Во второй главе рассматриваются вопросы информационно-технологического обеспечения мониторинга и сбора данных о состоянии потенциально-опасных участков железнодорожного пути.

Существующая система информационно-технологического обеспечения мониторинга железнодорожного пути включает два уровня: первый – комплекс локальных инфраструктурных технических решений (реперные сети, путевые шаблоны, геодезическая аппаратура и др.); второй – средства сплошного контроля (вагон-путеизмеритель и др.). При этом все данные средства дают дискретную и разнородную картину, не позволяющую в принципе выстраивать адекватную пространственную модель состояния железнодорожного пути (рисунок 2).

Для решения представленных технологических проблем целесообразно применение средств глобального контроля – космических, авиационных и наземных средств дистанционного зондирования с высокоточной привязкой измерений аппаратурой ГЛОНАСС/GPS. По результатам исследований предложена модернизированная структурная схема системы мониторинга протяженных деформаций железнодорожного пути, предусматривающая четыре основных уровня (рисунок 3).

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА

1. **Дискретность** получаемой информации о пути
2. **Относительность** измерений в подвижных системах координат
3. **Разнородность** пространственной информации
4. **Интегрированная** оценка состояния пути путем суммирования измерений локальных дефектов
5. **Сложность и затратность** контроля положения реперов - эталонов

Отсутствие единой координатной и информационной среды, интегрирующей весь массив данных о состоянии железнодорожного пути

2-й уровень
Подвижные транспортные объекты и машины для задач мониторинга и содержания железнодорожного пути

1. Вагоны-путеизмерители
2. Путьевые машины и механизмы

Средства автоматизированного мониторинга и обслуживания получают **неполную информацию о состоянии пути**, и как следствие, — **невозможность достижения оптимального проектного положения и состояния пути**

1-й уровень
Комплекс инфраструктурных технических решений

1. Реперные сети
2. Специальные технические решения (датчики оползневой опасности и др.)
3. Специализированные автоматизированные системы (АСУ-П и др.)
4. Натурные осмотры

Инфраструктурные технические решения носят **локальный** характер применения, имеют **низкий уровень информационного взаимодействия** вследствие **разнородности видов информации**

Верхнее строение пути

Земляное полотно
Основание - зона влияния на геологическую среду

Рисунок 2 – Основные технологические проблемы мониторинга пути



Рисунок 3 – Модернизированная система мониторинга пути

Построена иерархическая структура решаемых задач перспективной технологии мониторинга ЧС (рисунок 4).



Рисунок 4 – Иерархическая структура решаемых задач мониторинга ЧС

Возникают следующие новые технологические возможности оценивать геометрические параметры пути в комплексе с объектами инфраструктуры:

1. Оценка пространственного положения и геометрических параметров железнодорожного пути в комплексе с искусственными сооружениями (смещение насыпей, приближение/удаление ИССО и т.д.);
2. Адаптивное управление мониторингом и текущим обслуживанием пути (управление частотой контроля при мониторинге, меньшее время для устранения дефектов путем прямой передачи информации со средств контроля на путевые машины, управление скоростью работы путевых машин во время ремонтов и т.д.);
3. Выявление эпицентров потенциально-опасных явлений на больших площадях, прилегающих к железнодорожному пути (образование водоемов, скорость роста оврагов в сторону пути, обводнение и заболачивание почв и т.д.)

Разработанная концепция информационно-технологического совершенствования системы мониторинга потенциально-опасных участков железнодорожного пути на основе новых инновационных технологий одобрена и принята в рамках Семинара Россия – ЕС по исследованиям в области железнодорожного транспорта 2012 года и рекомендована к применению в России и странах ЕС решением секции «Инфраструктура».

Третья глава посвящена вопросам разработки технологии автоматизированного выявления потенциально-опасных объектов на прилегающих к железнодорожному пути территориях (рисунок 5), основанной на выявлении аномальных зон с наименьшими значениями когерентности сигнала повторяемых космических снимков.



Рисунок 5 – Выявление потенциально-опасных объектов на участке Туапсе-Адлер

Применение методов глобального космического мониторинга позволяет не только отслеживать геометрические параметры пути на всем участке, но и выявлять возникающие объекты, представляющие потенциальную угрозу для железнодорожного пути (водоемы, возникающие запруды, проводимые природные (мелиоративные) и строительные работы, меняющийся характер

водостоков, оврагообразующие процессы и др.), определять зависимость состояния пути от состояния прилегающей территории (рисунок 6).

Для автоматизированного распознавания железнодорожных путей на снимках разработана методика, основанная на детектировании прямолинейных объектов с использованием преобразования Хока. Алгоритм дискретного преобразования Хока основан на разбиении пространства параметров на множество так называемых собирающих элементов, характеризующихся дискретными значениями φ и ρ . Первоначально все эти элементы имеют нулевое значение. Затем для каждой точки (x_i, y_i) , отмеченной на исходном бинарном изображении, используя все возможные φ_j , вычисляются соответствующие значения $\rho_j = x_i \cdot \cos \varphi_j + y_i \cdot \sin \varphi_j$. Значения собирающих элементов, соответствующих (φ_j, ρ_j) , увеличиваются при этом на единицу.

Каждая точка на исходном бинарном изображении соответствует синусоидальной кривой единичной яркости на преобразованном изображении N точек, лежащих на прямой $\rho_j = x \cdot \cos \varphi_j + y \cdot \sin \varphi_j$, преобразуются в N синусоид в параметрическом пространстве, пересекающихся в точке (φ_j, ρ_j) . Чем выше значение собирающего элемента после окончания преобразования, тем больше точек лежит на прямой с соответствующими параметрами на исходном изображении.

Детектирование доминирующих прямолинейных объектов осуществляется с использованием вектора однородности распределения яркости в столбце преобразования Хока. Этот вектор содержит нормированные величины, численно характеризующие для каждого направления наличие на исходном изображении прямолинейных объектов:

$$O_k = O(\varphi_k) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{m=1}^M H^2(k, m),$$

где $H(k, m)$ - значение собирающего элемента (k, m) после преобразования Хока, N - общее количество точек, отмеченных на исходном изображении.

Предлагаемая методика реализована в виде специализированного программного обеспечения автоматизированного детектирования железнодорожных путей на снимках и идентификации их параметров (рисунок 6).

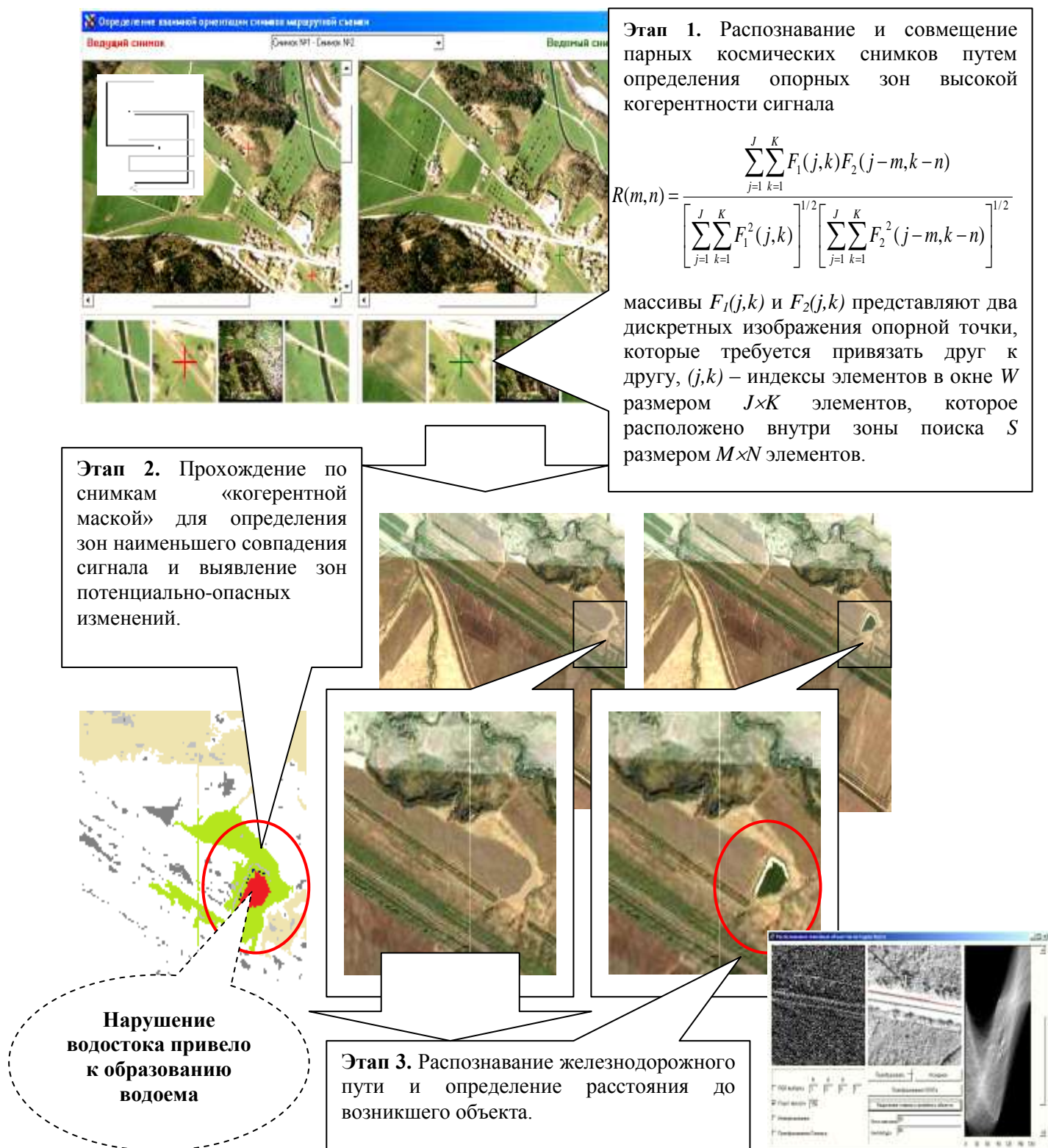


Рисунок 6 – Технологическая схема выявления потенциально-опасных изменений прилегающей к железнодорожному пути территории

Четвертая глава посвящена разработке и анализу эффективности методов радиолокационной космической интерферометрии для решения задачи мониторинга потенциально-опасных участков железнодорожного пути. Путем сравнения существующих в мире систем радиолокационного дистанционного зондирования Земли и полученных результатов исследований, как российских, так и зарубежных ученых, доказано, что методы космического радиолокационного зондирования позволяют на ранней стадии и с высокой точностью выявлять смещения земной поверхности, предоставляя тем самым возможность выработки мер по предупреждению аварийных ситуаций (таблица 2).

Таблица 2 – Классификация методов мониторинга

Космические методы мониторинга ЧС	Медленно зарождающиеся оползневые процессы (класс 1-2)*	Оползневые процессы средней скорости движения (класс 3)*	Внезапные быстродвижущиеся оползневые процессы (класс 4-7)*
Спутниковая телевизионная съемка	Эффективно (ежегодная съемка)	Неэффективно	Неэффективно
Спутниковая радиолокационная съемка	Эффективно (ежегодная съемка)	Эффективно (ежемесячная съемка)	Эффективно (при использовании угловых отражателей)
Наземный мониторинг скорости смещения с помощью аппаратуры ГЛОНАСС/GPS	Неэффективно	Эффективно (целесообразны периодические ежемесячные измерения контрольных точек)	Эффективно (постоянные непрерывные измерения в контрольных точках)

* согласно классификации приведенной в Инструкции по применению методов дистанционного мониторинга и предупреждения опасных природных воздействий на инфраструктуру железных дорог, скорости деформации в сутки (мм) составляют: 1-2 класс – $0,05 \div 0,1$; 3 класс – $0,5$; 4-7 класс - $2 \div 2400$.

Доказано, что метод дифференциальной радиолокационной интерферометрии представляет собой эффективное средство определения подвижек земной поверхности и деформаций сооружений. Принципиальное преимущество дифференциальной радиолокационной интерферометрии перед другими методами мониторинга вертикальных и плановых деформаций заключается в возможности прямой фиксации объемных деформаций железнодорожного пути и путевой инфраструктуры (мостов, тоннелей, эстакад, насыпей и др.), произошедших между съемками, с точностью до 0,1 мм.

Для выявления смещений поверхности необходимо сопоставить два радиолокационных снимка, сделанных до и после предполагаемых смещений. Кроме того, потребуется опорная цифровая модель рельефа (ЦМР), построенная по результатам более ранних съёмок. На основе снимков и ЦМР с помощью метода дифференциальной интерферометрии можно выявлять смещения поверхности. Однако при этом необходимо учитывать возможные помехи и погрешности, которые влияют на качество радиолокационных снимков и, как следствие, результаты интерферометрии.

Одной из важнейших характеристик, которые используются для оценки качества радиолокационной интерферометрии, является *когерентность*. Фактически, когерентностью называется коэффициент корреляции двух радиолокационных снимков:

$$C = \frac{\mathbf{E}(S_1 \cdot S_2)}{\sqrt{\mathbf{E}|S_1|^2 \mathbf{E}|S_2|^2}},$$

где $\mathbf{E}(\cdot)$ - оператор усреднения.

По сути же это – мера сходства двух снимков между собой, которая принимает значения из интервала $[0,1]$, и чем меньше значение когерентности, тем менее схожи между собой снимки, и тем менее достоверна информация, полученная с их помощью. Заметим, что когерентность можно рассчитывать не для всего снимка, а лишь для некоторой его малой части, например,

окрестности заданного пикселя. Таким образом, можно построить карту когерентности, которая будет содержать информацию о когерентности в различных частях зоны съёмки.

Метод дифференциальной интерферометрии реализован на предварительной стадии анализа спутниковых снимков, и в качестве исходных данных для выявления критических деформаций земной поверхности используются карта смещений $Z = \{z_{i,j}\}, i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, M$ и карта когерентностей $C = \{c_{i,j}\}$.

Карта смещений – это, по сути, таблица, ячейка $z_{i,j}$ которой содержит информацию о том, насколько изменилось за период между съёмками расстояние от анализируемой точки до спутника в момент первой съёмки в зоне местности, соответствующей пикселю снимка (i, j) .

Здесь N и M – количество пикселей по горизонтали и вертикали соответственно. Ячейка $c_{i,j}$ карты когерентностей содержит значение когерентности в окрестности пикселя (i, j) . Кроме того, предполагается заданной дополнительная карта, в которой указаны координаты прохождения железнодорожных путей.

Необходимо определить понятие критической деформации. Будем говорить, что имеет место критическая деформация поверхности Земли, если разница между смещениями поверхности в двух соседних зонах превышает по модулю некоторый допустимый уровень d^* .

То есть, если пиксели $(i_1, j_1), (i_2, j_2)$ являются соседними на снимке и относительный сдвиг $|z_{i_1, j_1} - z_{i_2, j_2}|$ таков, что $|z_{i_1, j_1} - z_{i_2, j_2}| > d^*$, то в зоне между пикселями имеет место критическая деформация.

Для выявления критических деформаций в зоне прохождения железнодорожных путей на первом этапе анализа на карте смещений необходимо отделить только те пиксели, которые соответствуют зоне путей, что делается с помощью дополнительной карты.

В результате получается новый массив смещений $Z' = \{z'_i\}, i = 1, \dots, n$ и соответствующий ему массив (профиль) когерентностей $C' = \{c'_i\}$.

Далее по массиву (профилю) смещений Z' строится массив относительных сдвигов $D = \{d_i = |z'_{i+1} - z'_i|\}, i = 1, \dots, n-1$.

На следующем этапе в массиве относительных сдвигов необходимо выделить те значения, которые превышают критическое значение d^* .

Необходимо учесть, что значения деформаций получены не точно, а с некоторой погрешностью, которая неизбежна при реализации метода дифференциальной интерферометрии.

Заметим, что явная статистическая оценка погрешности чрезвычайно трудоёмка, однако в нашем распоряжении имеется массив когерентностей, которые позволяют определить насколько достоверны значения смещений, а следовательно, и сдвигов. Поэтому для каждого «подозрительного» значения относительного сдвига, превысившего критическое, требуется рассмотреть соответствующие значения когерентности в данном пикселе и соседних. Для этого необходимо заранее задать некоторое пороговое значение когерентности \hat{c} . И если, например, относительный сдвиг $d_j = |z_{j+1} - z_j|$ таков, что $d_j > d^*$, то будем рассматривать значения когерентности $c_{j-1}, c_j, c_{j+1}, c_{j+2}$ и сравнивать их с \hat{c} .

При $c_k > \hat{c}, k = j-1, j, j+1, j+2$, можно с большой долей достоверности утверждать, что в зоне соответствующей пикселям $j, j+1$ имеет место критическая деформация.

Методология обработки спутниковой информации была принята к реализации для задач мониторинга потенциально-опасных участков железнодорожного пути и внедрена на участке Адлер-Туапсе Северокавказской железной дороги в рамках выполнения работы плана НТР ОАО «РЖД» №19.5.011.Н «Разработка спутниковой технологии мониторинга потенциально-опасных участков пути (оползни, скально-обвальные участки и

т.д.) в рамках реализации международного научно-технического сотрудничества между ОАО «РЖД» и корпорацией «Финмекканика (Телеспацио). Получен патент Российской Федерации на полезную модель № 2009115803/22 от 27.04.2009 «Система контроля потенциально-опасных участков железнодорожного пути с использованием данных дистанционного зондирования Земли».

Пятая глава посвящена вопросам формирования и практического использования комплексной системы аэрокосмического мониторинга геометрических параметров железнодорожного пути, в которой реализованы описанные ранее методы. Основные технологические этапы мониторинга протяженных потенциально-опасных участков железнодорожного пути на основе использования материалов аэрокосмической съемки приведены на рисунке 7.

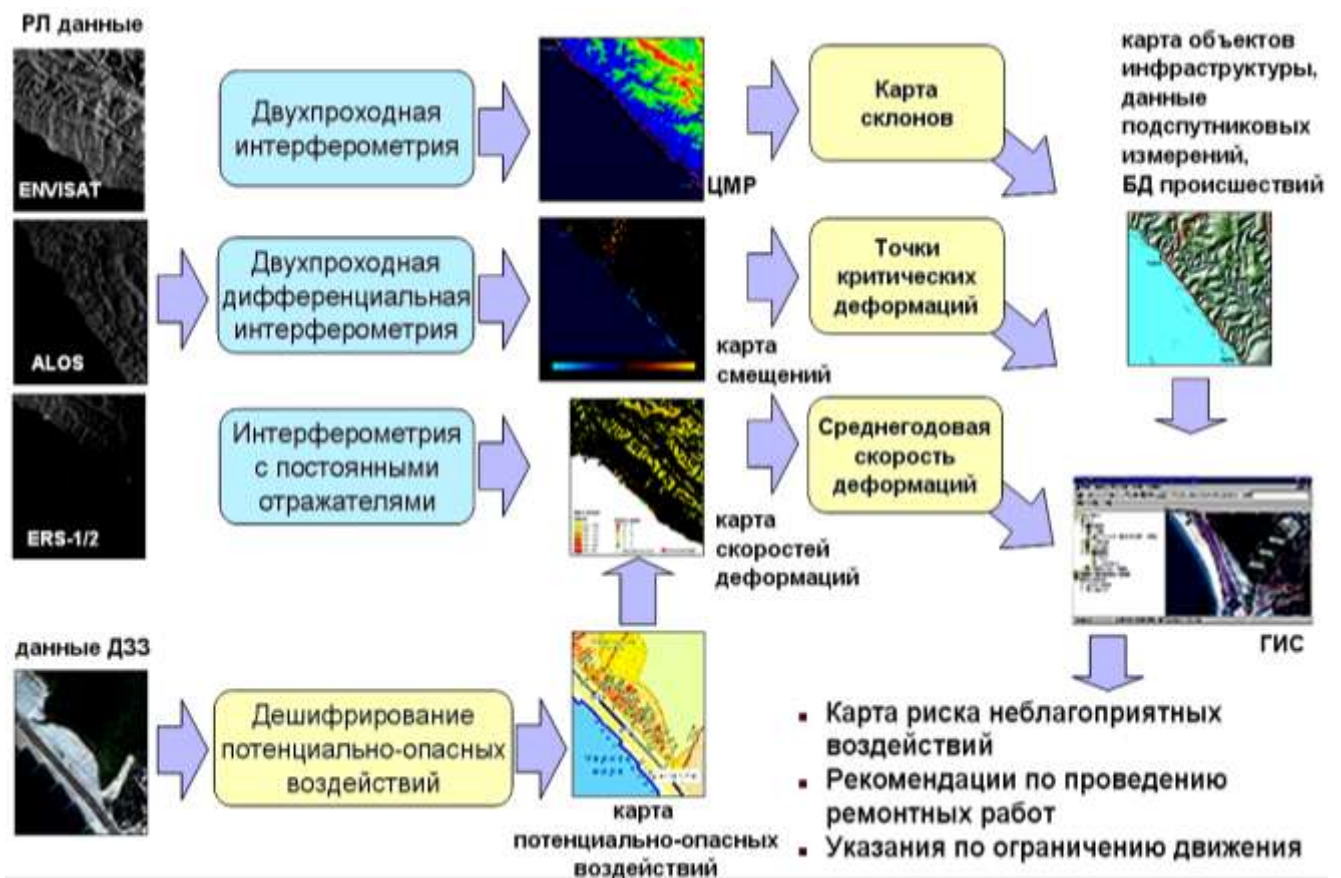


Рисунок 7 – Технологическая схема комплексного аэрокосмического мониторинга

Представленная система комплексного аэрокосмического мониторинга реализована в пилотном проекте мониторинга пути на участке Адлер-Туапсе Северокавказской железной дороги с использованием отечественных и зарубежных данных космической съемки. Технологическая схема обеспечения спутниковыми данными для реализации пилотного проекта представлена на рисунке 8.

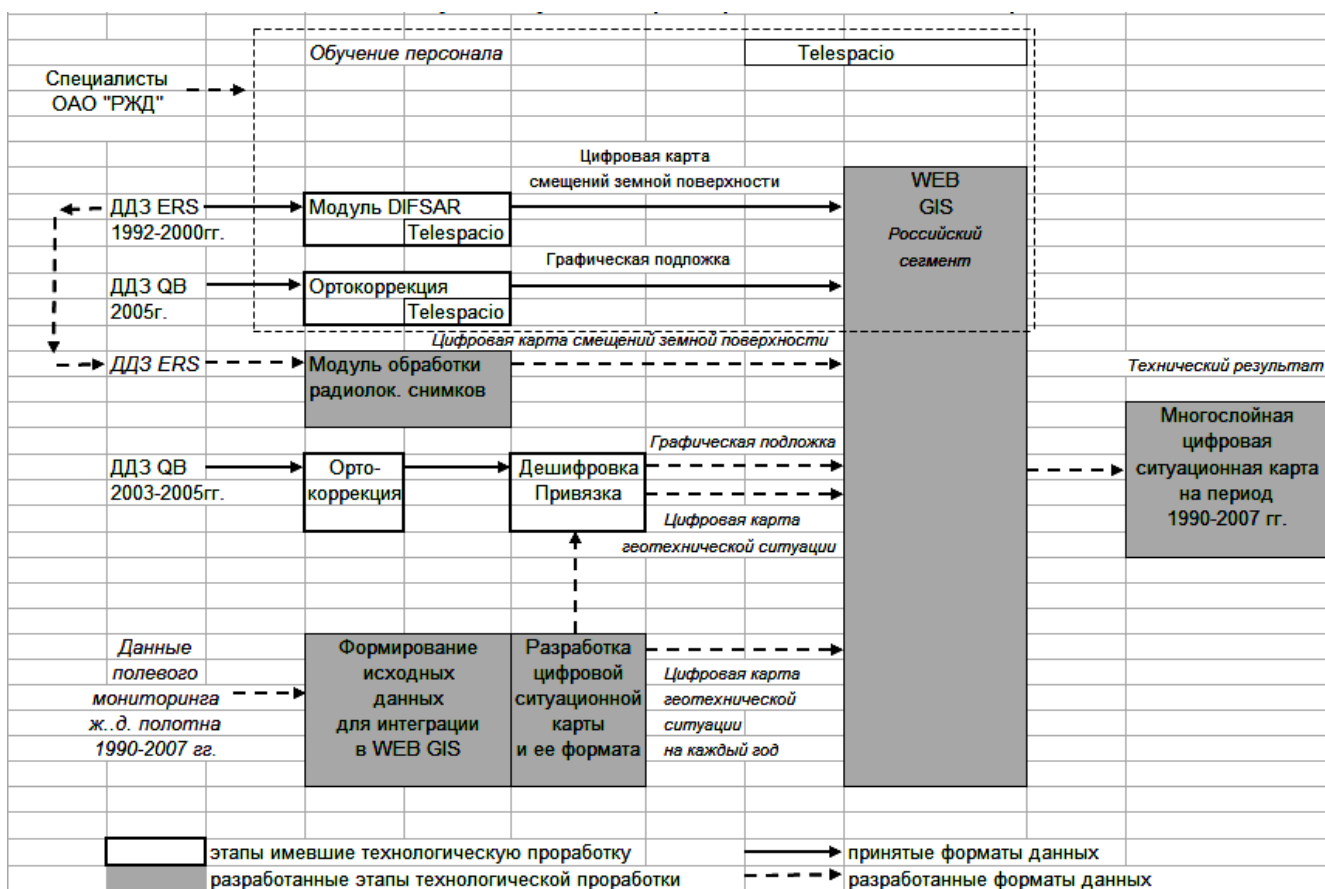


Рисунок 8 – Технологическая схема обеспечения спутниковыми данными

Предложенная система комплексного мониторинга (рисунок 9) позволяет охватывать измерениями весь опытный полигон в единой глобальной системе координат, оперативно отслеживать изменения состояния пути и прилегающих территорий, выявлять объемные деформации, имеющие протяженный характер и фактически меняющие геометрию пути всего участка.

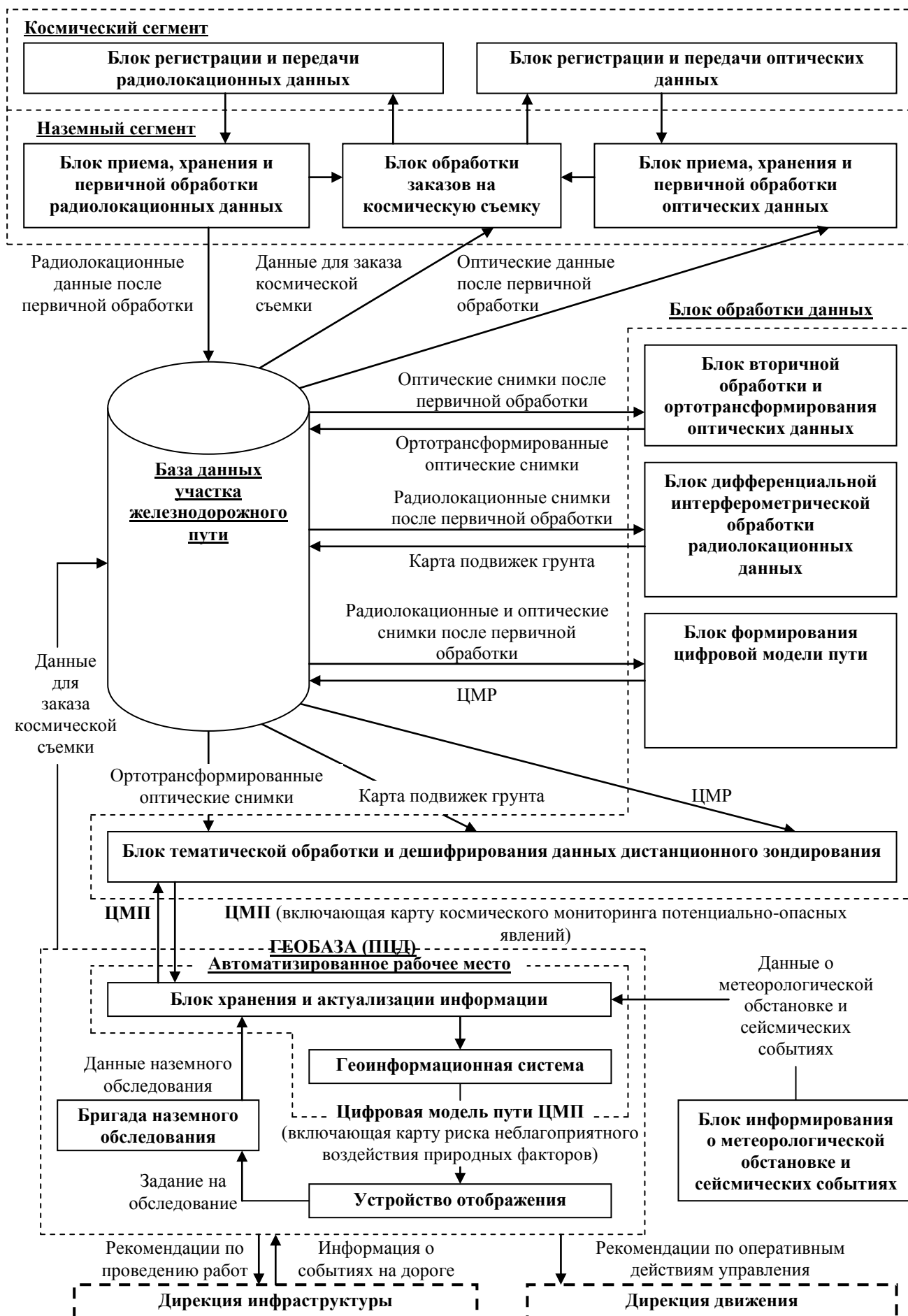


Рисунок 9 – Комплексная система мониторинга железнодорожного пути

Технология оперативного спутникового мониторинга ЧС предусматривает проведение спутниковой съемки с увеличенной частотой до суток во время стремительного развития негативного воздействия на путь и ежемесячного планового мониторинга с целью контроля динамики состояния потенциально-опасных участков, при этом наземные полевые исследования в рамках технологического процесса спутникового мониторинга проводятся силами дорожных служб только на участках с наивысшей степенью опасности, а также на участках, демонстрирующих негативную динамику (рисунок 10).

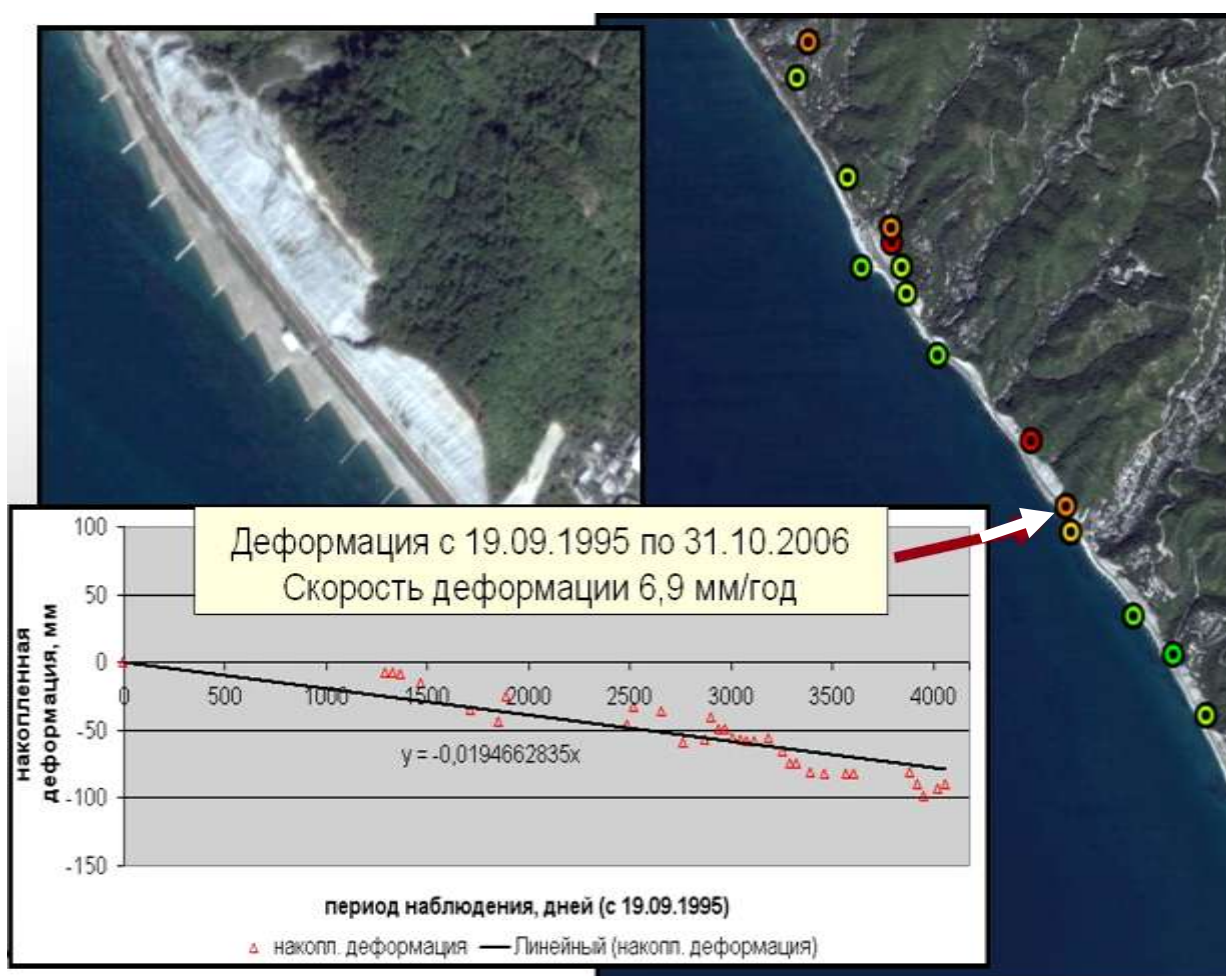


Рисунок 10 – Определение скорости деформаций

Для дорожной службы формируется задание на расширенное обследование/осмотр, которое содержит в себе краткую характеристику обследуемого участка, фрагмент карты, содержащий в себе результаты

спутникового мониторинга в различных диапазонах с привязкой к пикетажу, гипотезу о возможных негативных процессах, происходящих на участке, а также ретроспективную информацию об опасных происшествиях происходивших на этом участке. Кроме того, прилагаются снимки обнаруженных негативных проявлений потенциальных или развивающихся ЧС по результатам дистанционного зондирования: новообразовавшегося водоема, изменение береговых очертаний рек, озер или морей, появление или развитие оврагов и т.д. и т.п. (рисунок 11).

По результатам расширенного полевого обследования дорожные службы делают заключение о степени угрозы для железнодорожной инфраструктуры, выявленных по результатам спутникового мониторинга негативных факторах, и при необходимости дают рекомендации по проведению срочных защитных мероприятий на данном участке или мероприятий по предотвращению или ликвидации чрезвычайной ситуации.



Рисунок 11 – Задание на расширенное полевое обследование

Разработанная комплексная система мониторинга протяженных потенциально-опасных участков железнодорожного пути с использованием аэрокосмической съемки апробирована и внедрена в рамках комплексного научно-технического проекта «Создание современных систем управления движением поездов и обеспечение безопасности движения (КНП-5)» Раздел 4 Пункт 4.10 «Разработка опытного образца системы и технологии мониторинга железных дорог на основе спутниковых технологий и геоинформационной базы данных (ГБД) по опасным природно-техногенным участкам на полигоне Туапсе-Адлер Северо-Кавказской железной дороги», а также подтверждена патентом Российской Федерации на полезную модель № 2010116956/09 от 29.04.2010 «Система мониторинга потенциально-опасных участков железнодорожного пути».

Шестая глава посвящена разработке основных направлений дальнейшего развития системы аэрокосмического мониторинга потенциальных участков железнодорожного пути на участках повышения интенсивности перевозочного процесса в целях дальнейшей интеграции в комплексный инновационный проект ОАО «РЖД» - «Цифровая железная дорога».

Определено, что для решения задач мониторинга протяженных деформаций земляного полотна (которые проявляются в виде длинных неровностей пути) необходимо модернизировать разработанную систему мониторинга потенциально-опасных участков железнодорожного пути методами аэросъемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащенных аппаратурой ГЛОНАСС/GPS, которые позволяют:

- охватывать измерениями геометрических параметров пути весь опытный полигон в единой системе координат;
- оперативно отслеживать состояние не только на выбранных контрольных точках, но и на всем участке;
- отслеживать объёмные деформации, имеющие протяженный характер и фактически меняющие геометрию пути всего полигона.

В настоящее время мы стоим на пороге очередного повышения осевой вагонной нагрузки до 27 тс. Созданы специальные конструкции вагонов, ориентированные на эксплуатацию с этой нагрузкой. Определены опытные полигоны, на которых будет проводиться подопытная эксплуатация составов из вагонов с повышенной осевой нагрузкой (рисунок 12).



Рисунок 12 – Перспективные полигоны тяжеловесного движения

Ключевую роль в развитии тяжеловесного движения с повышенными осевыми нагрузками играют технологии мониторинга железнодорожного пути как основной инфраструктурной составляющей, на которую приходится основное воздействие.

С учетом того, что опытные полигоны обращения составов из вагонов с повышенными осевыми нагрузками представляют собой замкнутые маршруты, а состояние верхнего строения пути и его конструкции сильно

дифференцированы, целесообразно использовать максимально автоматизированные способы измерений, включающие три технологических уровня (рисунок 13).

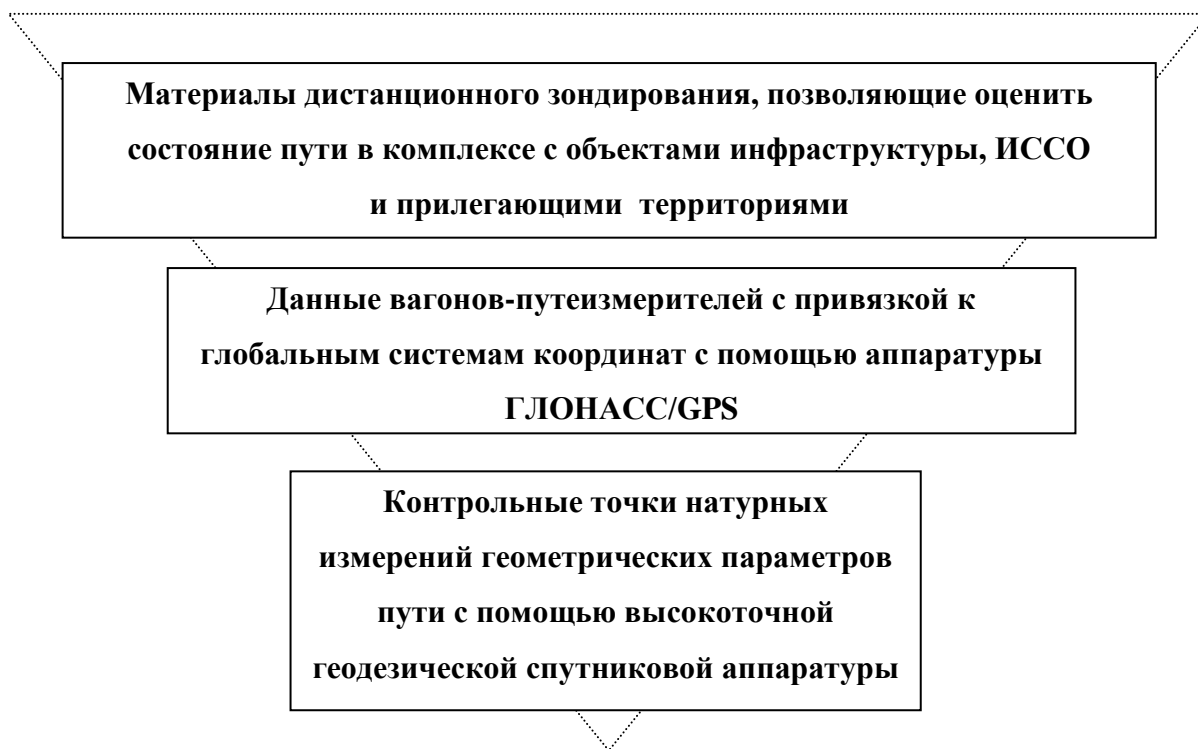


Рисунок 13 – Структура системы мониторинга

В 2013-2016 годы на участке Ковдор – Мурманск Октябрьской железной дороги проводилась опытная эксплуатация экспериментальных вагонов с осевой нагрузкой 27 т/ось. Был установлен факт накопления осадок пути под тяжеловесными поездами (рисунок 14), а также то, что эти осадки (h) представляют собой длинные неровности (L), параметры которых меняются во времени.

Протяженные деформации могут быть связаны с деформациями земляного полотна, причем параметры неровностей меняются с ростом пропущенного тоннажа (рисунок 14). Очевидно, что контроль параметров длинных неровностей может служить важным средством диагностики состояния земляного полотна под воздействием вагонов с повышенной осевой нагрузкой и тяжеловесных поездов.

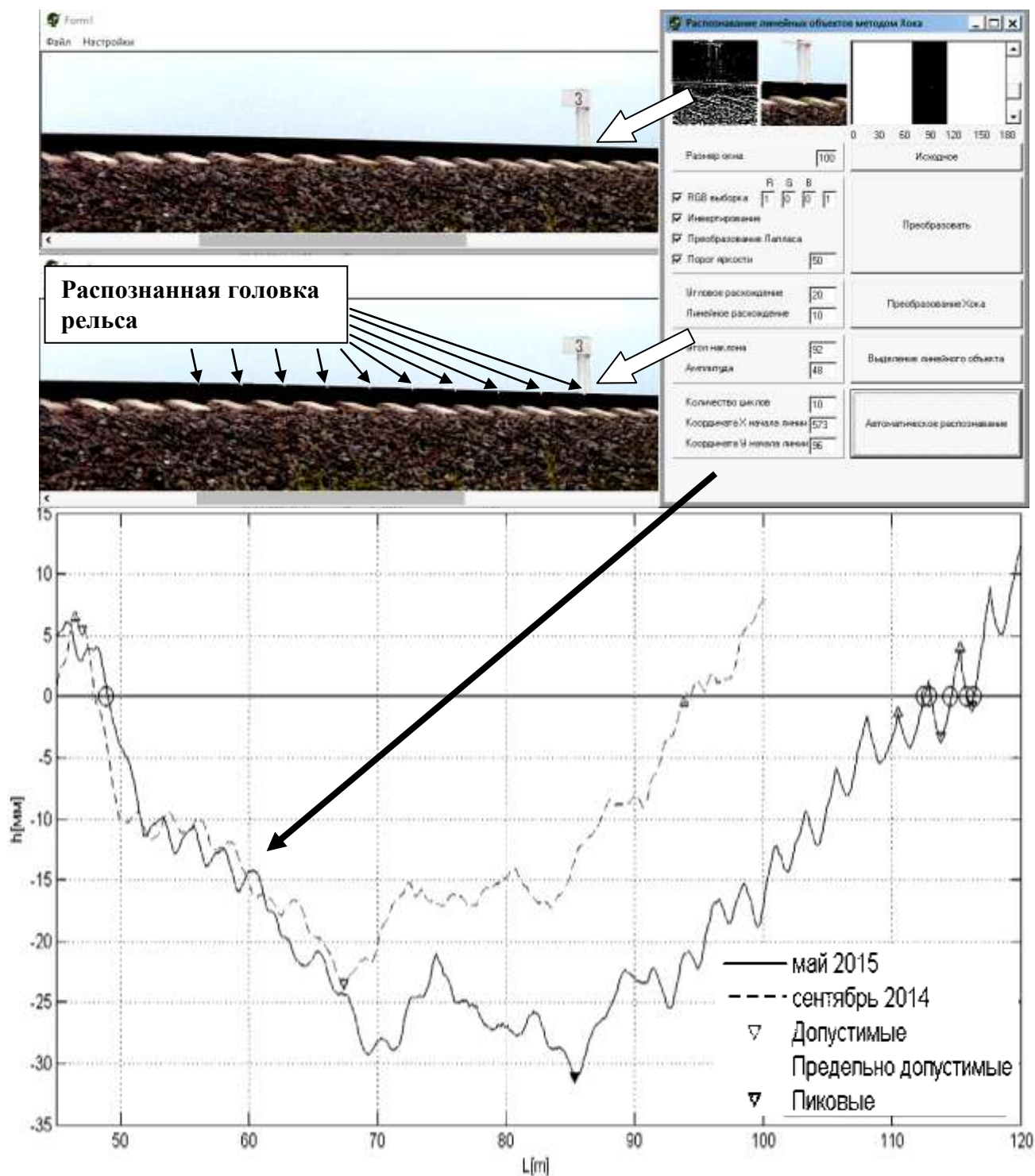


Рисунок 14 – Рост натурной неровности за период с сентября 2014 г. по май 2015 г. на 25 км участка Ковдор-Пинозеро

Технологии дистанционного зондирования позволили выявить осадки пути с последующим уточнением контрольных точек нивелировкой (рисунок 15). Что позволяет построить зависимость осадки всего участка от

пропущенного тоннажа, тем самым выходя на экономические параметры эксплуатации и меры необходимые для предотвращения ЧС.

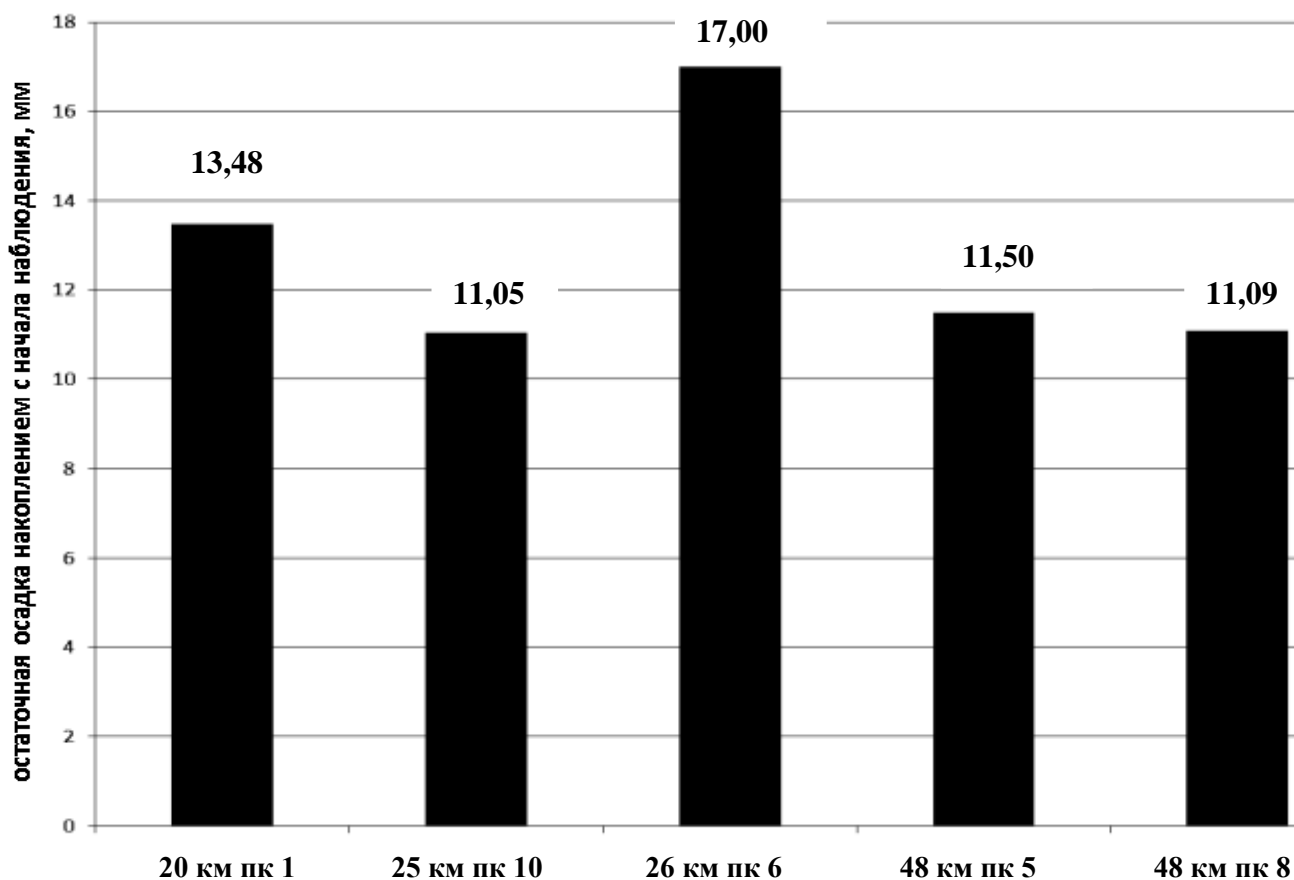


Рисунок 15 – Осадки на опытных участках за весь период наблюдений

Применение методов глобального аэрокосмического мониторинга на участке Ковдор-Мурманск подтвердило возможность выявлять возникающие объекты, представляющие потенциальную угрозу для железнодорожного пути (водоемы, возникающие запруды, проводимые природные (мелиоративные), и строительные работы, меняющийся характер водостоков, оврагообразующие процессы и др.), тем самым определяя зависимость состояния пути от состояния прилегающей территории.

Результаты практической реализации комплексного научного проекта мониторинга пути на участке Ковдор-Мурманск доложены на заседании Объединенного ученого совета (протокол №63 от 17 сентября 2015 года) и приняты в качестве обязательных рекомендаций (комплекс мероприятий) при организации полигонов тяжеловесного движения на сети железных дорог.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основании проведенных научных исследований были проанализированы тенденции развития систем предупреждения и предотвращения ЧС, разработаны концепция, методы, технология и многоуровневая система аэрокосмического мониторинга и предупреждения ЧС на полигонах с интенсификацией перевозочного процесса в виде технических и технологических решений, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны в части повышения безопасности железнодорожного транспорта.

Основные научные результаты и выводы заключаются в следующем:

1. В результате анализа доказано, что идет непрерывный процесс интеграции методов и средств мониторинга и предупреждения ЧС в единую информационно-управляющую систему.

2. Доказано, что существующая система мониторинга железнодорожного пути, включающая комплекс локальных инфраструктурных технических решений (реперные сети, путевые шаблоны, геодезическая аппаратура и др.) и средства сплошного контроля (вагон-путеизмеритель и др.), не позволяет выстраивать постоянно актуализируемую непрерывную пространственную модель состояния протяженного участка железнодорожного пути и прилегающих территорий.

3. Предложено применять средства глобального контроля – космические, авиационные и наземные средства дистанционного зондирования с высокоточной привязкой аппаратурой ГЛОНАСС/GPS для мониторинга протяженных участков железнодорожного пути.

4. Разработана концепция интеграции в единый технологический комплекс аэрокосмических и традиционных технологий мониторинга деформаций протяженных участков пути и прилегающих территорий для предупреждения и предотвращения ЧС.

5. Сформирована структура многоуровневой системы мониторинга и предупреждения ЧС на основе разработанной концепции.

6. Предложены и опробованы методы предупреждения ЧС путем оценки изменений железнодорожного пути и объектов на прилегающих территориях. По результатам внедрения определено, что предложенные методы мониторинга потенциально-опасных участков железнодорожного пути с использованием космической радиолокационной съемки являются эффективными высокоточными средствами для предотвращения и предупреждения ЧС (определенная величина средней скорости вертикальной деформации участка железной дороги Сочи-Дагомыс (пос. Мамайка) составила 6,9 мм/год).

7. Разработана технология комплексного аэрокосмического мониторинга протяженных участков пути для предупреждения и предотвращения ЧС.

8. Система и технологические элементы комплексного аэрокосмического мониторинга и предупреждения ЧС внедрены на линиях в условиях повышения интенсивности перевозочного процесса (экспериментальных участках железнодорожного пути общей протяженностью более 300 км Октябрьской и Северо-Кавказской железных дорогах), а именно:

- технология реализована и внедрена для задач мониторинга потенциально-опасных участков железнодорожного пути на участке Адлер-Туапсе Северокавказской железной дороги в рамках выполнения работы плана НТР ОАО «РЖД» №19.5.011.Н «Разработка спутниковой технологии мониторинга потенциально-опасных участков пути (оползни, скально-обвальные участки и т.д.), с получением патента Российской Федерации на полезную модель;

- система комплексного мониторинга развита и реализована в рамках комплексного научно-технического проекта «Создание современных систем управления движением поездов и обеспечение безопасности движения (КНП-

5)» Раздел 4 Пункт 4.10 «Разработка опытного образца системы и технологии мониторинга железных дорог на основе спутниковых технологий и геоинформационной базы данных (ГБД) по опасным природно-техногенным участкам на полигоне Туапсе-Адлер Северо-Кавказской железной дороги. Получен патент Российской Федерации на полезную модель.

- технические и технологические решения разработаны и применены для исследования состояния железнодорожного пути при введении повышенных осевых нагрузок на экспериментальном полигоне Ковдор-Мурманск Октябрьской железной дороги в рамках выполнения работы плана НТР ОАО «РЖД»: «Оценка влияния применения в эксплуатации вагонов с осевой нагрузкой 27 тс на базе определения напряженно-деформативного состояния верхнего строения пути и земляного полотна при воздействии поездов с вагонами с осевой нагрузкой 23,5 тс, 25 тс и 27 тс и интенсивности расстройств пути в эксплуатации от воздействия поездов с вагонами с нагрузкой 27 тс на ось».

9. Результаты исследований состояния железнодорожного пути при введении повышенных осевых нагрузок на экспериментальном полигоне Ковдор-Мурманск показали следующее:

- повышение интенсивности перевозочного процесса приводит к росту деформаций пути и риску возникновения ЧС, особенно на увлажненных грунтах (выявлено путем совместного анализа данных мониторинга прилегающих территорий и осадок пути);

- при обращении вагонов с повышенными осевыми нагрузками на замкнутых маршрутах в специализированных вертушках целесообразно вести аэрокосмический мониторинг для возможности периодического анализа состояния пути и прилегающих территорий по материалам данных дистанционного зондирования;

- предложенная технологическая схема мониторинга с использованием аэрокосмических технологий позволит охватывать измерениями весь полигон и оперативно отслеживать изменения состояния пути и

прилегающих территорий, выявлять очаги зарождения ЧС – деформации, имеющие протяженный характер и фактически меняющие геометрию пути всего участка.

10. Принципиальное отличие разработанной комплексной системы спутникового мониторинга заключается в комплексной обработке данных аэрокосмического дистанционного зондирования, а также натуральных измерений и хронологической информации о событиях. Развитие систем аэрокосмического мониторинга ЧС позволит в дальнейшем определять с высокой точностью параметры протяженных деформаций пути и инфраструктурных сооружений (насыпи, мосты и др.) в течение длительного временного интервала.

11. Внедрение на экспериментальных участках железнодорожного пути общей протяженностью более 300 км Октябрьской и Северо-Кавказской железных дорог результатов диссертационного исследования подтверждает эффективность применения спутниковых технологий в целях мониторинга ЧС с дальнейшим тиражированием результатов.

12. Дальнейшие перспективы разработки темы заключаются в создании единой системы аэрокосмического мониторинга сети железных дорог Российской Федерации, интегрируемой в комплексный инновационный проект ОАО «РЖД» - «Цифровая железная дорога», что позволит на регулярной основе отслеживать очаги возникновения ЧС.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

Публикации в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук

1. Железнов, М.М. Предотвращение чрезвычайных ситуаций путем выявления объемных деформаций на потенциально-опасных участках

железнодорожного пути с использованием аэрокосмической съемки [Текст] / М.М. Железнов, В.М. Пономарев, В.О. Певзнер // Наука и техника транспорту. – 2017. – №4. – С. 95-104.

2. Железнов, М.М. Геометрическое моделирование железнодорожного пути в плане с применением методов сплайн-интерполяции [Текст] / М.М. Железнов, Е.А. Сидорова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2015. – № 4 (60). – С. 109-114.

3. Железнов, М.М. Поиск оптимального положения трассы железнодорожного пути в плане с применением геометрического моделирования [Текст] / М.М. Железнов, Е.А. Сидорова // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2014. – №1. – С. 35-39.

4. Долгий, А.И. Нечеткая временная модель представления информации в интегрированных системах диагностики пути [Текст] / А.И. Долгий, М.М. Железнов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2013. – №2. – С. 104-111.

5. Железнов, М.М. Испытательный полигон геоинформационных технологий [Текст] / М.М. Железнов, А.С. Матвеев, Д.С. Манойло // Мир транспорта. – 2012. – № 1. – С. 118-121.

6. Железнов, М.М. Развитие и внедрение инновационных технологий в информационно-технологическую систему технического обслуживания железнодорожного пути [Текст] / М.М. Железнов // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2012. – №6. – С. 1-5.

7. Железнов, М.М. Система координат для решения задач мониторинга и технического обслуживания железнодорожного пути [Текст] / М.М. Железнов // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2012. – №1. – С. 4-8.

8. Розенберг, И.Н. Перспективы развития технологий мониторинга и содержания инфраструктуры транспортных железнодорожных коридоров стран СНГ «Пространства 1520» на основе спутниковых и геоинформационных технологий [Текст] / И.Н. Розенберг, М.М. Железнов // Вестник транспорта Поволжья. – 2012. – №6. – С. 36-39.

9. Железнов, М.М. Основные направления исследований в области мониторинга и технического обслуживания железнодорожного пути на основе спутниковых технологий [Текст] / М.М. Железнов // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – №6. – С. 59-64.

10. Железнов, М.М. Определение геометрических параметров железнодорожного пути по материалам аэрокосмического дистанционного зондирования [Текст] / М.М. Железнов // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2011. – №6. – С. 3-6.

11. Василейский, А.С. Мониторинг потенциально-опасных воздействий на железнодорожную инфраструктуру с использованием космических систем ДЗЗ [Текст] / А.С. Василейский, М.М. Железнов, А.Ю. Макаров // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2010. – №6. – С. 16-19.

12. Железнов, М.М. Спутниковый радиолокационный мониторинг объектов железнодорожной инфраструктуры [Текст] / М.М. Железнов, И.Н. Розенберг // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – №1. – С. 2-3.

13. Духин С.В. Единое геоинформационное пространство железных дорог [Текст] / С.В. Духин, М.М. Железнов, Д.С. Манойло, С.И. Матвеев // Железнодорожный транспорт. – 2008. – №10. – С. 26-29.

14. Жуков, Б.С. Задачи обработки многозональных видеоданных КМСС на КА «Метеор-М» [Текст] / Б.С. Жуков, А.С. Василейский, М.М. Железнов, С.Б. Жуков, О.В. Бекренев, Л. И. Пермитина // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2005. – Т.1. – С. 210-215.

15. Василейский, А.С. Методика и программное обеспечение отработки алгоритмов геометрической коррекции изображений, получаемых цифровыми аэрокамерами [Текст] / А.С. Василейский, М.М. Железнов, Я.Л. Зиман, И.В. Полянский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. –2005. –Т.1. – С. 210-215.

16. Василейский, А.С. Методика наземной геометрической калибровки съемочных камер на линейных ПЗС [Текст] / А.С. Василейский, М.М. Железнов, Я.Л. Зиман, И.В. Полянский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2005. – Т.1. – С. 216-221.

17. Железнов, М.М. Методика и алгоритм определения в полете взаимной выставки аппаратуры ДЗЗ и звездных координаторов [Текст] / М.М. Железнов, Я.Л. Зиман, А.А. Форш // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2004. – Т.1. – С. 116-119.

18. Василейский, А.С. Алгоритмы координатной привязки космических видеоданных по навигационным измерениям [Текст] / А.С. Василейский, М.М. Железнов, Я.Л. Зиман // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2003. – №4. – С. 37-43.

19. Василейский, А.С. Повышение точности координатной привязки данных дистанционного зондирования Земли [Текст] / А.С. Василейский, М.М. Железнов, Я.Л. Зиман, А.А. Форш // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2003. – №4. – С. 62-65.

Патенты Российской Федерации на изобретения и полезные модели

20. Пат. 100634 Российская Федерация, МПК G01S 5/14, B61L 23/34. Система управления транспортными объектами на полигоне железной дороги [Текст] / Бондарец В.А., Духин С.В., Железнов М.М., Кривдин Д.Г., Сазонов Н.В.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») (RU); заявл. 07.04.2010; опубл. 20.12.2010, Бюл. № 35.

21. Пат. 99416 Российская Федерация, МПК В61К 9/08. Система диагностирования железнодорожного пути [Текст] / Бондарец В.А., Василейский А.С., Духин С.В., Железнов М.М.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») (RU); заявл. 07.04.2010; опубл. 20.11.2010, Бюл. № 32.

22. Пат. 98253 Российская Федерация, МПК G01S 13/00, B61L 25/00. Система мониторинга потенциально-опасных участков железнодорожного пути [Текст] / Василейский А.С., Железнов М.М., Розенберг И.Н., Карелов А.И., Макаров А.Ю., Сазонов Н.В., Чернова Н.В.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») (RU); заявл. 29.04.2010; опубл. 10.10.2010, Бюл. № 28.

23. Пат. 87024 Российская Федерация, МПК G01S 5/14. Система определения местоположения технологических объектов [Текст] / Бондарец В.А., Духин С.В., Железнов М.М., Розенберг И.Н., Сазонов Н.В., Уманский В.И.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») (RU); заявл. 06.05.2009; опубл. 20.09.2009, Бюл. № 26.

24. Пат. 86319 Российская Федерация, МПК G01S 13/00, B61L 25/00. Система контроля потенциально-опасных участков железнодорожного пути с использованием данных дистанционного зондирования Земли [Текст] / Василейский А.С., Духин С.В., Железнов М.М., Карелов А.И., Макаров А.Ю., Розенберг И.Н., Сазонов Н.В., Чернова Н.В.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») (RU); заявл. 27.04.2009; опубл. 27.08.2009, Бюл. № 24.

25. Пат. 2226672 Российская Федерация, МПК G01C 5/00, E01B 35/00. Способ контроля состояния железнодорожного пути [Текст] / Матвеев С.И., Коугия В.А., Манойло Д.С., Железнов М.М.; заявитель и патентообладатель Московский государственный университет путей сообщения (RU); заявл. 06.06.2002; опубл. 10.04.2004, Бюл. № 10.

*Другие наиболее значимые публикации, в которых опубликованы
результаты диссертации*

26. Железнов, М.М. Аэрокосмические методы мониторинга чрезвычайных ситуаций на территории пролегания железнодорожной инфраструктуры [Текст] / М.М. Железнов, В.М. Пономарев // Мир транспорта. – 2017. – №4. – С. 86-95.

27. Розенберг, И.Н. Возможности использования спутниковых технологий для мониторинга железнодорожной инфраструктуры [Текст] / И.Н. Розенберг, Е.А. Лупян, М.М. Железнов, А.С. Василейский // Ренессанс железных дорог. Фундаментальные научные исследования и прорывные инновации: коллективная монография членов и научных партнеров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – М.: Аналитика Родис, 2015. – С. 97-112.

28. Соловьев, В.П. Численное моделирование процесса накопления деформаций пути в вертикальной плоскости с использованием метода частиц для различных условий эксплуатации [Текст] / В.П. Соловьев, А.В. Анисин, И.А. Давыдов, С.С. Надежин, В.О. Певзнер, М.М. Железнов, В.В. Третьяков, И.В. Третьяков // Ренессанс железных дорог. Фундаментальные научные исследования и прорывные инновации: коллективная монография членов и научных партнеров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – М.: Аналитика Родис, 2015. – С. 61-74.

29. Железнов, М.М. Концепция мониторинга макротерриториальных деформаций железнодорожного пути с использованием космических технологий [Текст] / М.М. Железнов, В.О. Певзнер, А.С. Василейский, А.И. Карелов, Е.А. Сидорова // Научное обеспечение инновационного развития и повышения эффективности деятельности железнодорожного транспорта: коллективная монография членов и научных партнеров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД»; под ред. Б. М. Лapidуса. – М.: Mittel Press, 2014. – С. 97-111.

30. Железнов, М.М. Космический мониторинг потенциально-опасного взаимодействия железной дороги с окружающей средой в сложных климатических условиях [Текст] / М.М. Железнов, С.Ю. Завьялов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2014. – Т.1. – С. 180-183.

31. Певзнер, В.О. Научные основы моделирования взаимодействия пути и подвижного состава в современных условиях эксплуатации [Текст] / В.О. Певзнер, В.П. Соловьев, М.М. Железнов, С.С. Надежин // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2014. – №4. – С. 8-14.

32. Железнов, М.М. Оперативный мониторинг потенциально опасного взаимодействия железной дороги с окружающей средой [Текст] / М.М. Железнов, С.Ю. Завьялов // Железнодорожный транспорт на современном этапе развития: сб. трудов молодых ученых ОАО «ВНИИЖТ» / Под ред. М.М. Железнова, Г.В. Гогричани. – М.: Интекст, 2013. – С. 214-218.

33. Железнов, М.М. О приоритетных направления научных исследований ОАО «ВНИИЖТ» [Текст] / М.М. Железнов // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2013. – №6. – С. 28-33.

34. Железнов, М.М. О концепции информационно-технологического совершенствования системы ведения путевого хозяйства на основе инновационных технологий, в том числе спутниковых [Текст] / М.М. Железнов // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2012. – №5. – С. 1-7.

35. Абдурашитов, А.Ю. О современных методах ремонта и содержания железнодорожной инфраструктуры. Создание передвижного диагностического путевого комплекса с использованием спутниковой навигации [Текст] / А.Ю. Абдурашитов, М.М. Железнов // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2011. – №3. – С. 36-38.

36. Железнов, М.М. Концепция мониторинга и содержания инфраструктуры транспортных железнодорожных коридоров стран СНГ

«пространства 1520» на основе спутниковых и геоинформационных технологий [Текст] / М.М. Железнов // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» . – 2011. – №2. – С. 34-37;

37. Василейский, А.С. Интерферометрическая обработка спутниковой радиолокационной информации для мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры [Текст] / А.С. Василейский, М.М. Железнов, В.В. Милосердов, В.И. Уманский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: материалы 6-ой всерос. открытой ежегод. конф. (Москва, 10-14 нояб. 2008). – М.: ИКИ РАН, 2008. – С. 153 –158;

38. Железнов, М.М. Спутниковый мониторинг потенциально-опасных участков железнодорожного пути [Текст] / М.М. Железнов, Н.В. Сазонов, А.С. Василейский // Геопространственные технологии и сферы их применения: тр. 4-й Междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 12-13 мар. 2008). – М.: Информационное агенство «ГРОМ», 2008. – С. 54-56.

39. Василейский, А.С. О применении космического дистанционного зондирования для целей оперативного мониторинга экологической обстановки и чрезвычайных ситуаций на железнодорожных магистралях [Текст] / А.С. Василейский, М.М. Железнов // Безопасность движения поездов: тр. VI науч.-практ. конф. (Москва, 26-27 окт. 2005). – М.: МИИТ, 2005. – С. VI-5;

40. Василейский, А.С. Методика автоматизированного распознавания железнодорожных путей по данным дистанционного зондирования Земли сверхвысокого разрешения [Текст] / А.С. Василейский, М.М. Железнов // Безопасность движения поездов: труды V науч.-практ. конф. (Москва, 26-27 окт. 2005). – М.: МИИТ, 2005. – С. VII-18;

41. Василейский, А.С. Методика автоматизированного распознавания железнодорожных путей по данным дистанционного зондирования Земли сверхвысокого разрешения [Текст] / А.С. Василейский, М.М. Железнов // Вестник МИИТа. – М.: МИИТ. – вып.5. – 2005. – С. 62-64;

42. Zheleznov, M.M. Seeking optimum track alignment location supported with geometric modeling provisions [Text] / M.M. Zheleznov, E.A. Sidorova // Vniizht Bulletin. – 2014. – № 2. – P. 23-26.

43. Zheleznov, M.M. Developing innovative technologies to be implemented with the track maintenance IT system [Text] / M.M. Zheleznov // Vniizht Bulletin. – 2013. – №1. – P. 15-18.

44. Zheleznov, M.M. Aerospace remote sensing based determination of track geometry characteristics [Text] / M.M. Zheleznov // Vniizht Bulletin. – 2012. – №5. – P. 1-7.

Железнов Максим Максимович

Методы повышения безопасности движения и предупреждения
чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте с использованием
средств аэрокосмического мониторинга

05.26.02 - Безопасность в чрезвычайных ситуациях (транспорт)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Подписано в печать 15.01.2018

Заказ №1787

Формат 60x90/16

Тираж 100 экз.

Усл. печ. л. 3,0

УПЦ ГИ РУТ (МИИТ), Москва, 127994, ул. Образцова, д.9, стр.9