

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

На правах рукописи

Щербаков Владимир Васильевич



Разработка и исследование комплекса технологических решений
автоматизации геодезического обеспечения реконструкции
и ремонта железнодорожных путей

25.00.32 – Геодезия

Диссертация на соискание ученой степени доктора
технических наук

Научный консультант –
доктор технических наук, профессор
Карпик Александр Петрович

Новосибирск – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ	14
1.1 Назначение и требования к геодезическому обеспечению реконструкции и ремонта железнодорожных путей Российской Федерации	14
1.2 Современное состояние геодезического обеспечения реконструкции и ремонта железнодорожных путей.....	17
1.3 Анализ существующих методов геодезического обеспечения при реконструкции и ремонте железнодорожных путей	29
2 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ.....	31
2.1 Разработка автоматизированных измерительных средств для создания цифровых проектов.....	31
2.1.1. Разработка и исследование аппаратно-программного комплекса для определения пространственного положения и геометрических параметров рельсовой колеи	31
2.1.2 Разработка методики применения лазерных сканеров для создания цифровых моделей пути.....	42
2.1.3 Разработка методики для автоматизированного распознавания рельсовых нитей по данным лазерного сканирования МЛС «Сканпуть»	53
2.2 Разработка и исследования методики применения аппаратно-программных средств и мобильных лазерных сканеров для создания цифровых моделей пути и цифровых проектов.....	63
2.2.1 Методика расчета геометрических параметров рельсовой колеи по пространственным данным	63

2.2.2 Исследования аппаратно-программного комплекса «Профиль»	66
2.2.3 Программное обеспечение для расчета параметров железнодорожных кривых и геометрических параметров рельсовой колеи по геопространственным данным	71
2.3 Создание цифровых моделей пути и цифровых проектов с использованием АПК «Профиль» для САУ	77
2.3.1 Требования к цифровой модели пути и цифровому проекту	77
2.3.2 Разработка методики создания цифрового проекта для ремонта железнодорожного пути с использованием САУ	82
3 РАЗРАБОТКА СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТЕХНИКОЙ НА ОСНОВЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ	95
3.1 Общие требования к системам автоматизированного управления САУ на базе ГНСС для выправки пути	95
3.2 Разработка системы контроля геометрических параметров вырезки и очистки балласта щебнеочистительными машинами	100
3.3 Разработка системы контроля уплотнения балласта	111
3.4 Разработка систем автоматизированного управления для постановки пути в проектное положение	125
3.5 Системы контроля и диспетчеризации работы строительной железнодорожной техники	140
4 ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ	145
4.1 Разработка и внедрение нормативной базы для автоматизации геодезического обеспечения при реконструкции и ремонте железнодорожных путей	145
4.2 Особенности геодезического обеспечения ремонта железных дорог с использованием автоматизированных систем управления	149

4.2.1 Технологическая схема практической реализации геодезического обеспечения ремонта железнодорожных путей	149
4.2.2 Система технологического контроля рельсосварочного производства.....	154
4.2.3 Адаптация приборов, методики и программного обеспечения с целью создания цифровых проектов для ремонта железнодорожного пути с использованием САУ	160
4.2.4 Внедрение систем автоматизированного управления САУ на сети железных дорог ОАО «РЖД»	163
4.2.5 Исполнительные съемки законченных ремонтных участков железнодорожного пути.....	168
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	179
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	181
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	183
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) ОТЗЫВ «РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ (САУ) НА БАЗЕ ГНСС (ГЛОНАСС/GNSS) НА СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ОАО «РЖД»».....	208
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) ПАТЕНТ «СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ»	209
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) ПАТЕНТ «УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ»	210
ПРИЛОЖЕНИЕ Г (обязательное) СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ.....	211

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В эпоху цифровой трансформации Российской Федерации рядом директивных государственных документов (Стратегия экономической безопасности Российской Федерации до 2030 г., Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации, Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», Стратегия национальной безопасности Российской Федерации, Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 г. и др.) и выступлениями Президента России ставятся задачи разработки и реализации отечественных прорывных технологий и технологий опережающего развития, в том числе принципиально новых, природоподобных и когнитивных. Цифровые технологии – одно из ключевых направлений трансформации ОАО «РЖД» и железнодорожных компаний. Цифровые проекты в отрасли направлены на оптимизацию всех основных направлений работы – инфраструктуры, перевозок, работу с подвижным составом. При этом самое важное место отводится обеспечению безопасности пассажирских и грузовых перевозок. Поэтому своевременные работы по реконструкции и ремонту железнодорожных путей являются важным этапом жизненного цикла железнодорожной отрасли, в которых все большую роль играет геодезическое информационное обеспечение на всех уровнях.

Новые технические и технологические возможности современной геодезии базируются на инновационных методах и средствах сбора и компьютерной обработки пространственных данных в связи с применением спутниковых технологий, электронных тахеометров, лазерного сканирования и дистанционного зондирования с использованием цифровых методов. Моделирование окружающего пространства стало осуществляться в цифровой форме с соблюдением требований компьютерного восприятия, пространственно-временной четырехмерности, совместимости и согласованности моделей разного масштаба и тематического назначения. В силу приведенных причин, требований и условий развивается новое комплексное направление, связанное с применением современных геоинформационных методов

с целью получения и использования геопространственной информации об инфраструктуре железнодорожной отрасли всех иерархических уровней для решения задач в рамках программы «Цифровая железная дорога». Поэтому разработка и исследование комплекса технологических решений автоматизации геодезического обеспечения реконструкции и ремонта железнодорожных путей являются актуальной и своевременной задачей цифровизации железнодорожной отрасли в рамках программы «Цифровая железная дорога».

Ключевую роль при этом играет автоматизация геодезического обеспечения, что позволит повысить производительность и качество работ за счет автоматизации и управления строительными процессами, например, балластировкой пути при реконструкции и ремонте железнодорожного пути. Такой подход к геодезическому обеспечению строительных процессов достигается за счет автоматизации систем управления строительными дорожными машинами (бульдозером, автогрейдером), а также железнодорожными строительными и специальными машинами: электробалластером (ЭЛБ), выправочно-подбивочно-рихтовочной машиной (ВПО), щебнеочистительной машиной (ЩОМ), которые позволяют сократить затраты на выполнение комплекса работ, включая создание опорной геодезической сети, разбивочные работы, операционный контроль, исполнительные съемки и другие процессы.

Разработка систем автоматизированного управления (САУ) строительной дорожной и железнодорожной техникой с использованием геодезических средств и методов является актуальной задачей. Создание программных комплексов для обеспечения работы САУ, включая цифровые проекты, преобразование систем координат проекта в системы координат, структуру и форматы данных САУ, взаимодействие с другими машинами, оборудованными штатными системами управления, традиционно применяющимися на железной дороге, – также одна из важнейших и актуальных задач.

Кроме того, в настоящее время отсутствует нормативная база применения систем автоматизированного управления, а также САУ по двум и трем координатам (параметрам), соответственно САУ-2D, САУ-3D, включая регламенты, СП, ГОСТ.

Отсутствуют систематизация и классификация САУ по функциональным возможностям, принципу работы, характеристикам и параметрам, связанным с точностью, типом цифровых проектов, включающих проектные цифровые поверхности, ось железнодорожного пути, проектные сечения в плане и профиле. Структуры и форматы данных для САУ не унифицированы и различаются практически у всех разработчиков САУ, что вносит ограничения на создание и реализацию цифровых проектов.

Степень разработанности темы. Автоматизация – одно из приоритетных направлений в геодезии, особенно в последнее время с учетом новых возможностей развития измерительной и вычислительной техники. Средства и методы геодезического обеспечения автоматизации технологических процессов разрабатывались и ранее, внимание уделялось автоматизации отдельных видов измерений при мониторинге, контроле состояния инженерных объектов, измерении деформаций зданий и сооружений, мониторинге устойчивости отдельных конструкций и инженерных сооружений. Значительный вклад в развитие теории и методов внесли Уставич Г. А., Хорошилов В. С., Столбов Ю. В., Брынь М. Я., Коугия В. А., Никитина А. В., Васютинский И. Ю., Лютц А. Ф., Матвеев С. И., Ямбаев Х. К., Gross P., Blewitt G., Langley R., Leick A., Teunissen P.

Развитие геоинформационного обеспечения, методов создания цифровых проектов, моделей пространственных объектов, создание систем координат, структуры и форматов данных для САУ и их преобразование рассмотрены в научных трудах Карпика А. П., Бойкова В. Н., Величко Г. В., Скворцова А. В., Поспелова В. И., Круглова В. М., Левина К. М., Оккермана Г. Л., Ермакова В. М.

При этом исследования и разработки в области автоматизации геодезического обеспечения ремонта и реконструкции железных дорог с использованием ГНСС-технологий, лазерной, гироскопической и вычислительной техники обеспечили новые возможности, включая разработку новых систем автоматизированного управления строительной техникой на базе геодезических методов, создание цифровых проектов для САУ. Исследования по данной теме позволят автоматизировать геодезические измерения и отдельные строительные процессы при проведении

ремонта и реконструкции железнодорожного пути. В основе реализации поставленных задач лежит разработка САУ для железнодорожных строительных машин, использование ГИС, ГНСС для создания цифровых проектов (ЦП) вместо традиционных проектов на участок ремонта и реконструкции железнодорожного пути. Автоматизация строительных процессов на железной дороге на этапе вырезки балласта, балластировки, постановки пути в проектное положение и других работ позволит минимизировать разбивочные работы и сократить объем работ при создании опорной геодезической сети, операционного контроля и исключить инструментальный (с использованием нивелира и теодолита) контроль строительно-монтажных работ, например, при уплотнении и вырезке балласта, постановке пути в проектное положение. Поэтому приоритетным направлением при разработке технических решений по автоматизации геодезического обеспечения реконструкции и ремонта железнодорожных путей является автоматизация строительных процессов (управления строительной техникой), так как это более высокий уровень автоматизации геодезического обеспечения и ремонта в целом по отношению к автоматизации геодезических измерений в процессе геодезического сопровождения на различных этапах строительства.

Цели и задачи исследования. Целью работы являются разработка и исследование комплекса технологических решений автоматизации геодезического обеспечения реконструкции и ремонта железнодорожных путей.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- выполнить анализ современного состояния геодезического обеспечения реконструкции и ремонта железнодорожных путей;
- разработать теоретическое обоснование, методику и средства измерений для создания цифровых проектов реконструкции и ремонта железнодорожных путей в соответствии с технологическим процессом на реконструкцию и ремонт;
- разработать технологические и технические решения по автоматизации геодезического обеспечения ремонта и реконструкции железнодорожных путей, включая способ, принципиальную схему и устройство системы автоматизированного управления для комплекса железнодорожных строительных машин,

обеспечивающих технологический процесс ремонта и реконструкции железнодорожных путей;

– разработать теоретически обоснованные нормативные требования для геодезического автоматизированного обеспечения ремонта и реконструкции железнодорожных путей с использованием ГНСС и измерительных средств на их базе;

– внедрить комплекс технологических решений автоматизации геодезического обеспечения реконструкции и ремонта железнодорожного пути на сети железных дорог ОАО «РЖД».

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является геодезическое обеспечение ремонта и реконструкции железнодорожных путей.

Предмет исследования – разработка и исследование комплекса технологических решений автоматизации геодезического обеспечения реконструкции и ремонта железнодорожных путей.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

– разработан комплекс технических и технологических решений автоматизации геодезического обеспечения реконструкции и ремонта железнодорожных путей, включая средства измерений для создания цифрового проекта и реализации проектных решений реконструкции и ремонта железнодорожных путей с использованием САУ на базе геодезических методов, отличающихся тем, что геометрические параметры жестко связаны с пространственными данными и рассчитываются по текущим координатам рельсовой колеи, а проектные сдвиги и подъемки (рихтовки) используются как величины редукации пространственного положения оси пути и геометрических параметров в цифровом проекте;

– предложены технологические и технические решения по автоматизации геодезического обеспечения ремонта и реконструкции железнодорожных путей, включая способ, принципиальную схему и устройство системы автоматизированного управления для комплекса железнодорожных строительных машин, отличающиеся тем, что они позволяют полностью автоматизировать управление технологическим процессом реконструкции и ремонта железнодорожного пути без участия человека при постановке пути в проектное положение, контролировать

вырезку и уплотнение балласта, передавать данные в диспетчерский центр и создавать базу данных для оценки качества ремонта.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке и обосновании оптимальных технических и технологических решений автоматизации геодезического обеспечения, включающих способ и методику создания цифровых проектов для обеспечения работы САУ, разработку способа, принципиальной схемы и устройства САУ для комплекса железнодорожных строительных машин и нормативно-методическую базу для регламентирования работы САУ на железных дорогах.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанный в диссертации комплекс технологических решений автоматизации геодезического обеспечения реконструкции и ремонта железнодорожных путей доведен до практической реализации на сети железных дорог ОАО «РЖД» и «КТЖ» Республики Казахстан. Это позволило автоматизировать многие процессы при ремонте и реконструкции железнодорожного пути, сократить время выполнения работ, значительно повысить безопасность выполнения работ за счет цифровизации основных производственных этапов, повысить надежность полученных результатов и увеличить производительность труда в 4–5 раз.

Методология и методы исследования основаны на системном анализе, теории математической обработки результатов измерений. Решение поставленных задач базировалось на использовании математического моделирования, системного анализа и синтеза, сравнения, обобщений и оценок с привлечением методов интегрального исчисления, численных методов и теории интерпретации полученных результатов.

Положения, выносимые на защиту:

– требования к созданию цифровой модели пути как основы цифровых проектов и автоматизации геодезического обеспечения реконструкции и ремонта с использованием систем автоматизированного управления строительной техникой;

– технологические решения создания цифровых проектов для автоматизированного управления строительной железнодорожной техникой в соответствии с технологическими процессами при ремонте и реконструкции железнодорожного пути;

– технические и методические решения по разработке схем и устройств систем автоматизированного управления строительной железнодорожной техникой для расширения функциональных возможностей САУ по вырезке балласта, выправке пути и решения других задач по геодезическим данным;

– решения по формированию нормативных требований для геодезического автоматизированного обеспечения работы на объектах ремонта и реконструкции железнодорожных путей с использованием САУ, ГНСС и разработанных систем.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует областям исследований: 4 – Разработка новых принципов, методов, технических средств и технологий геодезических измерений для определения геометрических и физических параметров Земли, ее поверхности, объектов, явлений и процессов на ней, в том числе для производства наземных топографических съемок; 5 – Методы, технические средства и технологии геодезического обеспечения строительного-монтажных, кадастровых, землеустроительных, проектно-изыскательских, маркшейдерских, геолого-разведочных и лесоустроительных работ; освоения шельфа; монтажа, юстировки и эксплуатации технологического оборудования; 6 – Геодезическое обеспечение изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации крупных инженерных комплексов, в том числе гидротехнических сооружений, атомных и тепловых электростанций, промышленных предприятий, линейных сооружений. Геодезический контроль ведения технического надзора при строительстве и эксплуатации нефтегазодобывающих комплексов паспорта научной специальности 25.00.32 – Геодезия, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России.

Степень достоверности и апробация результатов исследований. Основные результаты исследований, концептуально-теоретические положения диссертации докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях:

на II Международной научно-практической конференции «Спутниковые технологии на службе железнодорожного транспорта» (24 июля 2008 г., г. Москва); на Международной научно-практической конференции (13 октября 2010 г., г. Санкт-Петербург); на VIII Международной научно-практической конференции «Телекоммуникационные, информационные и логистические технологии на транспорте» (19–21 апреля 2011 г., г. Ростов-на-Дону); на Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию СГУПС «Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе» (28–29 ноября 2012 г., г. Новосибирск); на Международной научно-практической конференции «Роль путевого хозяйства в инфраструктуре железнодорожного транспорта» (2012 г., г. Москва); на VIII Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012» (17–19 апреля 2012 г., г. Новосибирск); на IX Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013» (24–26 апреля 2013 г., г. Новосибирск); на XI Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015» (13–25 апреля 2015 г., г. Новосибирск); на XIII Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017» (23–27 апреля 2017 г., г. Новосибирск); на XIV Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2018» (25–27 апреля 2018 г., г. Новосибирск); на XV Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019» (24–26 апреля 2019 г., г. Новосибирск); на Международной научно-практической конференции «Инновационные факторы развития транспорта. Теория и практика» (19–20 октября 2017 г., г. Новосибирск); на XLI Международной научно-практической конференции Казахской академии транспорта им. М. Тынышпаева «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика» (3–4 апреля 2017 г., Республика Казахстан, г. Алма-Ата). Результаты исследований по разработке методов создания цифровых проектов, систем автоматизированного управления строительной техникой и инструментальной проверке станционных путей внедрены на сети железных дорог ОАО «РЖД» в рамках реализации инвестиционных проектов и хозяйственных договоров НИЛ: «Диагностика дорожных одежд и земляного полотна» на Октябрьской железной дороге, № 20-10/1828/ДС 2 от 11.01.2010; на

Западно-Сибирской железной дороге (ЗСЖД), № Д-210/ЦДРП от 29.08.2014; на Восточно-Сибирской железной дороге (ВСЖД), № 1636074 от 06.10.2015; на Забайкальской железной дороге (ЗабЖД), № 2112299 от 25.10.2016; в Республике Казахстан (КТЖ), в инжиниринговом центре «Ямал», обслуживающем железную дорогу Лобитнанги – Бованенково, и на других предприятиях промышленного железнодорожного транспорта (ППЖТ).

Результаты исследований внедрены в учебный процесс федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» для специальности «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей».

За заслуги в области транспорта и многолетнюю добросовестную работу Указом Президента Российской Федерации от 30.03.2020 автору присвоено почетное звание «Заслуженный работник транспорта Российской Федерации».

Публикации по теме диссертации. Основные теоретические положения и результаты исследований представлены в 26 научных публикациях, из них 11 – в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора наук, 9 – патентов РФ на изобретения и 3 статьи – в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 211 страниц машинописного текста. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы, включающего 179 наименований, содержит 20 таблиц и 98 рисунков, четыре приложения.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ

1.1 Назначение и требования к геодезическому обеспечению реконструкции и ремонта железнодорожных путей Российской Федерации

Назначение и требования к геодезическому обеспечению реконструкции и ремонту железнодорожных путей в ОАО «РЖД» приведены в нормативном документе «Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути» и утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 18.01.2013 № 75р [49]. В указанном нормативном документе приведены требования к проектной документации, технологии реконструкции и ремонта, технической документации для операционного контроля и отчетной документации для законченных ремонтных объектов. Для каждого участка ремонта формируется график работ, требования к строительной технике, геодезическому обеспечению с привязкой ко времени выполнения работ – технологический процесс.

Требования к координатной системе железных дорог приведены в СП 233.1326000. 2015 «Инфраструктура железнодорожного транспорта. Высокоточная координатная система» [100]. В данном документе регламентированы требования к точности, области применения высокоточной системы координат (ВКС). Описаны структура данных и требования к форматам представления данных. При этом геодезическое обеспечение железных дорог регулируется в соответствии с распоряжением ОАО «РЖД» от 08.04.2015 № 905 «О применении высокоточной координатной системы при проектировании, строительстве, реконструкции и ремонте объектов инфраструктуры ОАО «РЖД»». Разработаны требования по геодезическому, топографическому и картографическому обеспечению железных дорог подрядными организациями (постановление Правительства Российской Федерации № 139 от 03.03.2007 «Об утверждении правил установления местных систем координат» в редакции от 27.08.2014 № 861 [50]). Рассмотрены особые условия для

железнодорожного транспорта при установлении местных систем координат (МСК) с целью осуществления геодезического обеспечения деятельности на железных дорогах. В нормативном документе регламентированы требования к секретности для различных уровней отчетности.

В документах [99, 101] содержатся требования к геодезическим работам в строительстве и инженерным изысканиям для строительства. В таблице 1.1 приведены допустимые погрешности измерений при проложении ходов съемочной геодезической сети во время выполнении инженерных изысканий на железных дорогах.

Таблица 1.1 – Допуски на выполнение инструментальных геодезических работ на железных дорогах

Виды работ	Допустимые погрешности измерений		
	угловые, минуты	линейные	высотные, мм
Проложение ходов съемочного обоснования при изысканиях новых железных дорог и автомобильных дорог: магистральные ходы, ходы привязки к пунктам геодезической сети, ходы планово-высотного обоснования аэрофотоснимков	$1\sqrt{n}$	$\frac{1}{2000} / \frac{1}{1000}$	$50\sqrt{L}$
Полевое трассирование (вынос трассы в натуру) новых железных дорог и автомобильных дорог	$1\sqrt{n}$	$\frac{1}{2000} / \frac{1}{1000}$	$50\sqrt{L}$
Проложение ходов съемочной геодезической сети при изысканиях на действующих дорогах:			
– базисные и съемочные ходы на железнодорожных станциях, магистральные ходы на перегонах на застроенной территории;	$0,3\sqrt{n}$	$\frac{1}{4000}$	$30\sqrt{L}$
– съемочные ходы на железнодорожных станциях вне путевого развития, базисные ходы на разъездах, магистральные ходы на перегонах и автомобильных дорогах	$1\sqrt{n}$	$\frac{1}{2000}$	$50\sqrt{L}$
Измерение длин при разбивке пикетажа (двойной промер мерной лентой)	-	$\frac{1}{2000}$	-

Структурная схема геодезического обеспечения реконструкции и ремонта железных дорог с использованием ГНСС и традиционных инструментальных методов на всех этапах геодезического обеспечения приведена на рисунке 1.1 [13].



Рисунок 1.1 – Структурная схема геодезического обеспечения реконструкции и ремонта железных дорог с использованием ГНСС и традиционных инструментальных методов

1.2 Современное состояние геодезического обеспечения реконструкции и ремонта железнодорожных путей

В настоящее время в ОАО «РЖД» выправка и постановка пути в проектное положение выполняются с использованием проектных данных в относительных величинах, как правило, расстояния между осями проектного и соседнего пути и величиной превышения от реперной точки, закрепленной краской на опорах контактной сети (ОКС). Используются разбивочные чертежи (эпюры рихтовок, продольный профиль и данные по привязке высотных отметок к ОКС или соседнего пути).

Геодезические работы выполняются по традиционной схеме:

- разбивочные работы;
- создание опорной геодезической сети;
- закрепление пикетов и других точек на местности;
- измерение координат и высот разбивочной основы (X, Y, H);
- подготовка проектных данных для каждого этапа работ;
- операционный контроль;
- исполнительные съемки и подготовка отчетной документации.

Реконструкция верхнего строения пути (РВСП) и капитальный ремонт выполняются поэтапно:

- первый этап – подготовительный;
- второй этап – вырезка загрязненного балласта;
- третий этап – замена рельсошпальной решетки;
- четвертый этап – отделочные работы, выправка пути в плане и профиле, стабилизация балластной призмы;
- пятый этап – замена инвентарных рельсов на рельсовые плети и уравнивательные рельсы;
- шестой этап – окончательная выправка пути.

Рассмотрим этапы, связанные с наиболее трудоемкими работами и требующие геодезического обеспечения при реализации этапов.

На первом этапе выполняются разбивочные геодезические работы, включающие закрепление точек на местности, опорах контактной сети (при наличии), рельсах соседнего пути.

На втором этапе при вырезке загрязненного балласта контролируются высотные отметки для определения глубины вырезки балласта и уклона основной площадки.

Третий этап предусматривает балластировку пути, постановку пути на балласт, контроль габаритов приближения строений.

Четвертый этап предусматривает выправку и стабилизацию пути в плане, профиле и по уровню методом сглаживания и оправкой балластной призмы. При выполнении работ на этом этапе предусматривается в соответствии с существующей технологией несколько технологических циклов:

- первичная выправка на этапе балластировки пути (основные работы);
- последующие выправки после дополнительной отсыпки балласта (отделочные работы);
- выправка и стабилизация пути в плане, профиле и по уровню;
- замена инвентарных рельсов на сварные плети с выгрузкой плетей в середину колеи, снятием инвентарных рельсов и движкой плетей с постановкой их в оптимальный температурный интервал закрепления со сваркой на длину блок-участка или перегона;
- окончательная выправка пути (чистовая выправка).

При выполнении основных работ по выправке пути используются машина «Доуматик 09-32», ВПР-02, динамический стабилизатор пути (ДСП), планировщик балласта (ПБ). При выполнении отделочных работ используется ВПР-02, стабилизатор ДСП, планировщик балласта ПБ.

При замене инвентарных рельсов на сварные нити используются рельсовозный состав, путеразборочный состав и другая техника. При окончательной выправке пути используется машина «Доуматик 09-32», динамический стабилизатор пути ДСП. Технологическая схема выполнения работ приведена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Структурная схема технологии РВСП и капитального ремонта

Работы по балластировке пути выполняются после укладки новой рельсошпальной решетки машинизированным комплексом в составе хопер-дозаторов, электробалластера, стабилизатора ДСП, машины ВПР-02 и быстроходного планировщика ПБ.

Производится выгрузка нового щебеночного балласта из хопер-дозаторов с подъемкой пути на балласт с электробалластером. Рыхлый балласт в призме уплотняет и стабилизирует машина ДСП. На данном этапе необходим геодезический контроль осадки рыхлого балласта после уплотнения по высотным отметкам. После второй выгрузки щебня из хопер-дозаторов путь в плане и профиле рихтует машина ВПО или ВПР-02. На данном этапе работ необходим контроль габаритов приближения строений с использованием геодезических методов. Оправку

балластной призмы и формирование ее плеча шириной не менее 45 см производит быстроходный планировщик балласта ПБ. В местах нехватки щебеночного балласта из хопер-дозаторов выгружают щебеночный балласт для отделочных работ. Данные работы требуют определения геометрических параметров и высотных отметок для формирования балластной призмы в соответствии с проектом.

За весь период отделочных работ машина ВПР-02 дважды рихтует путь в плане, устанавливает его в профиле на уровень проектных отметок и выправляет путь. Динамический стабилизатор ДСП тремя проходами стабилизирует путь, планировщик оправляет балластную призму.

Окончательная выправка пути производится машиной «Доуматик 09-32» или ВПР-02, при этом выправляются все круговые и переходные кривые и окончательно устанавливаются отметки продольного профиля по проекту. На перегоне производится замена инвентарных рельсов на рельсовые плети и уравнильные рельсы. Предварительно рельсовые плети доставляются на перегон к месту укладки рельсовозным составом с базы рельсосварочного поезда. Укладочным краном УК-25/9-18 с нависным приспособлением производятся демонтаж инвентарных рельсов, передвижка и закрепление длинномерной плети.

После выполнения приведенных работ выполняется окончательная выправка и стабилизация пути с использованием машины «Доуматик 09-32». Машина выправляет путь и окончательно выставляет отметки профиля по проекту, динамический стабилизатор ДСП стабилизирует путь, путевой гайковерт ПМГ подтягивает и смазывает клеммные и закладные болты, планировщик ПБ делает оправку балластной призмы. Работы выполняются в «окна».

Детально рассмотрим методы постановки пути (выправки) в проектное положение. Выправка пути – один из наиболее трудоемких процессов и в то же время наиболее значимый, так как от качества выправки пути зависят эксплуатационные характеристики (плавность хода, скорость и т. д.), безопасность движения, затраты на текущий ремонт и содержание. Выправка пути производится при всех видах ремонта, реконструкции и новом строительстве. Выправка пути характеризуется как

технологический процесс перемещения рельсовых нитей рельсошпальной решетки (РШР) в поперечных по отношению к оси пути горизонтальном и вертикальном направлениях из натурального положения, характеризуемого отступлениями от допусков и норм содержания, в другое, также натурное положение, характеризуемое отсутствием указанных отступлений, при этом натурное положение пути в общем случае характеризуется:

– наличием неровностей (изолированных или периодических), определяемых как плавно изменяющиеся вдоль пути отклонения рельсовых нитей в вертикальной и горизонтальной плоскостях от некоторого усредненного положения, характеризуемого геометрически определенной линией (прямой, переходной или круговой кривой);

– наличием общего отклонения срединного положения рельсовых нитей относительно их проектного положения в плане и профиле.

Приведенные данные нормируются и оцениваются в продольном профиле, плане, по уровню и расстоянию между рельсовыми нитями требованиями правил технической эксплуатации (ПТЭ) (ПТЭ железных дорог Российской Федерации, ЦРБ-756), строительно-техническими нормами (СТН) СТН-Ц-1-95 (СТН МПС РФ. Железные дороги, колеи 1 520 мм), инструкциями ЦП-774 (Инструкция по текущему содержанию пути) и ЦРБ-393 (инструкция по техническому обслуживанию и эксплуатации сооружений, устройств, подвижного состава и организации движения на участках обращения скоростных пассажирских поездов). При проведении контроля геометрии пути в процессе эксплуатации по положению средних (расчетных) линий путеизмерительными вагонами выявляются отступления от норм содержания, которые необходимо устранить.

Цель технологической операции выправки рельсовой нити, показанной условно линией (рисунок 1.3), заключается в ее смещении в сечениях с заданным «шагом» вдоль пути по направлению и на величины, показанные стрелками, до положения линии 3. При таком смещении происходит уменьшение отклонений положения 1 рельсовой нити относительно срединного натурального положения 2

и при этом уменьшаются соответственно разности отклонений в соседних вдоль пути сечениях. Повышается плавность в положении рельсовой нити вдоль пути. Такой процесс выправки пути, когда происходит общее смещение срединного положения из положения 1 в положение 2 рельсовой нити, называют сглаживанием. Если такое смещение происходит в горизонтальной плоскости, то его называют сдвигом, а в вертикальной плоскости – подъемкой (движение вверх) или осаживанием (движение вниз, например, при динамической стабилизации балластного слоя стабилизатором пути ДСП). При смещении натурального положения рельсовой нити из положения 1 (см. рисунок 1.3) в положение 3 достигается постановка пути в проектное положение [115].

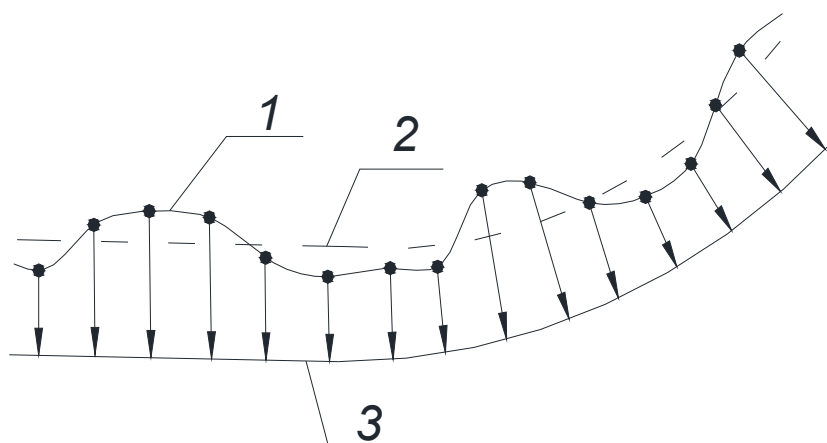


Рисунок 1.3 – Методы выправки пути

На практике работы выполняются в зависимости от назначения выправки. Так, например, при текущем содержании выполняется выправка путем сглаживания, т. е. рельсовая нить смещается (см. рисунок 1.3) из натурального положения 1 в натурное положение 2. При этом натурное положение 2, как правило, не совпадает с проектным положением 3. В последние 30 лет не уделялось должного внимания «уводу» пути с проектного положения. Главной задачей в соответствии с требованиями по содержанию пути является обеспечение плавности хода. Такой подход привел в настоящее время к тому, что появились многорадиусные кривые, длинные

неровности в плане (заводины), длинные неровности в профиле (лощины). Недостаток такого подхода выправки при реконструкции и ремонтах проявляется на этапе работ по содержанию рельсовой колеи. Так, длинные неровности в плане и профиле ограничивают скорость движения, способствуют увеличению расстройству пути и износу рельсов, усилению концентрации значений напряженно-деформированных рельсовых плетей на локальных участках. При этом многорадиусные кривые, так же как и длинные неровности, являются причиной расстройству пути, более ускоренного износа рельсов, ограничения скоростей, связанных с превышением нормирующих показателей непогашенного ускорения, и все эти факторы в совокупности негативно влияют на безопасность движения. Кроме того, метод сглаживания приводит к нарушениям габаритов приближения строений.

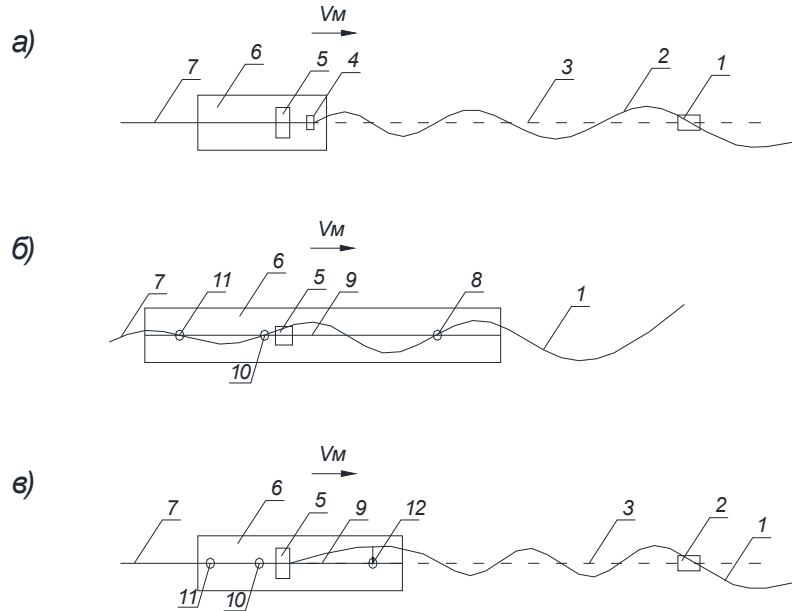
Для того чтобы оценить возможность реализации идеи постановки пути в проектное положение, в том числе кривых, необходимо рассмотреть методы и средства выправки пути. Для этого рассмотрим существующие типы систем управления выправкой пути.

1 Системы измерения, содержащие перемещаемую вдоль пути хорду и позволяющие на базе длины этой хорды определять неровности (стрелы изгиба пути), а также управлять подбивочно-рихтовочным устройством (см. рисунок 1.4, *a*), называют сглаживающими. Они используют перемещающуюся вместе с машиной базу (хорду).

Главными недостатками таких систем является ограниченные функциональные возможности по постановке пути в проектное положение, в том числе ограниченная база измерений – 21 м.

Недостатки сглаживающих систем являются принципиальными, так как ограничивают функциональные возможности систем в целом и без комплексирования с системами управления выправкой пути, созданными на базе координатных методов и соответственно пространственных данных, неэффективны и имеют перспективы развития только при сглаживании. При этом в настоящее время практически весь парк выправочных машин типа ВПР, ВПО, «Дуоматик» и др. оснащен

хордовыми (сглаживающими) системами. Кроме того, путеизмерительные вагоны типа КВЛП и ЦНИИ-4 также оснащены хордовыми системами измерений.



1, 7 – положения пути до и после выправки соответственно; 2 – неподвижная передняя концевая точка; 3 – базовая неподвижная линия визирования; 4 – датчик положения рельсошпальной решетки относительно линии визирования в точке выправки; 5 – подъемно-рихтовочное устройство (ПРУ); 6 – машина; 8, 11 – подвижные передняя и задняя концевые точки соответственно; 9 – подвижная хордовая база измерения; 10 – датчик 1 стрелы изгиба пути; 12 – направляющая передняя концевая точка, отслеживающая смещением в поперечном направлении линию визирования

Рисунок 1.4 – Базы отсчета выправочных систем: а) неподвижная; б) подвижная, перемещаемая вдоль пути вместе с машиной; в) совмещенная

Второй тип измерительных систем выправки пути (см. рисунок 1.4, б) основан на неподвижной относительно пути измерительной базе. Системы, реализующие методы выправки, связанные с использованием неподвижных относительно пути баз линий визирования, называются системами, работающими по методу постановки пути в фиксированные точки, или системами, работающими по методу фиксированных точек. Неподвижная базовая линия визирования в зависимости от конструктивных

особенностей системы может быть выполнена в виде оптической оси, лазерного модулированного в горизонтальной и (или) вертикальной плоскости луча и т. д.

Выправка пути по прямой неподвижной базовой линии отчета значительной протяженности позволяет измерить и устранить длинные неровности в плане (заводины) и профиле (лощины).

Методы и системы управления выправкой пути (СУВП), основанные на фиксированной базе, могут быть использованы как в режиме сглаживания, так и постановки пути в проектное положение. Если оптический прибор или лазерный построитель плоскости не привязан к геодезической системе координат или проектным параметрам, то выправка выполняется (см. рисунок 1.3) из натурального положения 1 в натурное положение 2. Если лазерные построители плоскости или другие средства измерений имеют геодезическую привязку в системе координат проекта, то выполняется перемещение пути из натурального положения 1 в натурное положение 3 (см. рисунок 1.3). В отличие от сглаживающих методов на подвижной хорде, данный метод позволяет избежать появления длинных неровностей в плане и профиле. Практическая реализация данных методов показывает эффективность их применения при выправке пути. В качестве примера можно привести систему EM-SAT [115].

На рисунке 1.5 показан внешний вид данной системы – вагон с аппаратурой системы EM-SAT.



Рисунок 1.5 – Вагон с аппаратурой системы EM-SAT

Электронная аппаратура системы EM-SAT размещается в измерительном вагоне и на специальной самоходной тележке (см. рисунок 1.5). Опыт использования этих системы получен на железных дорогах Германии (DBAG), Австрии и Италии.

Для повышения производительности система EM-SAT комплексируется с ГНСС (GPS/ГЛОНАСС). Комплексование позволяет работать на участках железных дорог без реперной сети. Для этого на самоходную тележку с электроприводом устанавливается спутниковая аппаратура. Благодаря измерениям положения пути в пространственной (геодезической) системе координат с одновременным использованием EM-SAT и ГНСС можно длинную лазерную хорду, положение которой определено в местной системе координат, расположить в системе абсолютных координат ITRF-2014 (WGS84). Это позволяет трансформировать высокоточные относительные данные, полученные с применением лазерной хорды, в координаты ITRF-2014. Каждая измеренная с помощью ГНСС координата может рассматриваться как реперная точка на длине хорды, образованной лазерным лучом.

На рисунке 1.4, в показана комплексная система, реализующая как абсолютные методы, так и относительные, например метод постановки пути в проектное положение с помощью графиков сдвигов. Сущность данной системы рихтовки заключается в том, что если передний конец троса-хорды совмещать с проектной осью пути во время рихтовки по методу сглаживания, то натурное положение оси после выправки будет совпадать с проектным.

В качестве неподвижной концевой точки могут быть использованы оптические приборы типа ПРП, лазерные построители плоскости, электронные нивелиры и т. д. Комплексный метод позволяет не только устранить заводины до 300 м, но и устанавливать путь в проектное положение. Создание оптической оси в вертикальной и горизонтальной плоскости широко применяется в настоящее время при планировочных работах, профилировании земляного полотна на бульдозерах, автогрейдерах, экскаваторах и другой строительной технике. Проблема постановки пути в проектное положение на железных дорогах ОАО «РЖД» заключается в том, что проекты создаются в относительных величинах. Наиболее распространенным в настоящее время методом постановки пути в проектное положение является измерение и сравнение текущего расстояния между осями выправляемого

и соседнего пути с проектными данным из эпоры рихтовок путем вычисления их разности и сдвижки пути на эту разность, т. е. проектную величину. Недостатки очевидны, они связаны с относительными методами измерений. Это длинные неровности в плане и в профиле, так как путь (рельсовая нить), от которого выполняются измерения, в течение времени изменяет пространственное положение и не является идеальным. Особенно влияют относительные методы получения исходной информации на проектирование. Для решения задач постановки пути в проектное положение с высоким качеством необходимо использовать координатные методы.

Сущность координатных методов заключается в сравнении текущих координат натурального положения выправленного пути с проектным пространственным положением пути. Сравнение может выполняться непрерывно или дискретно в зависимости от СУВП (аппаратно-программной реализации) выправки пути.

В странах Европы наиболее широкое применение получил координатный метод, в основе которого лежит создание искусственной проектной опорной линии в вертикальной и горизонтальной плоскостях – копировальной струны (рисунок 1.6) [115, 116].



Рисунок 1.6 – Методы постановки пути в проектное положение с использованием копировальной струны

На рисунке 1.7 показаны реперы на ОКС, по координатам которых осуществляется вынос в натуру копировальной струны с использованием электронных тахеометров, например на железных дорогах в Германии (DBAG).



Рисунок 1.7 – Реперы на опорах контактной сети германских железных дорог для выноса в натуру высотных отметок и плановых координат

На рисунке 1.8 показан способ измерения отклонения от проектного значения оси ремонтируемого пути с использованием, например энкодеров в системе управления выправкой пути.

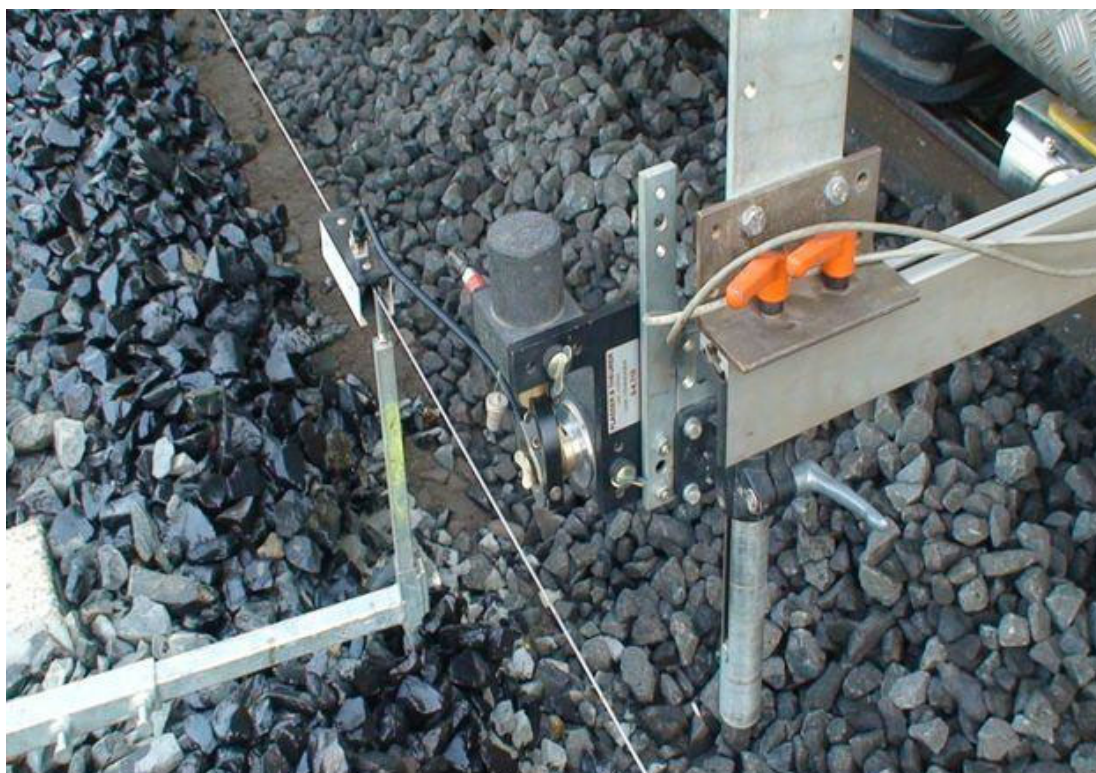


Рисунок 1.8 – Система съема информации о пространственном положении копировальной струны

Копировальная струна натягивается на держатели, которые имеют геодезическую привязку к пунктам реперной геодезической сети через определенный интервал 10–50 м. На рисунках 1.6 и 1.8 показаны копировальная струна и датчик считывания линейных смещений фактического положения оси относительно копировальной струны. Это наиболее точный в настоящее время метод постановки пути в проектное положение, но в то же время наиболее трудоемкий и затратный, он может применяться при наличии специальной реперной сети железных дорог [159].

1.3 Анализ существующих методов геодезического обеспечения при реконструкции и ремонте железнодорожных путей

Анализ результатов исследований показал, что при большом объеме теоретических материалов, включая отечественные исследования, по автоматизации геодезического обеспечения в целом, недостаточно проработаны вопросы разработки и использования САУ, в том числе для управления строительной техникой на железных дорогах. Недостаточно широко представлены и используются отечественные разработки систем автоматизированного геодезического обеспечения для железных дорог, ограничено применение или вообще не применяются САУ при выполнении трудоемких строительных процессов. При этом постановка пути в проектное положение выполняется традиционными методами с использованием разбивочных геодезических работ и «ручного управления» строительными машинами. На автомобильных дорогах в качестве автоматизированной системы широко применяются копировальные струны. Как показали результаты исследований, на железных дорогах РФ копировальные струны не используются из-за большого объема геодезических разбивочных работ и трудоемкости при подготовке к постановке пути в проектное положение в условиях ограниченного времени «окна» и регламента технологического процесса на ремонт, в то же время в Германии этот метод применяется и является эффективным.

Наиболее широко применяющимся в настоящее время методом постановки пути в проектное положение на двухпутных участках, как показал анализ

практической деятельности в ОАО «РЖД», в настоящее время является «боковое нивелирование» от соседнего пути по эпюре рихтовок. На однопутных участках применяются разбивочные геодезические работы с использованием традиционной методики выноса точки в натуру по разбивочным чертежам [107, 108].

Главным недостатком приведенных методов постановки пути в проектное положение является копирование неровностей соседнего пути, которые образовались в промежутке времени от изысканий до ремонта в связи с динамическими нагрузками, влиянием текущего ремонта, планово-предупредительных выправок на пространственное положение пути.

Автоматизация геодезических работ, например, с использованием ГНСС, электронных тахеометров, лазерного сканирования позволяет повысить производительность только геодезических работ, что не обеспечивает автоматизацию строительных процессов на каждом технологическом этапе. Для получения максимального эффекта необходимо использовать геодезические методы для автоматизации технологических процессов, включая планировочные работы, вырезку и очистку щебня, балластировку, постановку пути в проектное положение. Для этого необходимо создать единую координатную среду для всех строительных машин, разработать средства измерений для автоматизации получения исходных данных и управления строительными процессами, а также методику создания цифровых проектов на ремонт с использованием систем индикаторного типа САУ, САУ-2D, САУ-3D.

2 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ

2.1 Разработка автоматизированных измерительных средств для создания цифровых проектов

2.1.1. Разработка и исследование аппаратно-программного комплекса для определения пространственного положения и геометрических параметров рельсовой колеи

Создание и исследование средств и методов для автоматизации получения исходной информации о пространственных данных и геометрических параметрах железной дороги и элементов верхнего строения пути – один из важнейших этапов автоматизации геодезического обеспечения железных дорог. Существует несколько принципиальных решений (вариантов) создания системы для определения пространственных данных железнодорожного пути и геометрических параметров рельсовой колеи [117, 163, 168–170].

Наиболее распространенным является инерциальный метод, основанный на измерении ускорений по трем осям, ориентированным в пространстве. Метод широко применяется в комплексных системах навигации, беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), системах лазерного сканирования, системах автоматизированного управления и в системах геодезического спутникового оборудования для фильтрации и расширения функциональных возможностей спутниковых приемников. Расчет координат выполняется по формуле

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \int_{t_0}^t \int_{t_0}^t w_x d^2t + v_{x_0} (t - t_0) + x_0, \\ y = \int_{t_0}^t \int_{t_0}^t w_y d^2t + v_{y_0} (t - t_0) + y_0, \\ z = \int_{t_0}^t \int_{t_0}^t w_z d^2t + v_{z_0} (t - t_0) + z_0, \end{array} \right. \quad (2.1)$$

где w_x, w_y, w_z – ускорения точки вдоль осей X, Y, Z ; $v_{x_0}, v_{y_0}, v_{z_0}$ – начальная скорость движения носителя на момент времени t_0 соответственно по осям X, Y, Z ; x_0, y_0, z_0 – начальные значения перемещений носителя вдоль каждой оси координат на момент времени t_0 .

Создание опытного образца и его исследования показали, что инерциальные системы, соответствующие требованиям определения геометрии рельсовой колеи, дорогостоящие и требуют сложных настроек и калибровки, более дешевые не соответствуют требованиям к точности определения геометрии рельсовой колеи для мобильных портативных средств измерения. Путеизмерительные системы (ПС) для создания цифровых моделей пути и цифровых проектов, определения пространственных данных и геометрии рельсовой колеи, например TachyRail фирмы «GEO-METRIKAG» (Германия); Swisstrolleys фирмы «Terra Vermessungenag» (Швейцария); GRPSystemFX фирмы «AmbergTechnologies» (Швейцария) широко применяются по всему миру. Ограниченное применение данных измерительных средств в России обусловлено ограниченным применением САУ, несоответствием отчетных форматов ПС стандартам и методикам расчетов геометрии рельсовой колеи в ОАО «РЖД». На рисунке 2.1 показана путеизмерительная тележка, включающая тахеометр со следящей автоматизированной системой для выполнения проектно-изыскательских работ и оцифровки пути GRPS 3000 фирмы «AmbergTechnologies». Данная путеизмерительная система для выполнения натурной съемки требует создания через 100–300 м опорной геодезической сети. При работе на всех точках опорной сети выполняются центрирование и ориентирование тахеометра, при перемещении ПС на 100–300 м необходимо выполнить перестановку оборудования (тахеометра) на новую опорную точку, что является трудоемким процессом, особенно при наличии большого количества кривых.

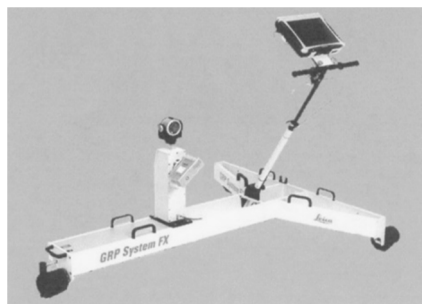


Рисунок 2.1 – Путеизмерительная тележка GRP3000

В результате исследований автором разработаны теоретические основы, конструкция и способ определения геометрии рельсовой колеи на базе гироскопической техники [74] (приложение Б). В основе способа лежит интегрирование приращения курсового угла и угла наклона подвижного объекта по расстоянию, что обеспечивает определение текущих координат подвижного объекта по одной из рельсовых нитей по формуле [3, 9, 32, 55, 131]

$$\begin{cases} X_{i(\text{изм})} = X_0 + \sum_1^n \cos\alpha \cdot l, \\ Y_{i(\text{изм})} = Y_0 + \sum_1^n \sin\alpha \cdot l, \\ H_{i(\text{изм})} = H_0 + \sum_1^n \sin\varphi \cdot l, \end{cases} \quad (2.2)$$

где X_0, Y_0, H_0 – начальные (исходные) координаты; α – курсовой угол; φ – продольный уклон; l – шаг измерений; 1 – номер точки.

Разработка выполнена на базе ранее проведенных исследований топопривязчика с гироскопической системой позиционирования, дорожных лабораторий и ГНСС [125, 127, 128]. Принципиальная схема определения координат в предлагаемом способе (гирополукомпаса или схема счисления пути) приведена на рисунке 2.2.

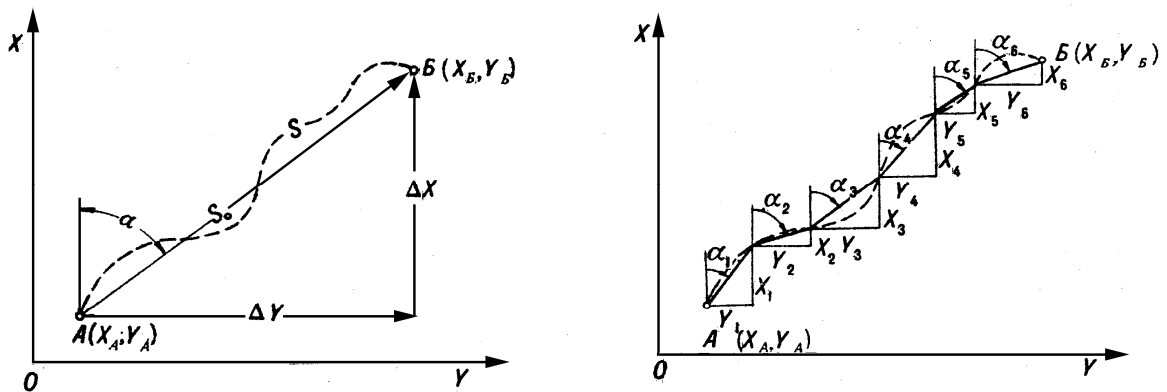


Рисунок 2.2 – Принцип определения координат: а) А – исходная; Б – определяемая точка; б) $X_1, Y_1; X_2, Y_2 \dots; X_6, Y_6$ – приращения координат

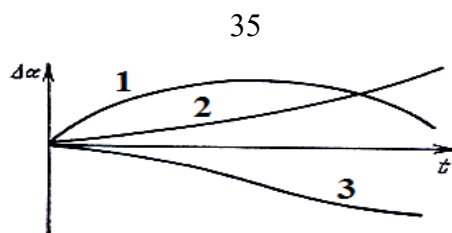
Координаты второй рельсовой нити $X'_{i(\text{ИЗМ})}, Y'_{i(\text{ИЗМ})}, H'_{i(\text{ИЗМ})}$ определяются по координатам 1-й рельсовой нити, курсовому углу, поперечному наклону (превышению между рельсовыми нитями) и ширине колеи в соответствии с формулами [74]

$$\begin{cases} X'_{i(\text{ИЗМ})} = X_{i(\text{ИЗМ})} + \sum_1^n \cos(\alpha + 90) \cdot l_{\text{Ш}}, \\ Y'_{i(\text{ИЗМ})} = Y_{i(\text{ИЗМ})} + \sum_1^n \sin(\alpha + 90) \cdot l_{\text{Ш}}, \\ H'_{i(\text{ИЗМ})} = H_{i(\text{ИЗМ})} + \sum_1^n \sin \gamma \cdot l_{\text{Ш}}, \end{cases} \quad (2.3)$$

где $X_{i(\text{ИЗМ})}, Y_{i(\text{ИЗМ})}, H_{i(\text{ИЗМ})}$ – текущие координаты первой рельсовой нити;
 $l_{\text{Ш}}$ – ширина колеи; 1 – номер точки.

Точность определения координат в данном способе зависит от «ухода» оси гироскопа значительно меньше по сравнению с инерциальными методами с двойным интегрированием (см. формулу 1), при этом уход оси гироскопа, так же как и для инерциальных систем, является одним из основных факторов, влияющих на точность определения координат. Для определения геометрии рельсовой колеи уход оси гироскопа – это один из важных факторов, который необходимо учитывать и контролировать, особенно при изменении скорости ухода [146, 160, 164].

На рисунке 2.3 показаны графики ухода оси гироскопа, из которых видно, что уход оси гироскопа, полученный из нескольких циклов измерений, значительно изменяется с течением времени, при этом на коротких временных интервалах ($t_i = 5$ минут), как показывают исследования (для оптоволоконных гироскопов), изменения являются минимальными, не влияющими на точность определения геометрических параметров, для других типов гироскопов интервалы отличаются, например для лазерных гироскопов интервалы t_i могут составлять 0,5 часа, при этом стоимость таких гироскопов в 12–15 раз выше.



1,2,3 – график ухода оси гироскопа из трех циклов измерений

Рисунок 2.3 – График ухода оси гироскопа

Уход оси гироскопа определяется по формуле

$$\Delta\alpha_{(t)} = Et, \quad (2.4)$$

где E – скорость ухода оси гироскопа; t – время.

Скорость ухода оси гироскопа ε определяется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{v \sin A}{R} \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.5)$$

где v – скорость движения АПК «Профиль»; A – направление движения; φ – текущее значение широты; R – радиус Земли.

Наибольшее влияние, учитывая относительные измерения на хорде 20–100 м, оказывает изменение скорости ухода оси гироскопа. Изменения скорости ухода на коротких отрезках пути зависят от изменения направления движения (см. формулу (2.5) и скорости движения подвижного объекта [137]).

Зная допустимую скорость ухода E оси гироскопа, определяется интервал времени между калибровками гироскопов для обеспечения расчетной точности определения геометрических параметров. Точность измерения координат гироскопическими системами можно повысить за счет уравнивания [146]. Погрешность определения координат, обусловленная уходом оси гироскопа, рассчитывается по формуле

$$m_{s(i)} = \frac{\Delta\alpha}{2} \cdot S_i, \quad (2.6)$$

где $m_{s(i)}$ – погрешность определения координат, обусловленная уходом оси гироскопа; S_i – отрезок пути при равномерном движении.

Из приведенных графиков (см. рисунок 2.3) видно, что скорость ухода изменяется, в разных циклах измерения величина и амплитуда ухода также значительно отличаются, учесть такие изменения можно путем комплексирования с другими средствами измерения. Для повышения точности определения координат в предлагаемом техническом решении разработана система комплексирования гиросистемы (ГС) со спутниковыми приемниками позиционирования ГНСС. Сущность предлагаемых технических решений заключается в фильтрации низкочастотных (ГС) и высокочастотных (приемник ГНСС) составляющих погрешности. На рисунке 2.4 показана структурная схема фильтрации. Погрешность определения координат спутниковым приемником складывается из двух составляющих, статической и динамической, при этом каждая из составляющих погрешности зависит от десятков различных внешних и внутренних факторов, характерных для ГНСС, например связанных с геометрическим фактором или с качеством дифференциальных поправок

$$\Delta p_{(t)} = d + m \sin(nt). \quad (2.7)$$

Погрешность измерения координат гироскопической системой, построенной по схеме счисления пути, зависит в основном от ухода оси гироскопа, который определяется по формуле (2.5) и зависит от внешних факторов, например траектории движения, и внутренних факторов – например (для оптоволоконных гироскопов) от изменения температуры.

Фильтрация выполняется с учетом составляющих погрешностей измерительных средств, приведенных в формулах (2.5) и (2.7) в соответствии с формулой

$$y = (w_1 + w_2)x + w_1 \Delta \alpha + w_2 \Delta p, \quad (2.8)$$

где w_1 и w_2 – функции фильтров; x – полезный сигнал; y – значения на выходе фильтра; $\Delta p_{(t)}$ – погрешность определения координат; d – систематическая составляющая погрешности; $m \sin(nt)$ – высокочастотная динамическая составляющая погрешности; m – амплитуда; n – частота колебаний.

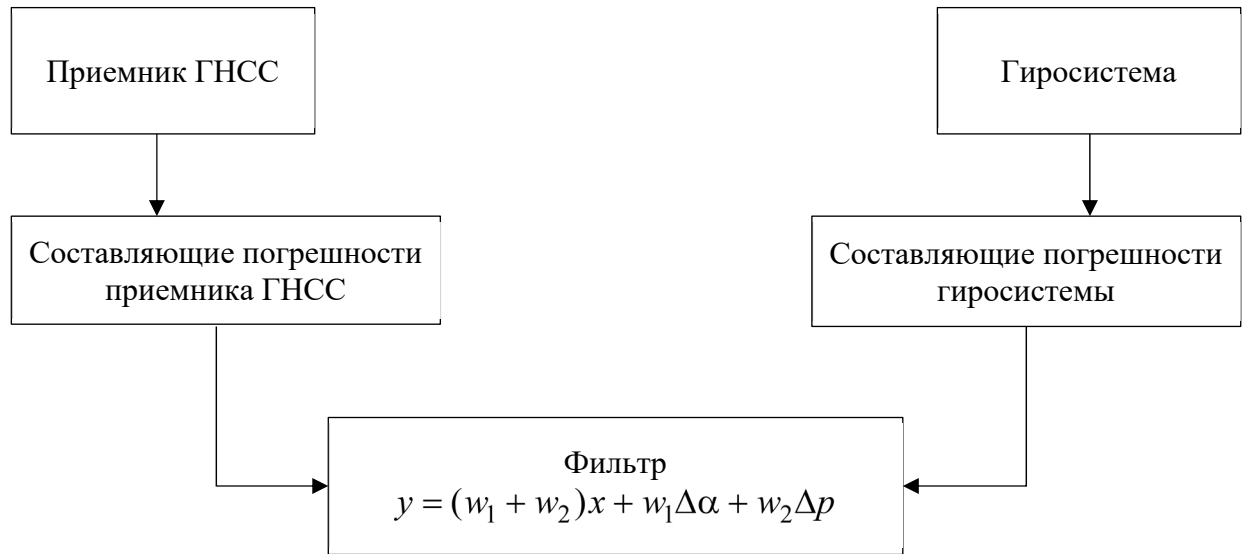


Рисунок 2.4 – Структурная схема фильтрации
в комплексированной системе определения координат

Для сглаживания данных использован сглаживающий фильтр Хэппинга скользящего среднего по трем точкам ряда, при этом интервал между i точками определяется с учетом специфики железных дорог (кривизна пути в плане и профиле)

$$\bar{X}_i = (0,25_{X_{i-1}} + 0,5_{X_i} + 0,25_{X_{i+1}}). \quad (2.9)$$

С учетом практической реализации использовался фильтр с общим множителем

$$\bar{X}_i = \frac{1}{4}(X_{i-1} + 2X_i + X_{i+1}), \quad (2.10)$$

где i – порядковый номер; \bar{X}_i – значение скользящего среднего для порядкового номера i ; X_i – фактическое значение в интервале сглаживания.

В результате фильтрации и сглаживания погрешность уменьшается в 8 раз, полностью исключаются грубые погрешности, а взаимное положение смежных точек в треке обеспечивает определение геометрических параметров рельсовой колеи с приемлемой (нормативной) точностью на хордах, ограниченных длиной до 20 м и более. Таким образом, в основе автоматизации геодезического обеспечения лежит комплексирование гироскопической системы и ГНСС, при этом инерциальные

системы заменены на более дешевые гироскопические системы собственной разработки, созданные на базе оптоволоконных датчиков вращения (ВГ-900) путем реализации схемы счисления пути. Для обработки данных применяются методы фильтрации и сглаживания.

Общий вид автоматизированной системы для создания ЦМП показан на рисунке 2.5.



Рисунок 2.5 – АПК «Профиль»

Принцип определения координат [151, 153, 158, 161, 168] основан на определении пространственного положения рельсовой колеи с использованием гироскопической системы. Устройство АПК «Профиль» включает спутниковый приемник ГНСС, гироскопическую систему, два контроллера, один из которых управляет работой гироскопической системой, второй – спутниковым приемником ГНСС. Структурная схема АПК «Профиль» показана на рисунке 2.6.

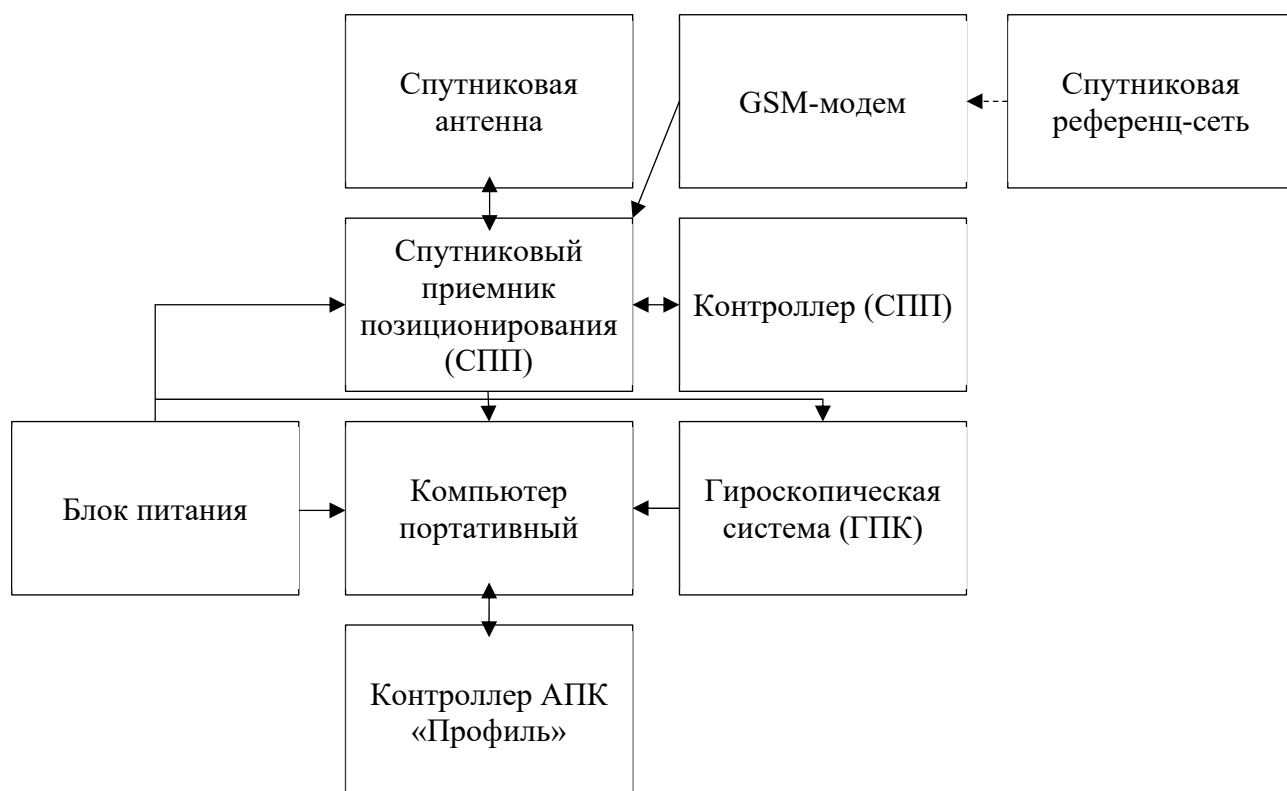


Рисунок 2.6 – Структурная схема АПК «Профиль»

В таблице 2.1 приведены технические характеристики АПК «Профиль».

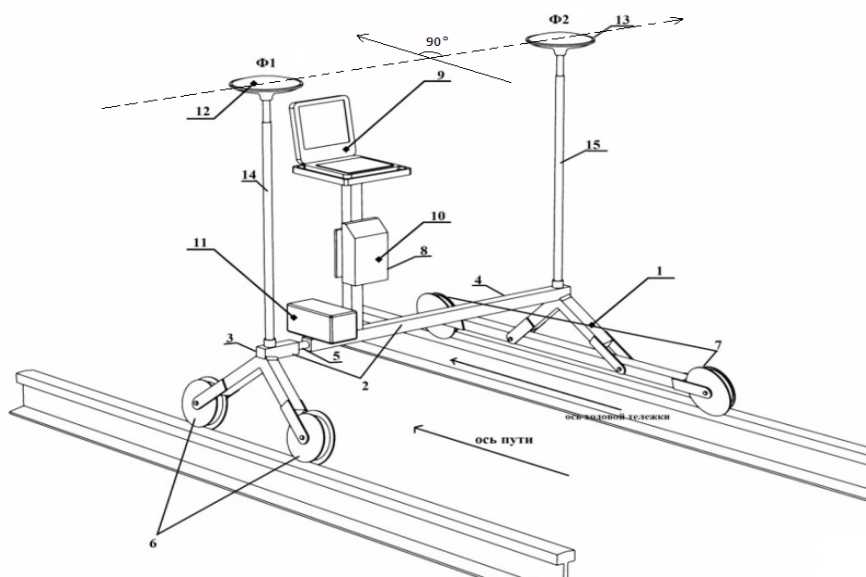
Таблица 2.1 – Технические характеристики АПК «Профиль»

Наименование параметра	Параметры	
	диапазон измерения	погрешность измерения
Координаты	25 км D*	10 мм+1 ммD
Расстояние	25 км D*	±0,01 %
Высота	25 км D*	20 мм+1 ммD
Ширина колеи	1 505–1 560 мм	± 1 мм
Уровень	0–300 мм	± 1 мм
Рихтовка	± 160 мм	± 1 мм
Просадка	± 50 мм	± 1 мм

В таблице 2.1 D* – расстояние до базовой станции.

К недостаткам АПК «Профиль» можно отнести получение рихтовки и про-садки в постобработке, что не для всех видов геодезического обеспечения прием-лемо, например при управлении процессом выправки пути по данным геометрии рельсовой колеи, получаемым в реальном времени.

Для обеспечения специфики (определение пространственных данных и гео-метрических параметров в САУ в реальном времени) при реконструкции и капи-тальном ремонте железных дорог разработана система, в основе которой лежат только пространственные данные, полученные приемниками ГНСС специальной конструкции – АПК«Профиль-М» (рисунок 2.7) [168, 169].



1 – ходовая тележка; 2 – рама; 3 – подвижная направляющая; 4 – неподвижная направляющая рамы; 5 – возвратно-пружинный механизм, колеса специальной конструкции на подвижной направляющей; 7 – колеса специальной конструкции на неподвижной части рамы; 8 – штанга; 9 – полевой компьютер; 10 – спутниковый приемник; 11 – блок питания; 12 – спутниковая антенна 1; 13 – спутниковая антенна 2; 14 – штанга спутниковой антенны 1; 15 – штанга спутниковой антенны 2.

Рисунок 2.7 – Кинематическая схема Аппаратно-программного комплекса «Профиль-М»

Основные блоки устройства АПК «Профиль-М» включают ходовую тележку 1 специальной конструкции, спутниковый приемник ГНСС 10 с двумя антеннами 12 и 13, позволяющими синхронно измерять координаты и приращения координат между антеннами с высокой точностью, компьютер 9, блок питания и устройство стабилизации 11. Сущность работы АПК «Профиль-М» заключается в измерении координат по двум антеннам и приращений координат между ними с высокой точностью, в 13–15 раз выше по отношению к пространственным координатам относительно спутниковой референц-сети, что обеспечивает высокую точность взаимного положения фазовых центров антенн и определения геометрии рельсовой колеи. Для определения геометрии рельсовой колеи кинематическая схема ходовой тележки обеспечивает при движении параллельность вектора движения тележки и оси железнодорожного пути, а ось, проходящая через фазовые центры антенн, должна быть перпендикулярна оси железнодорожного пути. При нулевых угловых рассогласованиях осей от заданных угловых величин обеспечивается определение геометрических параметров рельсовой колеи в соответствии с нормативными требованиями.

Методика и программа испытаний для исследований и метрологической аттестации АПК «Профиль» разработаны с участием СНИИМ (г. Новосибирск) [42, 43, 136, 174]. Всего в процессе метрологической аттестации выполнено измерений для оценки точности и определения других характеристик на расстоянии около 50 км на эталонном участке пути Новосибирск – Пашино. Для настроек и калибровки АПК «Профиль-М» разработан стенд-имитатор рельсовой колеи (СИРК) (Госреестр средств измерения № 29465-05). Технические характеристики обеспечивают нормативные требования ОАО «РЖД» по геометрическим параметрам, а также пространственными данными, жестко связанными с геометрическими параметрами, что принципиально изменило функциональные возможности по определению длинных неровностей на длинах хорд более 20 м. Методически это обеспечивается за счет изменения длины измерительной базы, которая выбирается с заданным шагом по текущим координатам оси пути. Традиционные методы (негеодезические)

на железных дорогах таких функциональных возможностей не имеют, так как ограничены длиной вагона. Принципиально важной особенностью методов геодезического обеспечения и автоматизации реконструкции (капитального ремонта) и эксплуатации железных дорог являются значительные отличия в требованиях к точности определения пространственных данных и геометрических параметров. Так, например геометрические параметры рельсовой колеи в соответствии с нормативными требованиями (инструкция ЦП 515) необходимо определять с точностью 1–2 мм, а пространственные данные – 30–50 мм. Высокие требования к определению с шагом 0,3–1 м геометрических параметров (с точностью 1–2 мм) ограничивали применение геодезических методов, поэтому использовались и до настоящего времени в основном используются относительные хордовые методы измерений на базе длины вагона по трем точкам путем измерения положения средней точки относительно двух смежных датчиками линейных перемещений [28].

2.1.2 Разработка методики применения лазерных сканеров для создания цифровых моделей пути

Лазерные сканеры на железных дорогах востребованы и в настоящее время широко применяются. Современные российские многофункциональные путеобследовательские и диагностические мобильные лаборатории типа «Интеграл», «ЭРА» и другие оснащены мобильными системами лазерного сканирования [93, 172, 173]. Основная задача путеобследовательских и диагностических лабораторий – мониторинг инфраструктуры для обеспечения безопасности движения поездов. В соответствии с регламентами диагностические и путеобследовательские комплексы используются на перегонах, обеспечивая диагностику в объеме до 200 км/день и более. Для обеспечения их работы не используется опорная геодезическая сеть (ОГС), так как по результатам лазерного сканирования оцениваются только относительные данные (взаимное положение объектов инфраструктуры), например габариты приближения строений.

На железной дороге выполняются десятки различных специфических и уникальных инженерно-геодезических задач, при решении которых неэффективно применение мобильных диагностических лабораторий для выполнения исследований на локальных (менее 15 км) участках, а применение инструментальных геодезических методов неэффективно из-за большой трудоемкости и низкой производительности, например при создании ЦМП с шагом съемки 1 м. К таким задачам относятся:

- создание цифровых моделей пути на участок ремонта;
- актуализация данных проекта для реконструкции железнодорожного пути;
- исследование оползней и опасных участков из-за схода снежных лавин;
- выявление динамики опасных просадок (карстовые породы, деструкции, связанные с обводнением) на локальных участках;
- контроль состояния земляного полотна железной дороги в заполярных районах для обеспечения контроля тела насыпи и верхнего строения пути на вечномерзлых грунтах.

При этом наибольший объем инженерно-геодезических работ выполняется для создания проектов на реконструкцию (ремонт) локальных (5–15 км) участков железных дорог ОАО «РЖД», включая создание опорной геодезической сети, разбивочные работы, топографическую съемку. Аналогичные работы выполняют предприятия промышленного железнодорожного транспорта (ППЖТ), поэтому применение портативных мобильных лазерных сканеров на железных дорогах весьма востребовано [26].

Портативные мобильные лазерные сканеры (МЛС) обеспечивают проектировщиков не только относительными данными, как например путеизмерительные системы [28], но и пространственными данными, включая цифровую модель рельефа (ЦМР), цифровую модель местности (ЦММ) и цифровые модели пути (ЦМП) [94]. МЛС обеспечивают построение продольного и поперечного профиля, расчет параметров кривых, создание топографических планов, цифровых проектов для САУ-3D [126, 133, 54].

Устройство МЛС «Сканпуть» для создания цифровых моделей пути и цифровых проектов включает 2D-лазерные головки SICK (2 шт.), ходовую железнодорожную тележку, блок пространственной ориентации (БПО), спутниковый приемник ГНСС, коммутационный блок (КБ), одометр, блок питания (БП). Внешний вид мобильного портативного лазерного сканера «Сканпуть» на базе путеизмерительной тележки показан на рисунке 2.8 [126]. МЛС «Сканпуть» может применяться как на оборудованных, так и не оборудованных автоблокировкой участках железной дороги с укладкой пути железнодорожными рельсами типа ГОСТ Р 51045 и ГОСТ Р 51685. МЛС «Сканпуть» запатентован [59] и внесен в Реестр средств измерения РФ (Свидетельство об утверждении типа средств измерения RU.E.27.007.A345843, регистрационный номер 349350-12, ВМНИ 3186692. 003 МП).

Принцип работы МЛС «Сканпуть» (далее – Комплекс) основан на лазерном сканировании и привязке всей получаемой информации при его движении в системе координат проекта на участок ремонта, а также эксплуатационной (линейной) системе координат. МЛС «Сканпуть» позволяет получать массив лазерных отражений от поверхностей объектов съемки (облако точек), пространственные данные (координаты), текущее расстояние, ширину колеи (шаблон), текущий курсовой угол, поперечный и продольный уклон, по которым вычисляются геометрические параметры пути (рихтовка, просадка, уровень, шаблон).

Мобильный лазерный сканер на базе путеизмерительной тележки должен соответствовать определенным критериям, обеспечивающим возможность его эксплуатации на железных дорогах при проведении инженерно-геодезических изысканий. Критерии создания МЛС включают соответствие геометрических параметров расчетным значениям, минимально возможную массу, минимальное энергопотребление, возможность работы при отрицательных температурах, высокую надежность конструкции, минимизацию влияния «человеческого фактора» на качество результатов измерения, возможность транспортировки в минимально ограниченных объемах (размерах). Задача решается за счет разработки технических требований к конструкции устройства, учета особенностей эксплуатации при

разработке методики применения и управления работой МЛС, разработки алгоритмов и программного обеспечения, соответствующего нормативным требованиям ОАО «РЖД».



Рисунок 2.8 – Внешний вид мобильного лазерного сканера «Сканпуть»

Технические требования к устройству, описание устройства и основных блоков МЛС «Сканпуть».

Ходовая часть Комплекса состоит из следующих узлов:

- разборная рама, изготовленная из алюминиевого сплава прямоугольного сечения;
- усилители жесткости (тяги) конструкции в виде разборных на две части трубок;
- колеса из инструментальной стали с кадмиевым покрытием.

На раме установлена съемная платформа, предназначенная для крепления блока пространственной ориентации и аккумуляторов. Еще один коммутационный блок крепится к раме слева (по ходу движения) от установочной платформы. Также предусмотрены съемные крепления для установки вехи, на которой размещается

антенна спутникового приемника ГНСС. Платформа для установки ноутбука крепится на отдельной вехе. Площадки для расположения лазерных сканеров крепятся к раме с помощью усилителей жесткости. Колеса крепятся к вилкам, которые, в свою очередь закрепляются на штанге рамы. Штанга рамы с одной стороны неподвижна, а с другой – подпружинена (с учетом веса конструкции с аккумуляторами) для обеспечения бокового прижатия и контакта колес с рельсами. Колесные базы вилок не одинаковы. Их длина составляет 240 и 1 200 мм. Измерительная база составляет 1 200 мм. Для перемещения тележки в рабочем положении служит съемная ручка, которая вставляется в специальный шток, расположенный в середине рамы. Ручка вращается относительно вертикали на 360°.

Датчик изменения ширины колеи расположен внутри рамы. Представляет собой потенциометр с редуктором преобразования линейного перемещения во вращательное, механически связанный с подвижной штангой. Выходным сигналом датчика является напряжение, амплитуда которого пропорциональна линейному смещению мерных колес (изменению расстояния между точками опоры левой и правой парой колес) относительно нулевой точки отсчета.

Датчик пройденного пути (одометр) установлен на вилке Комплекса МЛС. Состоит из мерного колеса, закрепленного на его оси прозрачного диска с темными метками, двух открытых оптических пар и выходных формирователей. При вращении колеса на двух выходах датчика вырабатываются прямоугольные импульсы, сдвинутые относительно друг друга на четверть периода следования, которые передаются в контроллер для определения пройденного пути.

Блок пространственной ориентации закрепляется на платформе ходовой тележки и включает в себя: два волоконных датчика вращения, ось чувствительности одного из которых расположена в азимутальной плоскости, а второго – совпадает с продольной осью Комплекса МЛС, акселерометр ДЛСУ, ось чувствительности которого расположена под углом 90° к вектору движения. Принцип работы БПО основан на измерениях приращений угловой ориентации осей чувствительности относительно исходного положения.

Коммутационный блок крепится к раме слева (по ходу движения) от блока пространственной ориентации. Содержит тумблер общего питания и обеспечивает электрическую и информационную коммутацию лазерных сканеров, блока пространственной ориентации, спутниковых приемников ГНСС и управляющей системы (ноутбук).

Ноутбук рекомендуется применять в специальном защищенном (промышленном) IP67 исполнении, так как возможны значительные климатические/физические воздействия. Ноутбук располагается на отдельной платформе, которая крепится на специальную веху. Ноутбук предназначен для управления работой Комплекса МЛС, накопления и отображения измеряемых параметров рельсовой колеи и проведения регламентных работ (установка начальных данных, калибровка, настройка).

Спутниковый приемник ГНСС. В состав входит два приемника, один из которых устанавливается на базовой станции, а другой – на путеизмерительной ходовой тележке Комплекса МЛС. Базовая станция (при отсутствии спутниковой референц-сети) устанавливается на репере, пункте государственной геодезической сети или любом другом пункте, который при необходимости пересчета координат в государственную или условную систему координат может быть однозначно определен.

Коммутационный блок обеспечивает функционирование Комплекса МЛС в соответствии с аппаратно-программными и конструкторскими решениями, обеспечивает синхронизацию измерений различных датчиков и систем (рисунок 2.9).

Блок пространственной ориентации и коммутационный блок разработаны и изготовлены для условий Заполярья с использованием термостатов.

Конструктивные особенности МЛС «Сканпуть» включают разборную модульного типа раму, колеса с двумя опорными плоскостями, обеспечивающими измерение ширины колеи и возвышение рельса в соответствии со стандартами ЦП 515 [28], блок БПО, созданный на базе отечественных оптоволоконных датчиков вращения ВГ900, КБ позволяющий синхронизировать работу 11 датчиков (см. рисунок 2.9). Основным условием для измерений МЛС «Сканпуть» является обеспечение геометрических

параметров, например взаимного положения продольной оси ходовой тележки и оси железнодорожного пути, расчетным значениям. При установке тележки на путь под действием пружины подвижного штока все четыре колеса прижимаются к боковым граням головки рельсов, что обеспечивает нулевое угловое рассогласование оси пути и продольной оси тележки, которые также должны совпадать с вектором движения ходовой тележки при движении. В процессе движения тележки по пути контроллер опрашивает синхронно датчики и передает информацию в ноутбук.



Рисунок 2.9 – Коммутационный блок (КБ)

На рисунке 2.10 приведена структурная схема программного обеспечения работы Комплекса и обработки получаемых данных.

Программы управления и визуализации ProfilePC и ScannerDispatcher обеспечивают связь между ноутбуком и контроллером, считывают текущую информацию, визуализируют процесс измерений, сохраняют полученные данные.

Программа обработки данных WAY, установленная на стационарный либо портативный персональный компьютер, предназначена для обработки полученных Комплексом ЛС данных в соответствии с требованиями инструкции ЦП 515 [28]. Программа позволяет предоставить полученную информацию в графическом и табличных видах, распечатать результаты на принтере или сохранить для дальнейшей обработки.

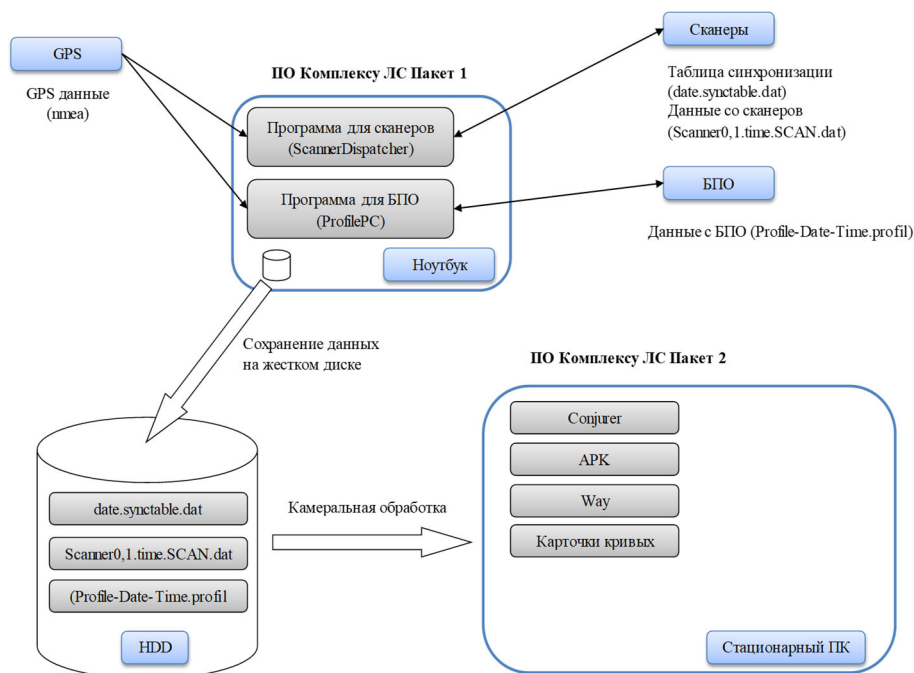


Рисунок 2.10 – Структура программного обеспечения Комплекса

Программа «Паспорт кривой» (Curvis), установленная на стационарный либо портативный персональный компьютер, предназначена для расчета и визуализации характеристик кривых.

Программа АРК предназначена для обработки данных, полученных в ходе работы Комплекса ЛС. Программа обеспечивает преобразование координат МЛС «Сканпуть» ITRF-2014 (WGS-84) в систему координат проекта на ремонт железнодорожного пути в МСК, получение ЦМП в МСК, управляет работой программы построения облаков точек при создании ЦМП.

Программный комплекс *Conjurer* предназначен для построения объектов из облака точек по сканерным и пространственным данным спутникового приемника, данных БПО, запускается автоматически посредством программы АРК.

Методика работы Комплекса показана в виде структурной схемы, включая подготовку к работе (рисунок 2.11), калибровки и непосредственно сканирование. Структура реализована в Комплексе в виде программного модуля. Особенностью методики измерений Комплексом, включая управление работой, является программная реализация модуля управления, в основе которого лежит блок-схема (см. рисунок 2.11),

позволяющая свести к минимуму «человеческий фактор» при подготовке и выполнении работ по сканированию инфраструктуры железных дорог.

Разработка программного модуля обусловлена исключением из измерений «человеческого фактора». Преимуществом Комплекса является высокий уровень управления, когда на каждом этапе контролируется выполнение отдельных функций, с указанием вариантов выполнения этапов, а также последовательность действий. Такой программный модуль управления полезен при наличии большого объема манипуляций при подготовке к работе, выполнении работы в сложных условиях и повышенных требованиях к безопасности на железных дорогах.

МЛС «Сканпуть» эксплуатируется на железной дороге Лабытнанги – Бованенково при выполнении различных задач, включая проектно-изыскательские работы, в течение более десяти лет. Опыт показал, что данные лазерного сканирования выявляют изменения и деструкции по изменению состояния земляного полотна по пространственным данным не только под рельсошпальной решеткой, но и на самых ранних стадиях в 10–20 м от оси пути по величине локальных просадок насыпи, что важно в комплексе с сейсмическими исследованиями [95, 123] для принятия своевременных решений, например по ограничению влияния внешних факторов на вечномёрзлые грунты. На рисунке 2.12 показан фрагмент результата контроля земляного полотна и верхнего строения пути на участке железной дороги Лабытнанги – Бованенково по данным лазерного сканирования Комплексом [139].

Динамика изменения состояния земляного полотна оценивается по высотным отметкам. В режиме мониторинга контролируется изменение высотных отметок в заданных сечениях земляного полотна привязанных в линейной системе координат железнодорожного пути.

Одним из наиболее важных преимуществ МЛС «Сканпуть» является возможность выполнять высокоточные разбивочные работы, например за счет комплексного измерения расстояния по данным одометра и ГНСС.

В таблице 2.2 приведены результаты разбивочных работ для закрепления пикетов МЛС «Сканпуть» при подготовке к мониторингу состояния земляного

полотна и верхнего строения пути в проектных сечениях. Эталонный участок создан с использованием электронного тахеометра TS 515.

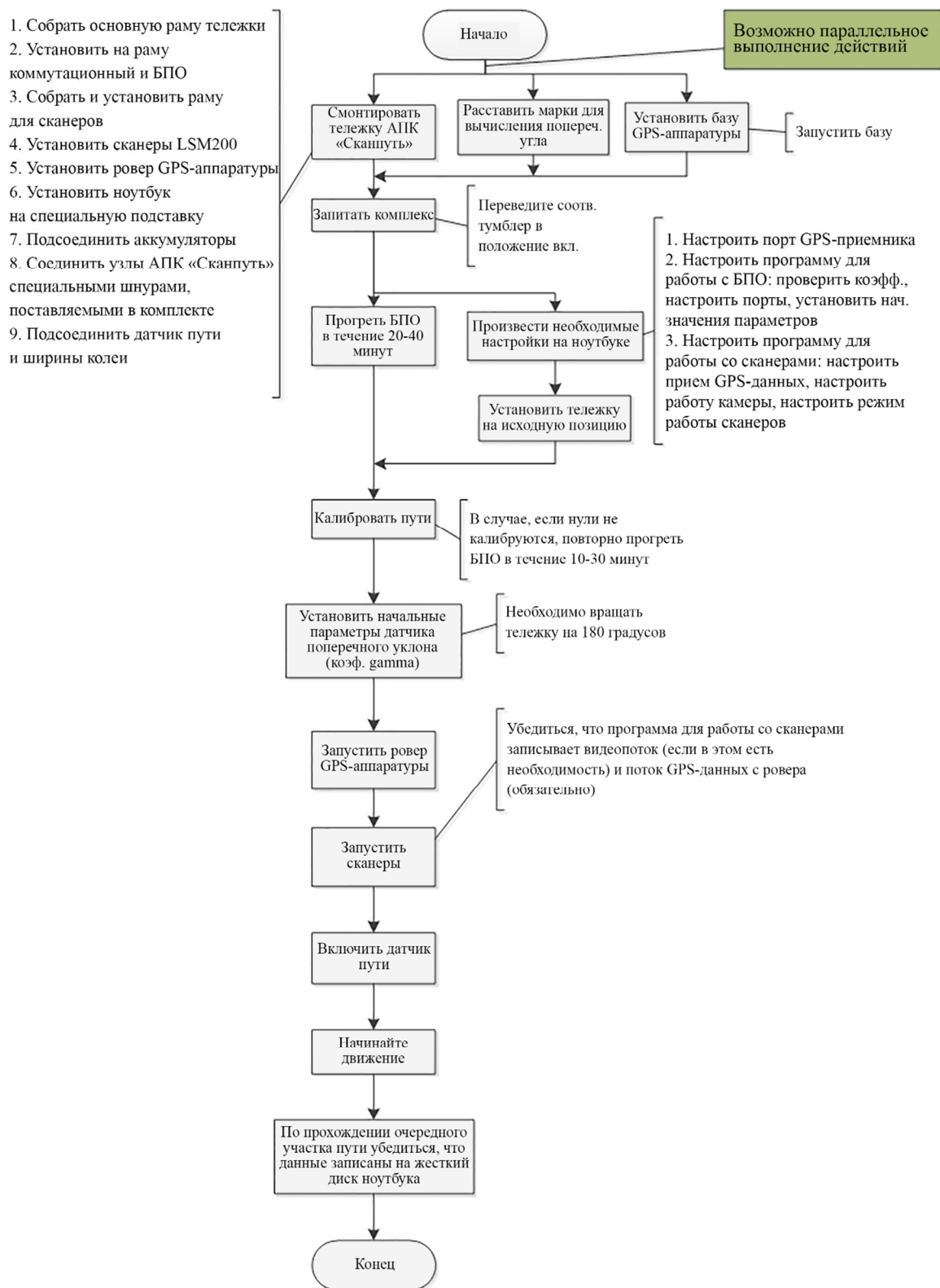


Рисунок 2.11 – Блок-схема работы с Комплексом ЛС

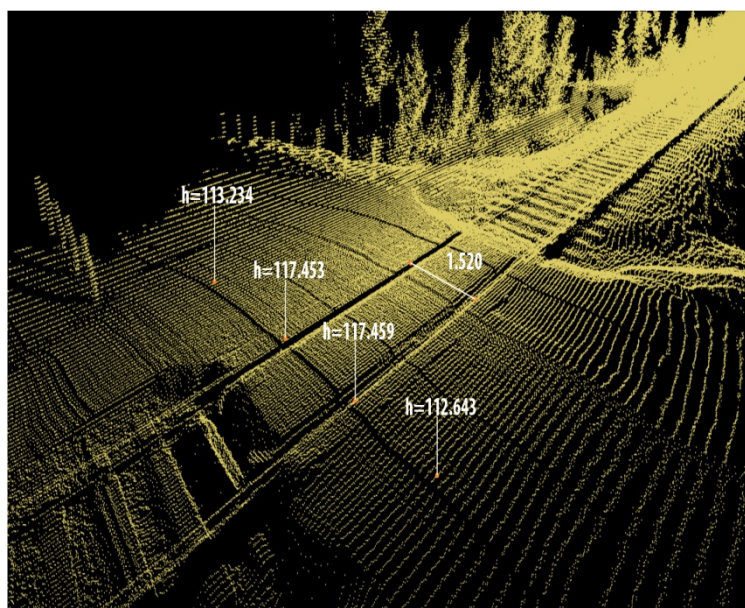


Рисунок 2.12 – Фрагмент результатов лазерного сканирования МЛС «Сканпуть»

Таблица 2.2 – Результаты разбивочных работ для закрепления пикетов

Расстояние, м	Прямой ход, м	Отклонение, см	Обратный ход, м	Отклонение, см
100	100,00	0	2200	0
200	200,02	0,02	2 099,98	-0,02
300	299,99	-0,01	2 000,01	0,01
400	400,01	0,01	1 899,99	-0,01
500	500,00	0	1 800,01	0,01
600	600,03	0,03	1 700,00	0
700	699,99	-0,01	1 600,02	0,02
800	800,02	0,02	1 500,03	0,03
900	900,00	0	1 400,01	0,01
1 000	999,99	-0,01	1 299,98	-0,02
1 100	1 099,98	-0,02	1 200,01	0,01
1 200	1 200,01	0,01	1 099,98	-0,02
1 300	1 300,00	0	999,97	-0,03
1 400	1 400,02	0,02	899,99	-0,01
1 500	1 499,99	-0,01	800,00	0
1 600	1 599,99	-0,01	699,99	-0,01
1 700	1 700,02	0,02	600	0
1 800	1 800,00	0	500,01	0,01
1 900	1 899,99	-0,01	400	0
2 000	1 999,98	-0,02	299,99	-0,01
2 100	2 100,01	0,01	200,02	0,02
2 200	2 200,02	0,02	100,01	0,01

Из анализа таблицы видно, что относительная погрешность не превышает 1 : 10 000, при этом высокая точность измерения расстояния обеспечивается на криволинейных поверхностях (объектах), к которым относятся рельсовые нити с радиусами кривых до 250 м [126, 145, 154]. Высокая точность измерения расстояния необходима для оценки динамики изменения параметров земляного полотна и верхнего строения пути на локальных участках железных дорог, а также подготовки задания дорожному мастеру для проведения профилактических или аварийно-восстановительных работ по устранению дефекта, деструкции, просадок грунта и т. д. с указанием точной линейной координаты места, так как оценить «на глаз» изменения просадки или просадку на начальном этапе формирования нельзя, при этом необходима количественная оценка.

Разработка МЛС «Сканпуть» для геодезического обеспечения железных дорог на основании десятилетнего опыта эксплуатации данной системы при проведении проектно-изыскательских работ в условиях Заполярья показывает эффективность технических решений, лежащих в основе конструкции устройства и аппаратно-программного комплекса, а также методики применения и управления работой МЛС «Сканпуть». Возможность выявления просадок и деструкций при мониторинге и выполнении проектно-изыскательских работ при создании цифровых проектов обеспечивает по сравнению с путеобследовательскими станциями типа «Эра» и «Интеграл» возможность расширить функциональные возможности, а по сравнению с традиционными методами – повысить производительность работ. Функции МЛС, обеспечивающие разбивочные работы, позволяют исключить трудоемкие традиционные инструментальные разбивочные работы, кроме того, обеспечивается единое координатное пространство при использовании линейной и пространственных систем координат.

2.1.3 Разработка методики для автоматизированного распознавания рельсовых нитей по данным лазерного сканирования МЛС «Сканпуть»

Мобильная лазерная система «Сканпуть», разработанная по техническим требованиям ИЦ «Ямал» для контроля технического состояния железной дороги Лабитнанги – Бованенково [126], более 10 лет успешно применяется для выполнения проектно-изыскательских работ в условиях Заполярья.

При применении мобильного лазерного сканирования для геодезической съемки инфраструктуры железных дорог проблемной задачей является автоматизация обработки данных лазерного сканирования с целью распознавания образов. Некоторые этапы автоматизации обработки данных лазерного сканирования нашли решение в крупных компаниях, например, таких как Bentley. Однако существующие программные комплексы имеют большую стоимость, требуют адаптации, включая развитие специальных реперных сетей [113, 149, 159], и поэтому не нашли широкого применения для решения конкретных задач железнодорожной отрасли Российской Федерации.

В МЛС «Сканпуть» для обработки данных лазерного сканирования с учетом того, что все объекты инфраструктуры железных дорог привязаны к оси железнодорожного пути, разработан алгоритм определения геопространственного положения оси железнодорожного пути. Алгоритм включает нахождение в облаке точек в сечении балластной призмы характерных точек с наибольшими высотными отметками (рисунок 2.13). Совокупность данных точек является основой формирования пространственного положения рельсовых нитей железнодорожного пути.

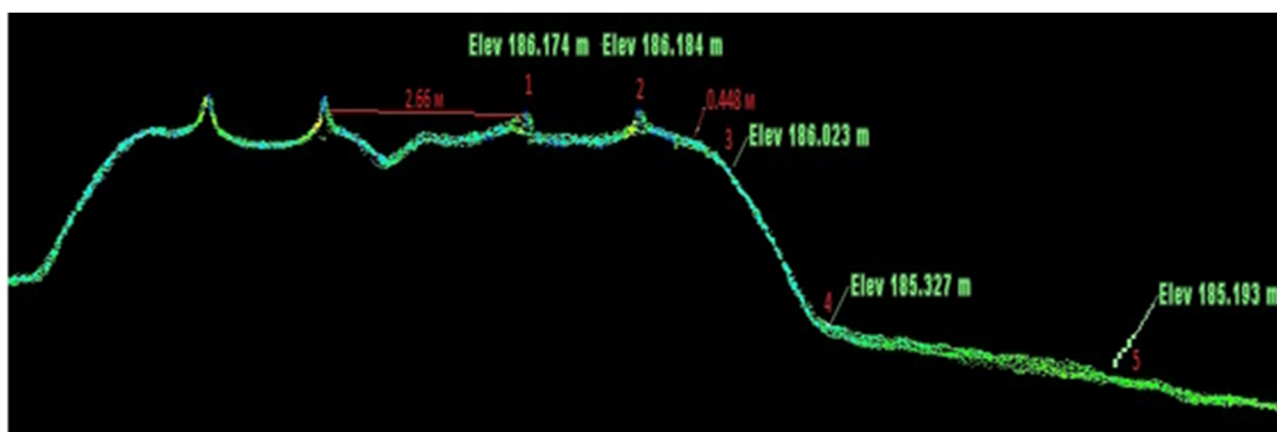


Рисунок 2.13 – Оцифровка рельсовых нитей по данным мобильного лазерного сканирования

Алгоритм реализован в программном обеспечении обработки данных лазерного сканирования. Тестирование программного обеспечения показало большое количество неоднозначностей, включая распознавание рельсовых нитей в кривых

участках пути, смещение оси (точек) по ширине головки рельса (± 70 мм). Для создания оси пути из облака точек необходимо после автоматизированного выделения оси пути на локальных участках с неоднозначным положением рельсовых нитей вручную корректировать пространственное положение выделенной оси.

Для решения задачи автоматизированного распознавания рельсовых нитей модернизирован мобильный лазерный сканер «Сканпуть» (приложение В). Модернизированный МЛС «Сканпуть-М» включает (рисунок 2.14):

- 1) ходовую тележку;
- 2) инерциальную систему;
- 3) спутниковый приемник;
- 4) контроллер спутникового приемника;
- 5) антенну спутниковую;
- 6) лазерное сканирующее устройство;
- 7) компьютер полевой портативный;
- 8) светоотражающие марки.



Рисунок 2.14 – Внешний вид «Сканпуть-М»

На рисунке 2.15 показана структурная схема мобильного лазерного сканера «Сканпуть-М».

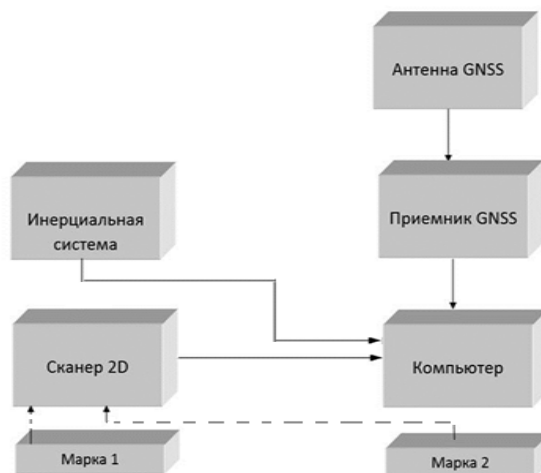


Рисунок 2.15 – Структурная схема мобильного лазерного сканера

Основным отличием МЛС «Сканпуть-М» от известных МЛС является наличие светоотражающих марок 1 и 2, которые конструктивно установлены на ходовой тележке таким образом, что независимо от ширины колеи постоянно находятся над осью головки рельса. Данное решение позволяет с высокой достоверностью и точностью выделять из облака точек ось головки рельса для дальнейшей обработки данных лазерного сканирования железных дорог. На рисунке 2.16 приведена структурная схема обмена данными МЛС «Сканпуть-М». Модернизация МЛС обеспечила расширение функциональных возможностей МЛС «Сканпуть» по отображению рельсовых нитей в облаке точек.

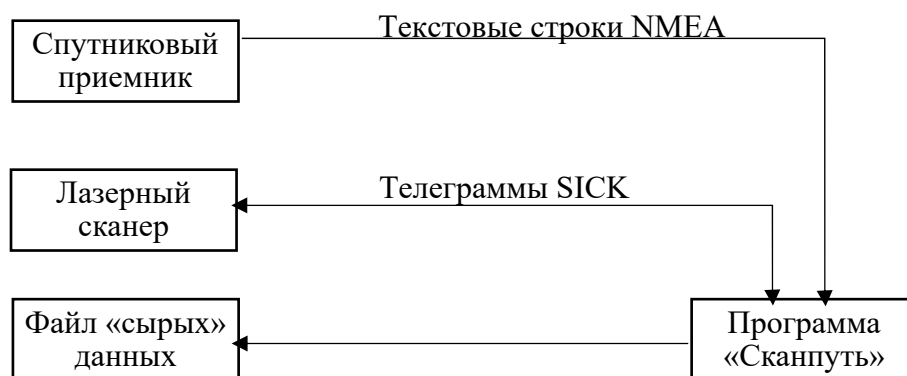


Рисунок 2.16 – Структурная схема обмена данными МЛС «Сканпуть»

Основной задачей выделения из облака точек рельсовых нитей для определения оси пути является использование изменения цвета (тональности) рельсовых нитей при настройках сканирования и оцифровке пути (рисунок 2.17).

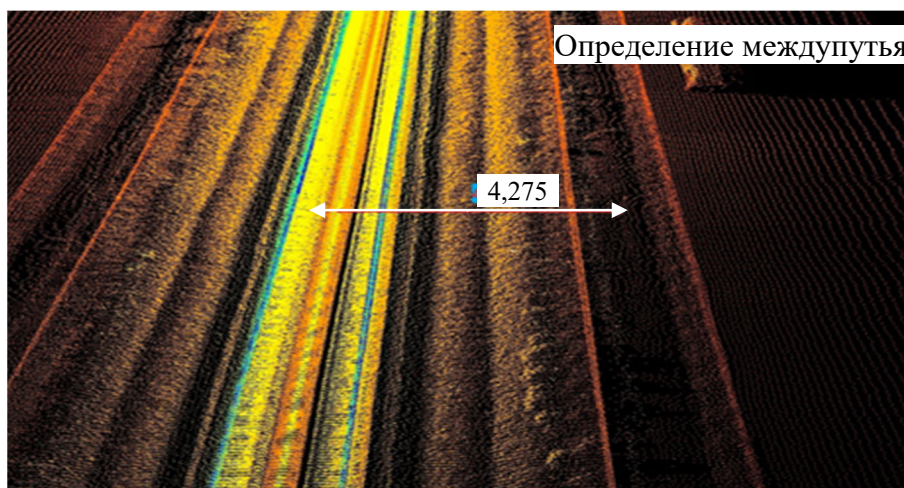
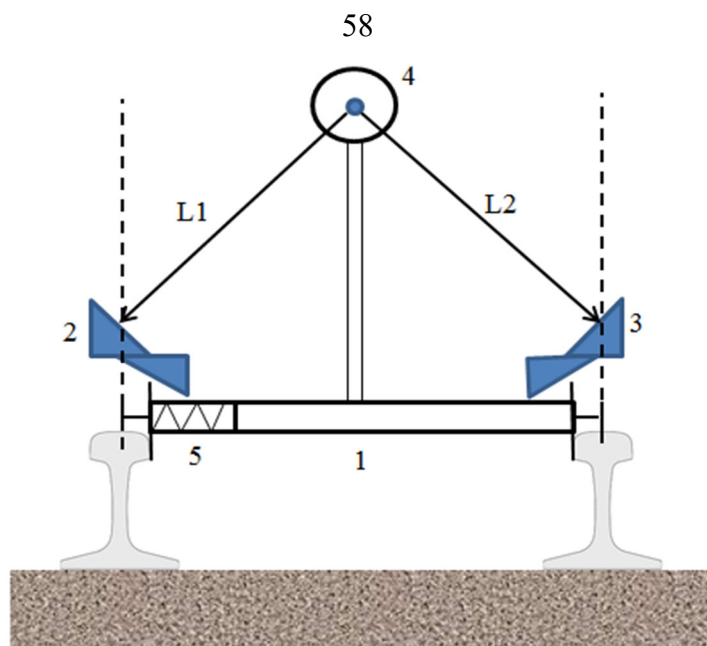


Рисунок 2.17 – Облако точек с выделением рельсовых нитей с использованием фотоотражающих марок

Оцифровка рельсовых нитей осуществляется путем определения области поиска и нахождения границ с помощью алгоритма машинного зрения Канни (John F. Canny) [46, 107, 171, 172].

Для усечения области поиска выполняются определение и оценка положения светоотражающих марок относительно 2D-сканирующей головки МЛС «Скан-путь-М» с использованием критерия оценки минимального расстояния в области сканирования $L1$ и $L2$. Координаты светоотражающей марки 2 – X_1, Y_1, H_1 и светоотражающей марки 3 – X_2, Y_2, H_2 соответствуют пространственному положению рельсовых нитей (рисунок 2.18). Данный метод по максимальным высотным отметкам H_1, H_2 позволяет определить область поиска границ отображения рельсовых нитей и их координат X_1, Y_1 и X_2, Y_2 .



1 – ходовая тележка; 2, 3 – светоотражающие марки; 4 – 2D-сканер;
5 – прижимное устройство колеса ходовой тележки

Рисунок 2.18 – Схема измерений

Поиск границ светоотражающих марок производится с помощью детектора Канни на основе градиентного фильтра, оптимального по критериям выделения, локализации и минимизации откликов края изображения. Для того чтобы оценить величину градиента изображения, применяются операторы градиента [108]

$$L_x(x, y) = -1/2 \cdot L(x-1, y) + 0 \cdot L(x, y) + 1/2 \cdot L(x+1, y);$$

$$L_y(x, y) = -1/2 \cdot L(x, y-1) + 0 \cdot L(x, y) + 1/2 \cdot L(x, y+1),$$

где x, y – координата точки; $L(x, y)$ – градиент в точке x, y ; L_x, L_y – градиент в точке x, y по осям X, Y .

Для выделения границ выполняется оценка величины градиента с использованием центральных разностей, т. е. значений в соседних точках $+1$ и -1 градиента [52, 171].

Идентификация геометрических элементов выполняется с использованием вычислительного алгоритма Хафа. Он применяется в анализе изображений, цифровой обработке изображений и компьютерном зрении. Классический алгоритм преобразования Хафа связан с идентификацией прямых линий. Преобразование Хафа основывается на представлении искомого объекта в виде параметрического

уравнения. В основе теории преобразования Хафа лежит утверждение, что любая точка изображения может быть частью некоторого набора возможных линий [39, 109].

Таким образом, усечение области поиска выполняется с использованием пространственных положений рельсовых нитей, полученных по функциональной зависимости координат светоотражающих марок от минимального расстояния L1 и L2 до 2D-сканера, соответствующих максимальным высотным отметкам в каждом сечении (поперечном профиле) сканирования. Определение границ осуществляется с использованием детектора Канни и идентификации геометрических элементов по данным алгоритма Хафа. Данный набор функций усечения, выделения границ и идентификации поиска обеспечивает возможность автоматизации и получения нормативной [14, 49, 173] точности определения геопространственного положения оси железнодорожного пути.

Испытания, настройка и калибровка [7, 10, 126] МЛС «Сканпуть-М» проводились на специальном эталонном 500-метровом участке железной дороги Новосибирск – Пашино, включающем одну кривую радиусом 600 м и опорную геодезическую сеть, созданную в местной системе координат для оценки точности измерений МЛС «Сканпуть-М». Точки ОГС располагались справа и слева на удалении от оси пути 2,5 и 10 м. На ОГС до начала испытаний были установлены марки (мишени) со светоотражающей пленкой. Схема эталонного участка железнодорожного пути приведена на рисунке 2.19.

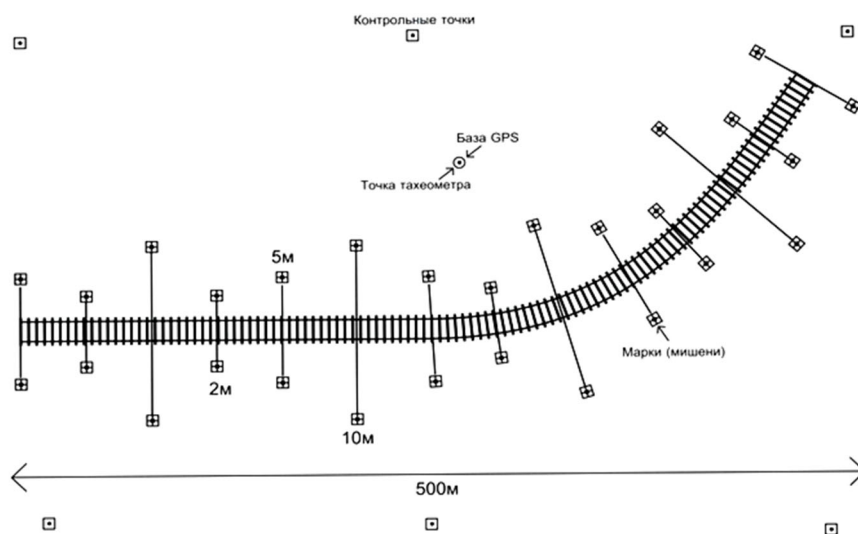


Рисунок 2.19 – Схема эталонного участка железнодорожного пути

Преобразование координат лазерного сканирования в систему внешних координат выполнено по формуле [45]

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{INS/ск} = \begin{bmatrix} E \\ N \\ H \end{bmatrix}_{GPS} + A_{\alpha\omega\kappa} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Y \\ N \\ H \end{bmatrix},$$

где X, Y, Z – пространственные координаты точки местности, измеренные наземным лазерным сканером;

$A_{\alpha\omega\kappa}$ – матрица направляющих косинусов, характеризующая пространственную ориентацию инерциальной системы относительно внешней;

$E_{GPS}, N_{GPS}, H_{GPS}$ – координаты фазового центра спутниковой антенны во внешней системе координат;

X, Y, Z – координаты положения точки сканируемого объекта в системе координат сканера;

E, N, H – координаты точки объекта во внешней системе координат.

Взаимное положение фазового центра спутниковой антенны относительно инерциальной системы, головки 2D-сканера, установленного на ходовой тележке (см. рисунок 2.18), а также положение 2D-сканера относительно оси левой и правой светоотражающих марок для вычисления элементов матрицы определено электронным тахеометром SP TS515 с точностью (СКО) 2 мм.

По результатам испытаний МЛС «Сканпуть-М» на эталонном участке были определены средние квадратические ошибки определяемых параметров железнодорожного пути по внутренней сходимости и относительно пунктов ОГС (таблица 2.3).

Из таблицы 2.3 видно, что по внутренней сходимости точность определения координат в 1,5–2 раза выше, что свидетельствует о наличии систематических составляющих погрешности определения координат, которые не удалось устранить в процессе калибровки и настроек. При этом точность автоматизированного определения

пространственного положения рельсовых нитей с использованием светоотражающих марок, МЛС «Сканпуть-М» соответствует нормативным требованиям [14, 49].

Таблица 2.3 – Средние квадратические ошибки параметров железнодорожного пути

Объект контроля	Погрешность (СКО)			
	по внутренней сходимости (мм)		относительно ОГС (мм)	
	в плане	высотная отметка	в плане	высотная отметка
Рельс 1	2	2	7	5
Рельс 2	2	3	6	5
Марка 2 м	8	6	16	13
Марка 5 м	12	11	20	18
Марка 10 м	17	15	28	24

Результаты полевых испытаний МЛС «Сканпуть-М» показали высокую эффективность использования светоотражающих марок, жестко связанных с колесными парами ходовой тележки и соответственно рельсовыми нитями. Обеспечивается идентификация при обработке данных МЛС «Сканпуть-М», а также автоматизация процесса оцифровки оси пути.

На рисунке 2.20 показан фрагмент определения высоты контактного провода относительно оси пути и определение геометрических параметров (габариты приближения строений) для создания цифровых моделей пути (ЦМП) [133] с использованием данных лазерного сканирования МЛС «Сканпуть-М» и оцифрованных рельсовых нитей. Выполнив оцифровку рельсовых нитей с использованием программных комплексов ProfilePC, ScannerDispatcher, Curvis можно решать инженерные задачи, включая определение параметров кривых, определение габаритов приближения строений, выполнять актуализацию проектных данных, определять динамику изменения пространственного положения пути и других объектов [16, 80, 48].

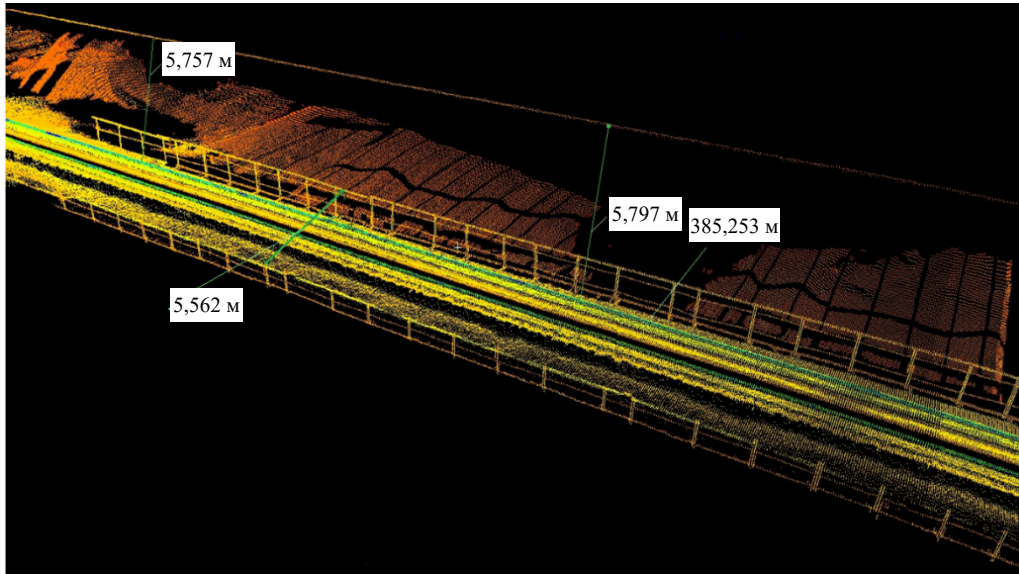


Рисунок 2.20 – Определение высоты контактного провода относительно рельсовых нитей (выделены зеленым цветом)

Таким образом, модернизация мобильного лазерного сканера с минимальными затратами по установке над ходовыми колесами светоотражающих марок, ориентированных на 2D-сканер, позволяет автоматизировать процесс распознавания образов, в нашем случае рельсовых нитей и выполнять оцифровку оси пути с высокой надежностью, включая использование прямых и косвенных методов. По отношению к традиционным методам, ранее применявшимся для этих целей, значительно (в 7–8 раз) повышается производительность оцифровки; при этом применение программных комплексов типа Bentley, позволяющих также автоматизировать процесс, может быть рентабельно при больших объемах работ и оправдано (из-за высокой стоимости) при использовании в крупных проектных и строительных организациях.

2.2 Разработка и исследования методики применения аппаратно-программных средств и мобильных лазерных сканеров для создания цифровых моделей пути и цифровых проектов

2.2.1 Методика расчета геометрических параметров рельсовой колеи по пространственным данным

Геометрические параметры рельсовой колеи: ширина колеи, возвышение рельса, положение рельсовой нити в плане (рихтовка), положение рельсовой нити в вертикальной плоскости (просадка) с использованием координатных методов – определяются по алгоритмам [36, 74, 79, 168, 169].

При расчете геометрических параметров учитываются десятки нормативных требований, например ширина колеи (рисунок 2.21) определяется в сечении ниже на 13 мм поверхности катания головки рельса по формулам, что обеспечивается за счет конструкции ходовой тележки



Рисунок 2.21 – Схема измерения ширины колеи

$$\begin{cases} \Delta X = X_2 - X_1, \\ \Delta Y = Y_2 - Y_1, \\ \Delta H = H_2 - H_1; \end{cases} \quad (2.11)$$

$$l = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta H^2} . \quad (2.12)$$

где l – ширина колеи; $X_1, Y_1, H_1, X_2, Y_2, H_2$ – координаты первой и второй рельсовых нитей.

Возвышение рельса (уровень) ΔH определяется по формуле относительно поверхности катания головки рельса

$$\Delta H = H_2 - H_1. \quad (2.13)$$

Схема определения приведена на рисунке 2.22.

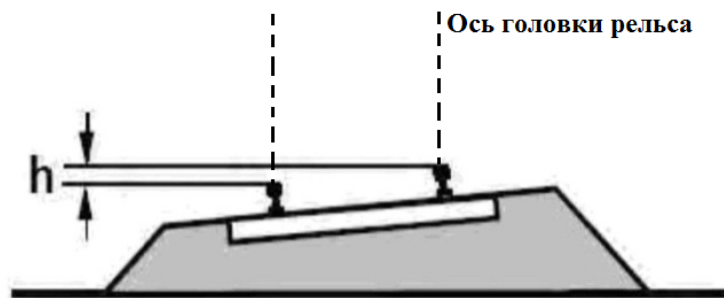


Рисунок 2.22 – Схема определения возвышения рельса

Положение рельсовых нитей в вертикальной плоскости (просадка) определяется по формулам

$$H_B = \frac{H_{i-1} + H_{i+1}}{2}; \quad (2.14)$$

$$\Delta H' = H_B - H_i, \quad (2.15)$$

где $\Delta H'$ – амплитуда рельсовой нити (просадка) в вертикальной плоскости на длине хорды $(i - 1) - (i + 1)$; H_i, H_{i-1}, H_{i+1} – высотные отметки в i точках пути; H_B – средняя высотная отметка на хорде $(i - 1) - (i + 1)$.

Схема определения приведена на рисунке 2.23.

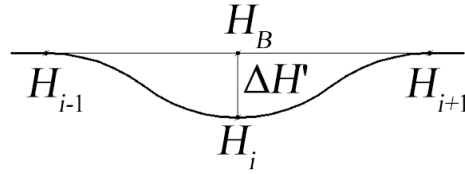


Рисунок 2.23 – Схема расчета неровностей рельсовой колеи в вертикальной плоскости (просадки в стандарте ЦП 515)

Положение рельсовых нитей в горизонтальной плоскости (рихтовка) определяется по формулам

$$\begin{cases} X_B = \frac{X_{i-1} + X_{i+1}}{2}; \\ Y_B = \frac{Y_{i-1} + Y_{i+1}}{2}; \end{cases} \quad (2.16)$$

$$\begin{cases} \Delta X' = X_i - X_B; \\ \Delta Y' = Y_i - Y_B; \end{cases} \quad (2.17)$$

$$\delta = \sqrt{\Delta X'^2 + \Delta Y'^2}, \quad (2.18)$$

где δ – амплитуда рельсовой нити в плане (рихтовка) в i точке на хорде $(i-1) - (i+1)$.

Схема определения рихтовки приведена на рисунке 2.24.

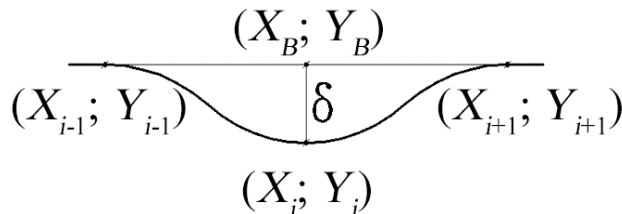


Рисунок 2.24 – Схема расчета неровностей рельсовой колеи в горизонтальной плоскости (рихтовка в стандарте ЦП 515)

2.2.2 Исследования аппаратно-программного комплекса «Профиль»

Учитывая, что геометрические параметры рельсовой колеи рассчитываются по геопространственным данным, выполнены исследования взаимной зависимости геометрических параметров рельсовой колеи железных дорог (ширины колеи и рихтовки, уровня и просадки) для оценки качества алгоритмов получения геометрических параметров. Исследования были проведены методами порядковой статистики [41, 135].

В этом случае устанавливается порядок, в котором связи возрастают или убывают. Эта связь характеризуется значениями ранговых коэффициентов. На практике используется сокращенная формула ранговой корреляции:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (r_i - s_i)^2}{n^3 - n}, \quad (2.19)$$

где r_i и s_i – ранги i -го объекта по переменным X и Y ; n – число пар наблюдений.

В диссертационной работе использовалась формула Спирмена. При наличии связанных рангов ранговый коэффициент корреляции

$$\rho = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (r_i - s_i)^2}{\frac{1}{6}(n^3 - n) - (T_r - T_s)}, \quad (2.20)$$

где

$$T_r = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{m_r} (t_r^3 - t_r); \quad (2.21)$$

$$T_s = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{m_s} (t_s^3 - t_s) \quad (2.22)$$

m_r, m_s – число групп неразличимых рангов у переменных X и Y ;

t_r, t_s – число рангов, входящих в группу неразличимых рангов переменных X и Y .

Для оценки значимости коэффициента корреляции ρ необходимо найти статистику t , имеющую распределение Стьюдента:

$$t = \frac{\rho\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\rho^2}}, \quad (2.23)$$

где t – статистика,

n – число степеней свободы.

В приведенных расчетах связь считается надежной с вероятностью для уровня и просадок 0,8, шаблона и рихтовок 0,8, уровня и шаблона 0,5.

Исследования проводились на участке Западно-Сибирской железной дороги ст. Петрушенко путь 4В длиной два километра, анализу подвергались участки длиной 100 м. Результаты приведены в таблицах 2.4–2.7.

Таблица 2.4 – Станция Петрушенко путь 4В (ПК3-ПК4)

Параметры	Уровень	Рихтовка правая	Рихтовка левая	Шаблон	Просадка правая	Просадка левая
Уровень	1,0					
Рихтовка правая	0,45	1,0				
Рихтовка левая	0,42	0,96	1,0			
Шаблон	0,85	0,30	0,999	1,0		
Просадка правая	0,96	0,25	0,78	0,94	1,0	
Просадка левая	0,99	0,00	0,55	0,85	0,999	1,0

Таблица 2.5 – Станция Петрушенко, путь 4В (ПК7-ПК8)

Параметры	Уровень	Рихтовка правая	Рихтовка левая	Шаблон	Просадка правая	Просадка левая
Уровень	1,0					
Рихтовка правая	0,10	1,0				
Рихтовка левая	0,00	0,999	1,0			
Шаблон	0,48	0,29	0,75	1,0		
Просадка правая	0,70	0,15	0,18	0,32	1,0	
Просадка левая	0,73	0,00	0,20	0,84	0,999	1,0

Таблица 2.6 – Станция Петрушенко, путь 4В (ПК14-ПК15)

Параметры	Уровень	Рихтовка правая	Рихтовка левая	Шаблон	Просадка правая	Просадка левая
Уровень	1,0					
Рихтовка правая	0,00	1,0				
Рихтовка левая	0,00	0,999	1,0			
Шаблон	0,25	0,999	0,999	1,0		
Просадка правая	0,79	0,11	0,00	0,00	1,0	
Просадка левая	0,77	0,00	0,12	0,11	0,999	1,0

Таблица 2.7 – Станция Петрушенко, путь 4В (ПК19-ПК20)

Параметры	Уровень	Рихтовка правая	Рихтовка левая	Шаблон	Просадка правая	Просадка левая
Уровень	1,0					
Рихтовка правая	0,64	1,0				
Рихтовка левая	0,01	0,999	1,0			
Шаблон	0,84	0,61	0,75	1,0		
Просадка правая	0,91	0,69	0,35	0,85	1,0	
Просадка левая	0,999	0,21	0,21	0,99	0,999	1,0

Из анализа полученных результатов можно сделать вывод, что расчет по пространственным данным (координатам) обеспечивает устойчивую связь между геометрическими параметрами, например возвышение рельса – ширина колеи (шаблон), рихтовка – ширина колеи (шаблон), возвышение рельса – просадка.

Для оценки уровня путеизмерительных систем в Москве по инициативе научно-исследовательского института автоматизированных систем (НИИАС) были проведены полевые испытания путеизмерительных систем, применяющихся в Европе и других странах для оцифровки железных дорог на базе координатных (геодезических) методов [133]:

- Tachy Rail фирмы «GEO-METRIK AG» (Германия);
- Swiss trolleys фирмы «Terra Vermessungen Ag» (Швейцария);
- GRP System FX фирмы «Amberg Technologies» (Швейцария);
- АПК «Профиль», СГУПС (Россия, г. Новосибирск).

Функциональные возможности различных систем отличаются, поэтому сравнение выполнено только по нескольким критериям. При этом геометрические параметры (рихтовка, просадка, уровень, шаблон) определяются по пространствен-

ным данным положения рельсового пути или с использованием угловых и линейных датчиков. В таблице 2.8 представлен набор параметров и геометрических характеристик пути, получаемых в результате работы путеизмерительных комплексов.

Таблица 2.8 – Данные, получаемые путеизмерительными комплексами

Путеизмерительная система	АПК «Профиль»	Tachy Rail	Swiss trolley	GRP System FX
План	+	+	+	+
Профиль	+	+	+	+
Ширина колеи (шаблон)	+	+	+	-
Возвышение	+	+	+	+
Просадки	+	+	-	-
Рихтовки	+	-	-	-
Кривые	+	-	-	-

Все путеизмерительные системы в своем составе имеют ГНСС-оборудование. Точность измерения пространственного положения пути у всех измерительных систем сопоставима.

Исследование точностных характеристик выполнялось по конечным результатам, т. е. при определении геометрических характеристик по результатам расчетов на основе пространственного положения пути. На графиках (рисунок 2.25) показаны результаты сравнения по возвышению рельсов (уровень) и результаты измерения ширины колеи (рисунок 2.26).

ЦНИИ-4 – путеизмерительная станция, применяется в ОАО «РЖД» для определения геометрических параметров и оценки их соответствия нормативным требованиям.

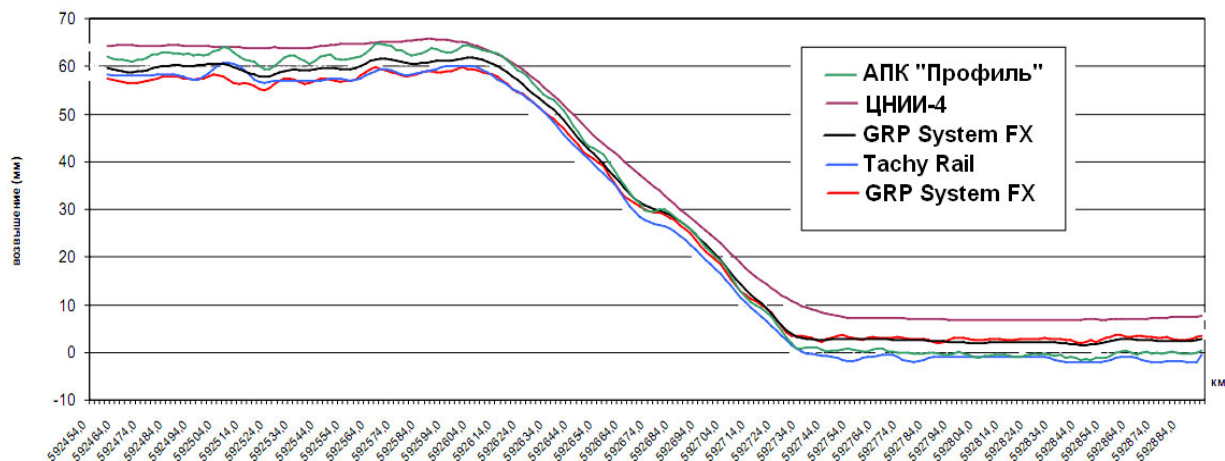


Рисунок 2.25 – График возвышений

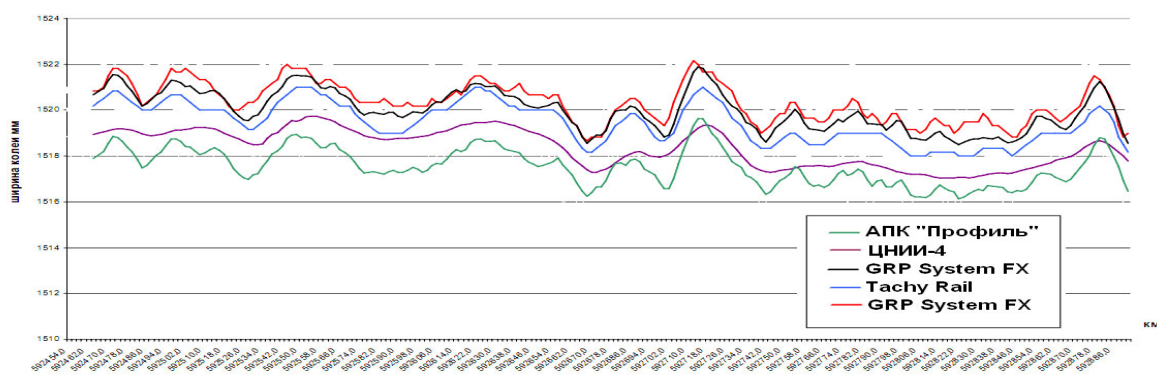


Рисунок 2.26 – График измерений ширины колеи

По результатам исследований и сравнительной оценки комиссией ВНИИАС сделаны следующие выводы:

- возможности путеизмерительных систем определяют область их применения на железных дорогах России;
- наиболее широкими функциональными возможностями применения на железных дорогах России обладают АПК «Профиль» и Tachy Rail;
- точность в плане и по высоте у всех систем сопоставима и зависит от алгоритмов совместной обработки спутниковых и инерциальных (гироскопических) измерений;

- наиболее высокая точность определения возвышения рельса достигается измерительной аппаратурой системы АПК «Профиль» и Swisstrolley;
- правильность и точность определения ширины колеи должна определяться дополнительными исследованиями с учетом того, что измерения должны выполняться на глубине 13 мм от головки рельса. Конструктивные особенности АПК «Профиль» позволяют получать этот параметр корректно. В системе GRP System FX этот параметр не определяется. Представленные на конкурсе путеизмерительные тележки работают на основе координатного метода определения геометрии рельсового пути по пространственным данным. При наличии примерно одинаковой точности АПК «Профиль» обеспечивает стандарты ОАО «РЖД» (ФП-5, ЦП 515 и т. д.). Приведенные путеизмерители наиболее эффективны для оцифровки пути и создания цифровых моделей пути.

2.2.3 Программное обеспечение для расчета параметров железнодорожных кривых и геометрических параметров рельсовой колеи по геопространственным данным

Программный комплекс ПК разработан для создания ЦМП, ЦП, продольного и поперечного профиля, железнодорожных кривых, геометрических параметров рельсовой колеи в полевых условиях путевой машинной станции, в отличие от «Кредо-Диалог» (Республика Беларусь), «Топоматик Robur» (Россия) значительно упрощает подготовку и обработку данных с АПК «Профиль» или МЛС «Сканпуть».

К геометрическим параметрам рельсовой колеи относятся (в соответствии с ЦП-515) положение рельсовой нити в плане (рихтовка), положение рельсовой нити в профиле (просадки), ширина колеи (шаблон), возвышение рельса (уровень). Железнодорожные кривые включают десятки различных параметров, расчет которых выполняется в соответствии со стандартами ОАО «РЖД» (форма ФП-5, ФП-6).

На рисунке 2.27 показана структурная схема обработки данных АПК «Профиль» и МЛС «Сканпутъ», включающая комплект программных продуктов и методического обеспечения.



Рисунок 2.27 – Структурная схема программного обеспечения АПК «Профиль»

ПО «Profile» предназначено для управления работой и сбором информации АПК «Профиль». ПО «Curvis» предназначено для расчета по пространственным данным параметров кривой и их визуализации в формате ФП-5, ПО Vi «Профиль-2» предназначено для подготовки данных для построения продольного профиля с использованием ПО «Профиль-2», ПО «Way» предназначено для расчета и визуализации геометрических параметров в соответствии с требованиями инструкции ЦП-515, ПО «Профиль-1» предназначено для подготовки данных с целью построения поперечных профилей. Программный комплекс ПК полностью обеспечивает пространственными данными и геометрическими параметрами создание цифровых проектов с требуемой точностью в соответствии со стандартами ОАО «РЖД». В таблице 2.9 приведен фрагмент результатов расчета геопространственных данных и геометрических параметров с использованием программного комплекса «Way».

Таблица 2.9 – Фрагмент результатов расчета геопространственных данных и геометрических параметров с использованием программного комплекса «Way»

Путь, м	X, м	У, м	H, м	Время, с	Уровень, мм	Рихтовка пр, мм	Рихтовка лев, мм	Шаблон, мм	Просадка пр, мм	Просадка лев, мм
23.0	6113677.654	14630445.336	250.897	561.455	-29.14	9.53	5.63	1519.86	0.50	-0.92
23.5	6113677.582	14630445.183	250.896	561.473	-30.45	8.82	5.28	1519.80	2.69	1.09
24.0	6113677.509	14630445.031	250.894	561.491	-31.63	8.55	7.61	1520.60	4.39	3.06
24.5	6113677.437	14630444.879	250.893	561.509	-32.26	9.19	10.59	1521.49	5.65	4.50
25.0	6113677.365	14630444.727	250.892	561.527	-32.79	10.00	11.40	1521.86	5.84	4.80
25.5	6113677.292	14630444.575	250.891	561.545	-33.09	10.83	12.55	1522.38	4.39	3.89
26.0	6113677.220	14630444.423	250.890	561.564	-33.79	11.94	14.85	1522.40	3.19	2.85
26.5	6113677.148	14630444.270	250.889	561.582	-34.46	13.02	14.98	1522.50	2.29	2.13
27.0	6113677.075	14630444.118	250.888	561.600	-35.17	13.85	17.69	1522.60	1.34	1.27
27.5	6113677.003	14630443.966	250.886	561.618	-35.79	15.25	19.69	1522.80	0.40	0.43
28.0	6113676.931	14630443.814	250.885	561.636	-36.39	16.11	18.60	1523.20	-0.31	-0.39
28.5	6113676.859	14630443.662	250.884	561.655	-36.81	16.49	17.78	1523.20	-0.62	-0.64
29.0	6113676.786	14630443.509	250.883	561.673	-37.15	16.49	16.71	1523.20	-1.05	-0.94
29.5	6113676.714	14630443.357	250.882	561.691	-37.90	16.16	15.62	1523.00	-1.01	-1.12
30.0	6113676.642	14630443.205	250.881	561.709	-38.72	15.96	16.26	1522.86	-0.70	-1.11
30.5	6113676.569	14630443.053	250.879	561.727	-39.40	16.48	18.04	1523.00	-0.57	-0.96
31.0	6113676.497	14630442.901	250.878	561.745	-39.90	16.97	17.47	1523.20	-0.55	-1.01
31.5	6113676.425	14630442.749	250.877	561.764	-40.17	16.88	16.63	1523.00	-0.46	-0.87
32.0	6113676.352	14630442.596	250.876	561.782	-40.53	16.68	15.66	1522.80	-0.21	-0.66
32.5	6113676.280	14630442.444	250.875	561.800	-40.95	16.20	14.94	1522.60	-0.03	-0.57
33.0	6113676.208	14630442.292	250.874	561.818	-41.54	15.90	15.54	1522.60	0.44	-0.13
33.5	6113676.136	14630442.140	250.873	561.836	-42.15	16.16	16.74	1522.63	0.62	-0.13
34.0	6113676.063	14630441.988	250.871	561.855	-42.48	16.51	16.79	1523.00	0.74	0.13
34.5	6113675.991	14630441.836	250.870	561.873	-42.62	16.31	15.75	1523.00	0.54	0.24
35.0	6113675.919	14630441.683	250.869	561.891	-42.56	16.02	15.84	1523.20	0.11	0.40
35.5	6113675.846	14630441.531	250.868	561.909	-42.58	15.79	15.67	1523.40	-0.69	-0.01
36.0	6113675.774	14630441.379	250.867	561.927	-42.89	15.83	17.64	1523.90	-1.43	-0.44
36.5	6113675.702	14630441.227	250.866	561.945	-43.54	16.63	19.34	1524.00	-1.88	-0.81
37.0	6113675.629	14630441.075	250.865	561.964	-43.95	17.46	19.97	1524.23	-2.42	-1.03
37.5	6113675.557	14630440.922	250.863	561.982	-44.71	17.96	19.24	1524.17	-2.81	-1.81
38.0	6113675.485	14630440.770	250.862	562.000	-45.09	17.90	18.07	1524.07	-3.00	-2.07
38.5	6113675.416	14630440.628	250.862	562.017	-45.60	17.97	18.76	1524.14	-2.77	-1.92
39.0	6113675.347	14630440.485	250.863	562.034	-46.44	18.18	18.99	1523.87	-2.76	-1.89
39.5	6113675.278	14630440.342	250.863	562.052	-47.53	18.85	20.64	1524.13	-2.50	-1.90
40.0	6113675.209	14630440.199	250.863	562.069	-48.55	19.53	20.32	1524.27	-2.23	-1.64
40.5	6113675.140	14630440.056	250.864	562.086	-49.21	19.56	18.82	1524.12	-1.79	-1.17
41.0	6113675.071	14630439.913	250.864	562.103	-49.94	19.36	18.38	1524.00	-1.19	-0.77
41.5	6113675.002	14630439.771	250.864	562.121	-50.76	19.06	18.22	1523.97	-0.49	-0.05

Геометрические параметры и пространственные данные жестко связаны между собой и являются исходными данными для создания цифровых проектов для работы САУ-3D . Пример определения геометрических параметров с использованием программного обеспечения АПК «Профиль» и АПК «Профиль-М», МЛС «Сканпуть» и МЛС «Сканпуть-М» по формулам (2.11) – (2.18) показан на рисунке 2.28 [133].

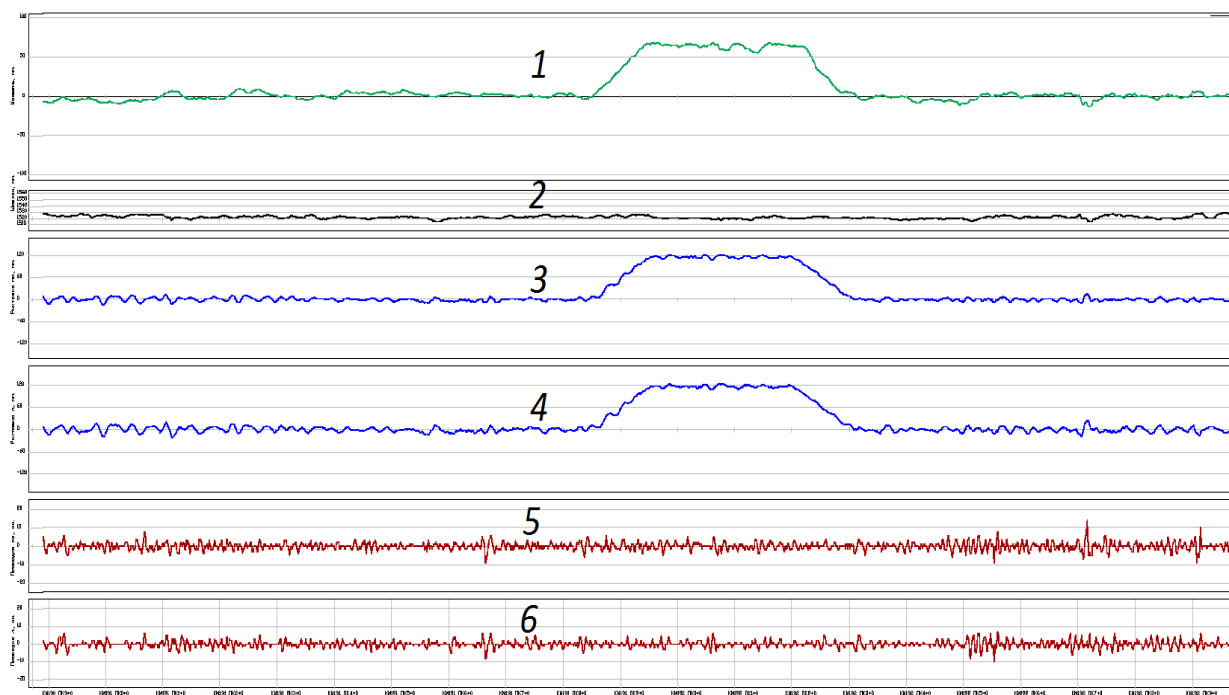


Рисунок 2.28 – Графики геометрических параметров рельсовой колеи в стандарте ЦП-515, полученных АПК «Профиль»

На рисунке 2.28: 1 – возвышение рельса (уровень); 2 – ширина колеи (шаблон); 3, 4 – положение правой и левой рельсовых нитей в плане (рихтовка); 5, 6 – положение правой и левой рельсовых нитей в вертикальной плоскости (просадка).

Карточка кривой формы ФП-5 составляется с использованием специальной программы «Карточка кривой», входящей в комплект программного обеспечения АПК «Профиль».

АПК «Профиль» при натурной съемке участка пути определяет координаты рельсовых нитей, а расчеты параметров кривых выполняются по методу стрел изгиба. При этом в обработке используются для расчета стрел изгиба координаты, обработанные (фильтрация и сглаживание) в программе «Curves». В отличие от измерений вручную, предварительная разбивка линии на отрезки не требуется, нет необходимости в нахождении начала и конца кривой, так как АПК выполняет съемку на всем протяжении пути, с детализацией («шагом съемки») в 100 раз выше традиционного метода хорд.

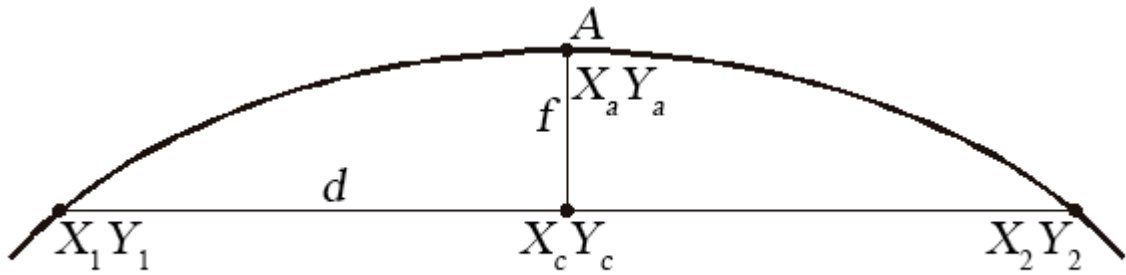


Рисунок 2.29 – Расчет параметров кривых методом стрел изгиба

Сущность метода показана на рисунке 2.29 и состоит в следующем.

Кривая линия (ось пути) разбивается на элементарные участки одинаковой длины массивом точек (X_1Y_1, \dots, X_nY_n) ;

Из каждой точки (X_1Y_1) откладывается хорда фиксированной длины (d) до пересечения с кривой (X_2Y_2) .

Из середины хорды (X_cY_c) восстанавливается перпендикуляр (F) к кривой (X_aY_a) . По величине f и d вычисляется радиус кривой в точке $A (R_A)$:

$$R = \frac{d^2}{8f}, \quad (2.24)$$

где d – расстояние между точками с координатами X_1Y_1 и X_2Y_2 ; f – стрела прогиба кривой в середине хорды с координатами X_aY_a и X_cY_c .

Программа при обработке дает возможность сделать предварительный подбор радиуса кривой и определить длины полной и переходных кривых по графику кривизны. Линию расчетных стрел f_p проводят параллельно оси расстояний графика, по методу наименьших квадратов по середине ломаной линии натуральных стрел в пределах круговой кривой. На участках переходных кривых линию расчетных стрел проводят наклонно и также с максимальным приближением к графику натуральных стрел; длины переходных кривых в начале и конце круговой кривой могут отличаться от расчетных значений, максимальные отклонения стрел изгиба от среднего значения фиксируются в таблице и параметрах расчета.

Общая длина кривой и длина переходной кривой, а также пикетные значения начала и конца кривых определяются с точностью до 1 м.

Также в программе определяются основные критерии плавности движения поездов: непогашенное ускорение α , м/с² и скорость изменения непогашенного ускорения ψ , м/с³. Так, величина непогашенного ускорения рассчитывается в каждом i -м сечении кривой с шагом 0,5 м:

$$\alpha_{ni} = \frac{v_{\max}^2}{3.6^2 R_i} - 0,0061h_i, \quad (2.25)$$

где v_{\max} – максимальная допустимая скорость движения пассажирских поездов по кривой, км/ч; R_i , м, h_i , мм – радиус и возвышение наружного рельса в i -м сечении кривой.

Скорость изменения непогашенного ускорения, измеряемого по данным уровня (возвышение рельса hi) и стрел определяется по формуле:

$$\psi = \frac{\Delta\alpha_n v_{\max}}{3,6\Delta l}, \quad (2.26)$$

где $\Delta\alpha_n$ – разность непогашенных ускорений в смежных точках несовпадения отводов по кривизне и возвышению на длине отвода кривизны Δl , м/с².

Программа позволяет получать карточку кривой в стандартах ОАО «РЖД» в формате ФП-5.

Пример расчета и визуализации кривой (главное окно ПО «Curves») по данным АПК «Профиль» в формате ФП-5 показан на рисунке 2.30.

Разработанный алгоритм для расчетов параметров железнодорожной кривой позволяет определять около 50 параметров железнодорожной кривой в стандартах ОАО «РЖД» (радиус минимальный и максимальный, длина переходных и круговой кривой, непогашенное ускорение и др.). В основе способа лежит расчет стрел изгиба по пространственным данным, обеспечивающий высокую точность и дета-

лизацию параметров, включая нормированную величину смежных стрел изгиба, являющуюся одной из нормативных характеристик (инструкция ЦП 515) при оценке геометрических параметров рельсовой колеи.

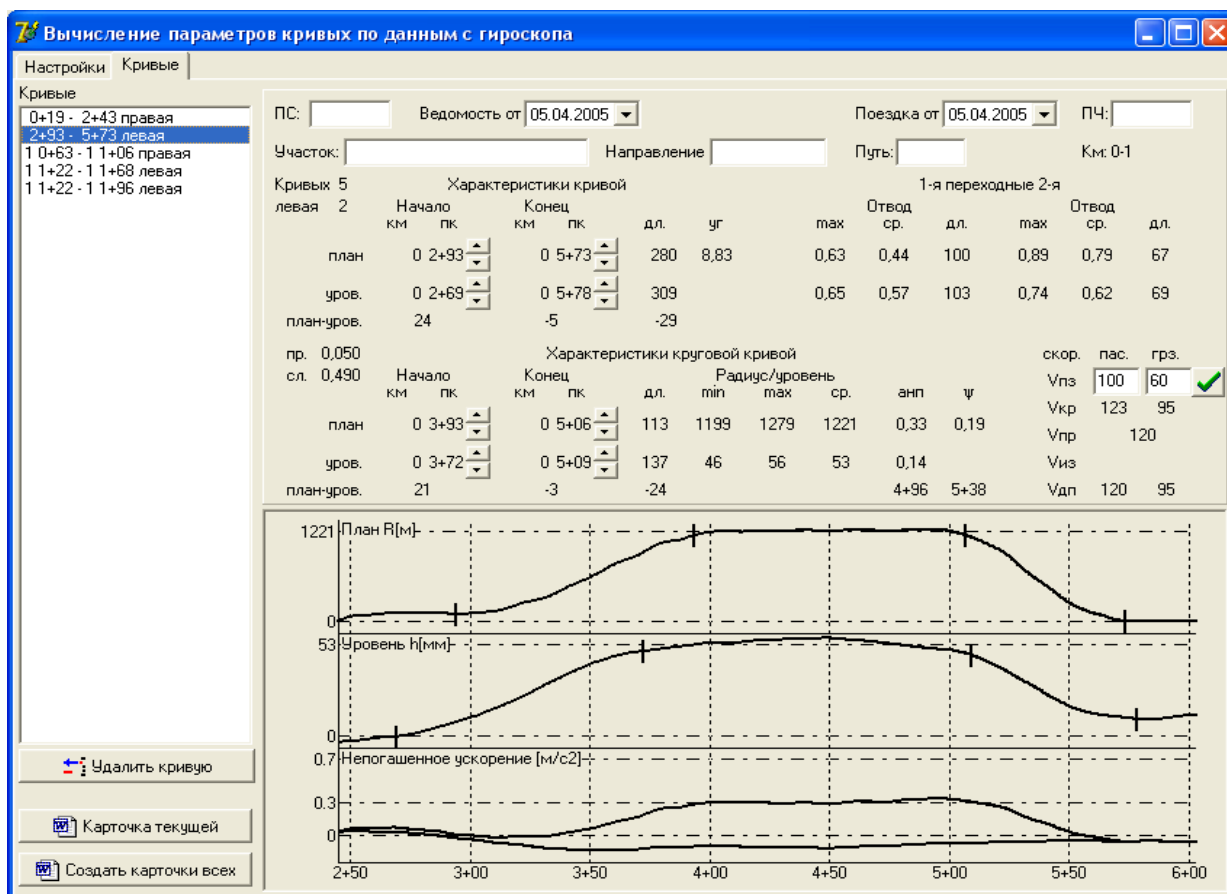


Рисунок 2.30 – Структура данных карточки кривой формы ФП-5, созданной ПК «Curvis»

2.3 Создание цифровых моделей пути и цифровых проектов с использованием АПК «Профиль» для САУ

2.3.1 Требования к цифровой модели пути и цифровому проекту

Цифровая модель пути – это многослойная информационная структура, содержащая в себе геометрические параметры пути и других объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, определенные в единой системе координат.

Формирование требований к цифровой модели пути сводится к разработке форматов и структуры данных, оптимизации объема и содержания информации, взаимосвязи различных систем координат, протоколов обмена данными, конвертирование данных при создании цифровых проектов и БД САУ.

Цифровая модель пути (ЦМП) должна обеспечивать [155, 165, 166]:

1 Цифровое представление (описание) пространственного положения железнодорожного пути.

2 Связь пространственного положения пути в общеземной (геоцентрической) глобальной системе координат, например ITRF-2014 (WGS-84), с государственными, локальными и другими системами координат, включая линейные (Км + ПК + м).

3 Создание единой координатной среды для всех потребителей и видов работ (проектно-изыскательские работы, строительство и эксплуатация).

4 Обеспечение единства измерений для различных средств и методов измерений.

5 Создание БД с широкими информационными возможностями по трансформации данных, их преобразований и формирований заданий (проектов), контроля их исполнения, включая режим реального времени в удобной для работы системе координат.

6 Представление и пересчет данных в новые системы координат с использованием ключей перехода.

7 Внесение изменений в БД инфраструктуры после завершения ремонтов, паспортизации, инвентаризации, изменений системы координат и т. д.

8 Решения инженерных задач (продольный профиль, габариты приближения строений, тяговые нагрузки, непогашенное ускорение и т. д.).

Практическое значение ЦМП заключается в следующем.

1 ЦМП является основой высокоточной привязки инфраструктуры железных дорог и одной из необходимых составляющих для создания цифрового проекта и ГИС.

2 ЦМП обеспечивает единство координатной среды, что позволяет различным структурам, потребляющим информацию, в независимости от используемой системы координат обеспечивать единство измерений. Например, специалисты, работающие с ГИС, используют глобальную систему координат ITRF-2014 при решении инженерных задач, проектировщики используют плоскую прямоугольную систему координат, а дорожные мастера – линейную систему координат (Км + ПК + М).

3 ЦМП является основой мониторинга, обеспечивая однозначное определение местоположения любой точкой инфраструктуры независимо от измерительных средств (САУ-3D строительной железнодорожной машины, вагон-дефектоскоп, тележка-дефектоскоп, вагон-путьеизмеритель), отрезка времени и количества циклов измерения.

4 ЦМП обеспечивает геодезическую привязку и позиционирование САУ в любой i -й точке участка ремонта железной дороги в глобальных (геоцентрических) координатах и их преобразование в другие системы координат, например плоские прямоугольные местные системы координат МСК или линейные системы (Км + ПК + М), что обеспечивает возможность для работы САУ, железнодорожного навигатора, спутникового приемника ГНСС.

5 ЦМП является основой цифровых проектов для САУ путевых железнодорожных строительных машин. Преимуществом ЦМП является возможность использовать цифровые проекты в течение длительного периода (от капитального ремонта до следующего капитального ремонта), что позволяет путем планово-предупредительных выправок сохранять пространственное положение оси пути в проектном положении в течение межремонтного срока.

Для хранения информации используется формат системы управления реляционными базами данных (СУБД) MicrosoftAccess.

Обеспечение единства измерений на всех стадиях производства работ позволяет перейти на координатные методы постановки пути в проектное положение, преобразовывать координаты и пользоваться различными связанными ЦМП системами координат при проведении проектно-изыскательских работ, строительстве и эксплуатационной работе.

Эффективное использование системы высокоточного координатного обеспечения заключается в применении аппаратуры потребителя спутниковых радионавигационных систем (ГНСС) геодезического класса для определения геопространственного положения пути. Для обеспечения высокой точности ГНСС-измерений необходимо выполнение следующих требований:

- прием сигналов одновременно от пяти и более навигационных спутников;
- обеспечение относительности спутниковых геодезических измерений (с одним фиксированным приемником опорного сигнала, постоянно действующая или временная базовая станция и вторым мобильным спутниковым приемником);
- обустройство фиксированных опорных станций (в зависимости от требуемой точности), на расчетном расстоянии удаления, но не более 20 км одна от другой.

Съемка пути производится геодезической спутниковой аппаратурой с использованием радиомодема или GSM-модема, размещенного как на базовой, так и на мобильной станции в режиме RTK. Существуют достоинства и недостатки применения радиомодема или GSM-модема при организации работ и обеспечении качества результатов. Использование режима RTK также позволяет получать конечные измеренные координаты без дополнительных затрат времени на обработку данных в реальном времени в любой точке. Эффективность работы в RTK значительно выше при наличии спутниковой референц-сети.

Основой построения цифровой модели пути является его пространственное положение. Для фиксации при съемке текущего положения пути необходимо произвести соответствующие точные геодезические измерения оси пути и объектов инфраструктуры с целью создания цифрового проекта. Измерения необходимо выполнять на всем выбранном участке пути с использованием ГНСС.

На основе полученных данных (АПК «Профиль») формируется таблица пространственных геодезических координат в общеземной системе координат ITRF-2014 (WGS-84). Табличные данные представлены в следующем порядке: имя точки; широта; долгота; высота. Полученные данные используются при создании

ЦМП с обеспечением требований к структуре и форматам данных, фрагмент ЦМП показан на рисунке 2.31 [14].

```
1;+55.064262923;+82.921376783;113.968;  
AUTO0343;+55.064262685;+82.921376993;113.993;  
AUTO0344;+55.064262634;+82.921377197;113.993;  
AUTO0345;+55.064262529;+82.921377036;114.008;  
AUTO0346;+55.064262717;+82.921376966;114.019;  
AUTO0347;+55.064262926;+82.921377246;114.028;  
AUTO0348;+55.064264381;+82.921380959;114.078;  
AUTO0349;+55.064266494;+82.921386987;114.096;  
AUTO0350;+55.064269495;+82.921394212;114.116;  
AUTO0351;+55.064273326;+82.921402324;114.114;  
AUTO0352;+55.064276432;+82.921410902;114.097;  
AUTO0353;+55.064280081;+82.921420571;114.139;  
AUTO0354;+55.064284048;+82.921429232;114.107;
```

Рисунок 2.31 – Фрагмент ЦМП

Создание ЦМП является первым этапом создания цифрового проекта по данным традиционных проектов на ремонт участка железной дороги.

Методика создания цифрового проекта для управления строительной железнодорожной техникой при реконструкции и ремонте железных дорог

Специфика создания цифровых моделей пути и цифровых проектов для САУ-3D, применяющихся для специализированных железнодорожных машин, заключается в следующем.

1 Объекты инфраструктуры имеют пространственную привязку к оси пути, при этом контроль геометрических параметров для обеспечения безопасности движения выполняется относительно оси пути (габариты приближения строений).

2 Проектные сдвиги рассчитываются относительно оси пути (рихтовка в плане и подъемка в профиле), пространственное положение балластной призмы и другие параметры верхнего строения пути нормируются и контролируются относительно оси железнодорожного пути.

3 Для обеспечения проектных решений создается местная (МСК) и связанная с ней линейная система координат (Км+Пк+м).

4 Проектные данные на участок ремонта содержат пространственные данные (координаты оси пути в МСК) и геометрические параметры, включая проектные расстояния до объектов инфраструктуры, например проектные расстояния от оси пути до опор контактной сети, проектное междупутье, рихтовки и подъемки рассчитываются относительно оси существующего пути.

5 Ограничение временного интервала выполнения работ, включая наиболее жесткие требования к выполнению графика работ – выполнение ремонта в «окно».

6 Строительные машины для выполнения технологического процесса ремонта имеют различные задачи на каждом этапе работ и существенно отличаются как конструктивно, так и по функциональным задачам.

7 Требования к обеспечению точности пространственного положения оси пути и взаимного положения смежных точек пути отличаются в 13–20 раз.

8 Проектная документация на ремонт включает проектные пространственные данные и специфические, характерные только для железных дорог, определяющие смещение пути в плане и профиле относительно существующего пути геометрические параметры.

2.3.2 Разработка методики создания цифрового проекта для ремонта железнодорожного пути с использованием САУ

САУ-3D и цифровые проекты первыми в России начали применять строители автомобильных дорог. При разработке методики создания ЦП опыт применения САУ-3D анализировался автором [37, 83, 90, 92, 97], но специфика ремонта (строительства) железных дорог не позволяет использовать методику создания ЦП для автомобильных дорог. Исходя из приведенной в п. 1–8 разд. 2.3.1 специфики требований к системам координат, проектным геометрическим и пространственным данным железных дорог, разработана методика [133] создания цифровых проектов для систем контроля геометрических параметров вырезки балласта (СКВБ), систем контроля качества уплотнения балласта (СКУБ), САУ-3D с использованием АПК «Профиль» и МЛС «Сканпуть». Данные системы созданы впервые в России

для строительства и ремонта железнодорожного пути в едином комплексе, включая единое для всех строительных машин координатное пространство, единый цифровой проект, общую структуру и форматы данных для САУ-3D и других систем контроля и управления. САУ-3D создаются на базе робота-тахеометра и спутниковых приемников позиционирования ГНСС, обеспечивающих определение пространственного положения подвижных объектов. Пространственное положение оси пути в САУ-3D на базе ГНСС определяется в системе координат ITRF-2014, а проектные данные (координаты оси пути и других объектов) на участок ремонта традиционно представлены в местной системе координат. Преобразование (пересчет координат) из одной системы в другую выполняется с использованием ГОСТ 32453–2017, включая конвертеры координат, пересчет координат [87] МСК-ITRF-2014 в AutoCAD, PHOTOMOD GeoCalculator и т. д., при этом проблемой является преобразование нормальных высот в геодезические и обратно с приемлемой точностью. Разработаны алгоритмы, позволяющие при определенных условиях получать приемлемую точность определения высотных отметок при пересчете координат, но это связано с дополнительными измерениями и организационными проблемами, а также с большим объемом вычислений для получения исходных данных [4, 5, 15–17, 27, 30, 31, 86]. Практический опыт показал сложность реализации данных решений с приемлемой для ремонта железнодорожного пути точностью. Для реализации пересчета координат необходимо изменить требования к существующей нормативной базе по созданию опорной геодезической сети, методики изменений, а самое главное – результаты пересчета не гарантируют приемлемую точность получения высотных отметок. Поэтому в путеизмерительных комплексах Trimble Gedo Vorsys Amberg GRP VX 3000 применяются роботы-тахеометры и САУ-2D (WIN ALC) [26, 170]. При этом производительность создания ЦП с использованием тахеометров и применения системы выправки WIN ALC в 2–4 раза ниже в зависимости от количества кривых на участке ремонта по отношению к САУ-3D на базе ГНСС, а трудозатраты значительно выше, так как съемку пути необходимо выполнять перед проходом каждой строительной железнодорожной

машины на всех этапах ремонта, общее количество циклов измерения составляет от 6 до 10. С учетом высокой трудоемкости работ актуальной задачей является применение на железных дорогах САУ-3D на базе ГНСС не только для планировочных работ по земляному полотну, но и постановки пути в проектное положение. В результате многолетних исследований найдено оптимальное решение по алгоритму и методике создания цифровых проектов для обеспечения работы САУ-3D на базе ГНСС на железных дорогах [133]. В основе предлагаемых решений лежит возможность использования для выноса проектных данных в натуру геометрических параметров, определяющих проектные смещения пути относительно существующего пространственного положения. В данном решении использовалась одна из особенностей проектной документации на ремонт железнодорожного пути, а именно наличие эюры рихтовок и продольного профиля, в которых приведены проектные данные (рихтовка и подъемка) смещения пути относительно существующего пространственного положения пути. Это позволяет использовать систему координат ITRF-2014 без каких либо преобразований пространственных проектных данных (МСК) для создания ЦП для САУ-3D. Сущность создания цифрового проекта заключается в оцифровке ремонтного железнодорожного пути с использованием АПК «Профиль» (до начала ремонта) и использования традиционной проектной документации (проектный профиль, эюра рихтовок) для корректировки координат положения существующего пути. Создание цифровых проектов для САУ-3D строительных железнодорожных машин включает несколько этапов и выполняется последовательно в соответствии со структурной схемой, приведенной на рисунке 2.32.

Данные технические решения согласуются с комплексом подготовительных работ до начала ремонта и выполняются одновременно для обеспечения проверки (контроля) проектных решений на участке ремонта, актуализации проекта необходимых разбивочных работ для обеспечения работы (САУ-3D). Таким образом, натурная съемка АПК «Профиль» для оцифровки пути обеспечивает кроме создания ЦП актуализацию проекта и разбивочные работы, что снижает стоимость (за счет комплексного подхода) создания ЦП.

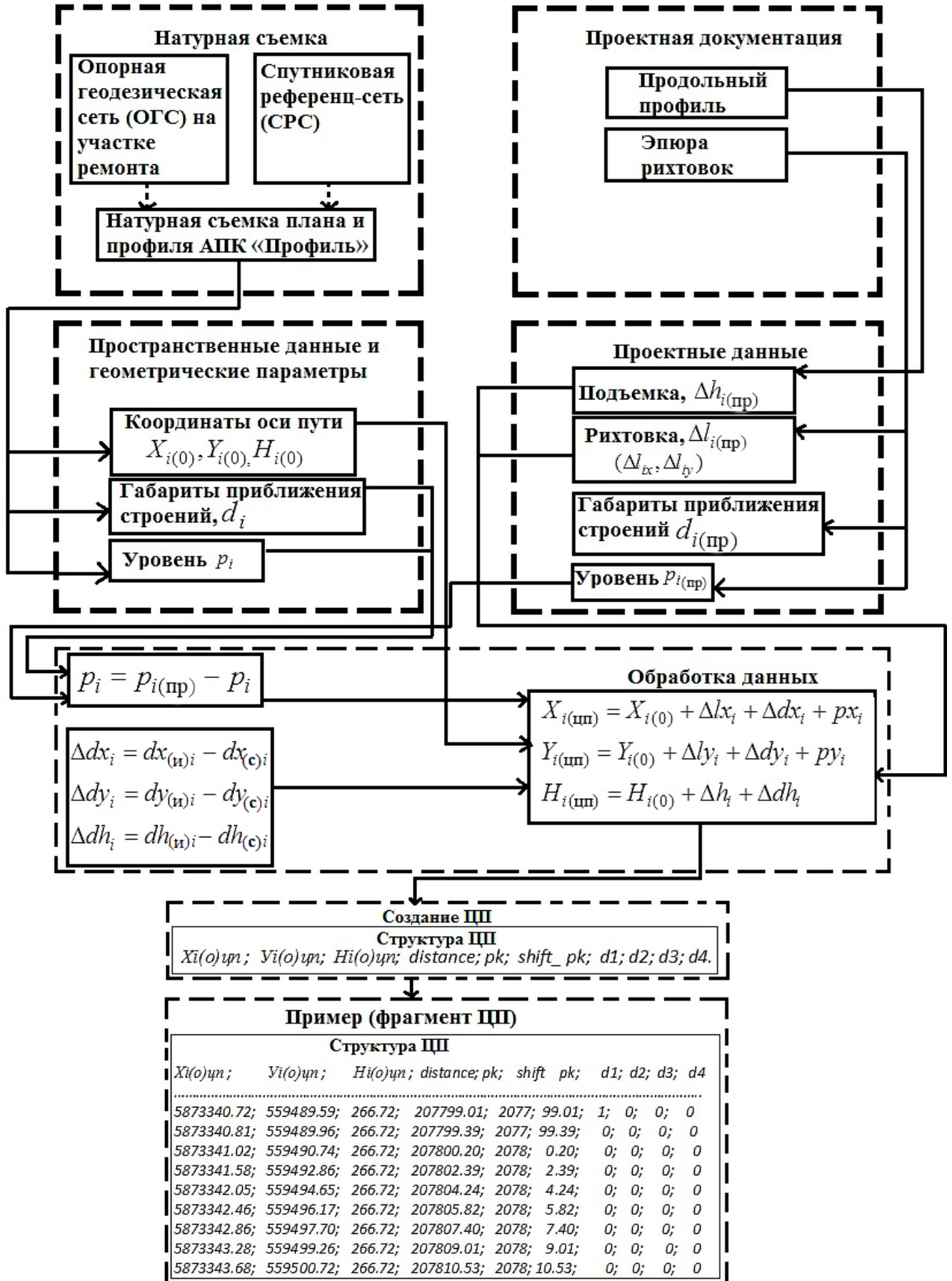


Рисунок 2.32 – Структурная схема создания цифровых проектов для САУ-3D

Оцифровка выполняется АПК «Профиль», МЛС «Сканпуть», и другими специализированными измерительными системами. В качестве опорной геодезической основы используется реперная сеть на участке ремонта (созданная на этапе проектно-изыскательских работ) и спутниковая референц-сеть для обеспечения натурной съемки АПК «Профиль» дифференциальными поправками. Данные натурной съемки, координаты оси пути X , Y , H , габариты приближения строений d , и уровень (превышение между рельсовыми нитями) p необходимы для цифрового описания железнодорожного пути. Уровень необходим в ЦП для редукции координат фазовых центров спутниковых антенн на головки рельса, при этом по уровню в кривых также определяется базовая (реперная) рельсовая нитка. Габариты приближения строений необходимы для актуализации проектных данных, обусловленных влиянием динамических факторов в промежутке времени от изысканий до строительства. Проектная документация (продольный профиль и эпюры рихтовок) в традиционных форматах необходима для корректировки пространственного положения оси существующего ремонтного пути и получения нового проектного положения оси пути, которое и составляет основу цифрового проекта. Данные проектной документации, величины рихтовки $l_{i(\text{пр})}$, подъемки $h_{i(\text{пр})}$ и уровня $p_{(\text{пр})}$ в i -х точках проекта используются для корректировки координат оси пути в плане и профиле, а также геометрии рельсовой колеи. Таким образом, исходными данными для ЦП являются данные натурной съемки, включая пространственное положение оси пути в системе координат ITRF-2014 (WGS-84) и проектные данные, которые определяют относительные величины в плане и профиле (рихтовка, подъемка и уровень), характеризующие взаимное положение существующего (до ремонта) и проектного пространственного положения пути. Координаты оси пути $X_{(0)}$, $Y_{(0)}$, $H_{(0)}$ в системе координат ITRF-2014, являющейся основой работы САУ-3D, полученные при выполнении натурной съемки, корректируются проектными значениями рихтовки, подъемки по формулам

$$\begin{aligned}
X_{i(\text{цп})} &= X_{i(0)} + \Delta l x_i + \Delta d x_i + p x_i; \\
Y_{i(\text{цп})} &= Y_{i(0)} + \Delta l y_i + \Delta d y_i + p y_i; \\
H_{i(\text{цп})} &= H_{i(0)} + \Delta h_i + \Delta d h_i,
\end{aligned}
\tag{2.27}$$

где $X_{i(o)\text{цп}}$, $Y_{i(o)\text{цп}}$, $H_{i(o)\text{цп}}$ – проектные координаты оси пути цифрового проекта, $X_{i(o)}$, $Y_{i(o)}$, $H_{i(o)}$ – координаты оси существующего пути (до ремонта); $\Delta l x_i$, $\Delta l y_i$ – составляющие рихтовки по соответствующим координатам; h_i – проектная подъемка; $\Delta d x_i$, $\Delta d y_i$, $\Delta d h_i$ – составляющие актуализации по соответствующим координатам; $p x_i$, $p y_i$ – составляющие редукиции по соответствующим координатам.

Значения $\Delta d x_i$, $\Delta d y_i$, $\Delta d h_i$ пространственного положения оси пути, обусловленные актуализацией, рассчитываются по разности проектных и фактических габаритов приближения строений в заданных сечениях пути, например опор контактной сети по формулам

$$\begin{aligned}
\Delta d x_i &= d x_{(u)i} - d x_{(c)i}; \\
\Delta d y_i &= d y_{(u)i} - d y_{(c)i}; \\
\Delta d h_i &= d h_{(u)i} - d h_{(c)i},
\end{aligned}
\tag{2.28}$$

где $d x_{(u)i}$, $d y_{(u)i}$, $d h_{(u)i}$ – фактические габариты приближения строений, на момент изысканий; $d x_{(c)i}$, $d y_{(c)i}$, $d h_{(c)i}$ – габариты приближения строений на момент строительства.

Значение $\Delta p_i = p_{\text{цп}} - p_i$ определяется по разности проектного и фактического значения уровня.

Параметры цифрового проекта для САУ-3D и систем контроля строительной железнодорожной машины включают данные оси пути $X_{i(o)\text{цп}}$, $Y_{i(o)\text{цп}}$, $H_{i(o)\text{цп}}$ и параметры, обеспечивающие функциональные возможности на каждом этапе ремонта.

Структура данных цифрового проекта представлена в заголовке ЦП [14]

$$X_{i(o)\text{цп}}; Y_{i(o)\text{цп}}; H_{i(o)\text{цп}}; \text{distance}; p k; \text{shift_pk}; d1; d2; d3; d4.$$

Описание структуры:

$X_{i(o)цп}$ – координата оси пути X; $Y_{i(o)цп}$ – координата оси пути Y; $H_{i(o)цп}$ – высотная отметка оси пути; distance – пикет (в метрах); pk – номер пикета; shift_pk – сдвиг на пикете (ПК+); d1 – топокод (1 – признак наличия начала пикета, на карте будет отображен символ пикета); d2, d3, d4 – служебные поля для параметров контроля.

Фрагмент цифрового проекта на участок ремонта пути для САУ-3D (ЭЛБ-4С) представлен в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Фрагмент ЦП на участок ремонта для САУ-3D

$X_{i(o)цп};$	$Y_{i(o)цп};$	$H_{i(o)цп};$	$distance;$	$pk;$	$shift\ pk;$	$d1;$	$d2;$	$d3;$	$d4$
5873340.72;	559489.59;	266.72;	207799.01;	2077;	99.01;	1;	0;	0;	0
5873340.81;	559489.96;	266.72;	207799.39;	2077;	99.39;	0;	0;	0;	0
5873341.02;	559490.74;	266.72;	207800.20;	2078;	0.20;	0;	0;	0;	0
5873341.58;	559492.86;	266.72;	207802.39;	2078;	2.39;	0;	0;	0;	0
5873342.05;	559494.65;	266.72;	207804.24;	2078;	4.24;	0;	0;	0;	0
5873342.46;	559496.17;	266.72;	207805.82;	2078;	5.82;	0;	0;	0;	0
5873342.86;	559497.70;	266.72;	207807.40;	2078;	7.40;	0;	0;	0;	0
5873343.28;	559499.26;	266.72;	207809.01;	2078;	9.01;	0;	0;	0;	0
5873343.68;	559500.72;	266.72;	207810.53;	2078;	10.53;	0;	0;	0;	0

Пример формирования ЦП с использованием традиционной проектной документации приведен на рисунке 2.33.

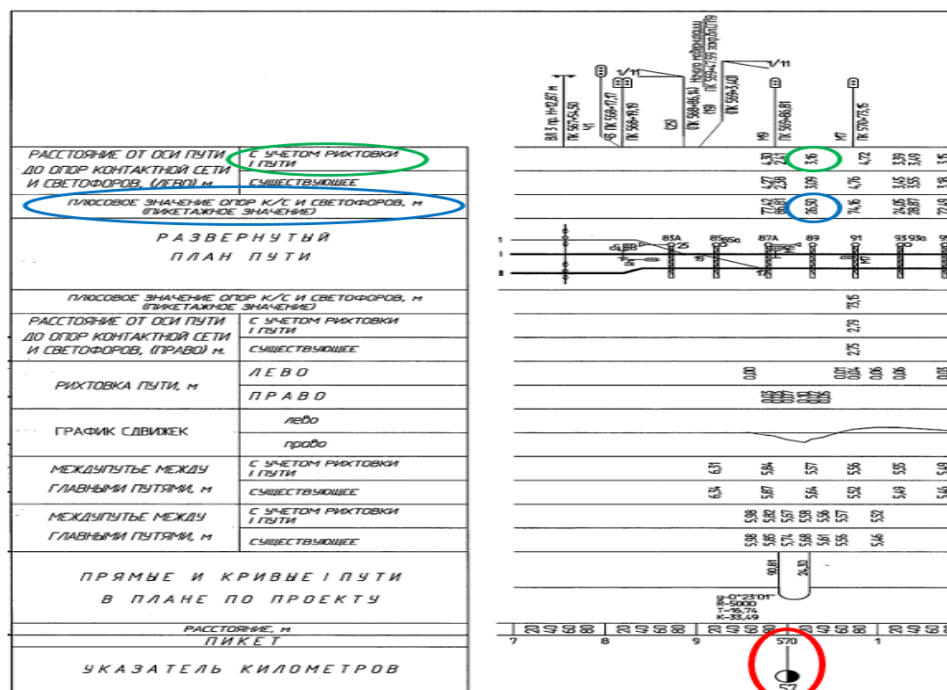


Рисунок 2.33 – Фрагмент проектной документации (эюра рихтовок) формирования исходными данными для создания цифрового проекта

На рисунке 2.33 красным цветом выделен пикетаж, синим – ПК+, зеленым – рихтовки.

С использованием проектной традиционной документации (см. рисунок 2.33) формируются базы данных БД по следующим проектным параметрам distance; pk; shift_pk; d1; d2; d3. Таким образом, реализуются проектные решения в цифровой модели пути с учетом специфики ремонта железнодорожного пути. Точность реализации проектных решений зависит от точности измерения координат приемниками ГНСС, обработки данных (фильтрация и сглаживание), соответствия цифровых данных проектным решениям, расчета сдвижек и подъемов с использованием алгоритмов САУ-3D и отработки перемещений подъемно-рихтовочным устройством (ПРУ) по управляющим сигналам на величину расчетных значений, а также влиянием упругих сил рельсовой плети при ее перемещении в уплотненном или частично уплотненном балласте. Оценка точности при реализации проектных решений с использованием САУ-3D показала, что отклонения от проектных данных в контрольных сечениях составляют 20 мм [33], что соответствует нормативным требованиям [14, 49].

Преимущества разработанной методики создания цифровых проектов для использования САУ-3D при ремонте железнодорожного пути заключаются в обеспечении приемлемой точности реализации проектных решений при ремонте железнодорожного пути и использовании линейными строительными организациями возможности создавать цифровые проекты собственными силами, при отсутствии нормативно-технической базы на проектно-изыскательские работы по созданию ЦП. Главным достоинством предлагаемой методики является возможность использования традиционных проектов на ремонт железнодорожного пути при отсутствии единых стандартов для ЦП, так как создание цифровых проектов специализированными проектными организациями ОАО «РЖД» в настоящее время не выполняется из-за отсутствия требований к структуре и форматам данных, а также ограничений, связанных с разработкой и внедрением нормативной базы применения САУ-3D. Таким образом, разработанная методика, алгоритмы и программное обеспечение позволяют реализовать проектные решения с использованием САУ-3D с точностью, соответствующей нормативным требованиям и возможностью создания ЦП в путевых машинных станциях (ПМС) при сохранении качества проектных решений традиционных проектов на ремонт железнодорожного пути [40].

Для реализации методики создания цифровых проектов для САУ-3D и для других систем разработан программный комплекс (ПК) «Проект». ПК позволяет на основе исходной (геопространственные данные, проектные данные на участок ремонта и т. д.) информации создавать цифровой проект, используемый в САУ-3D, например для постановки пути в проектное положение. Внешний вид (диалоговое окно) построения проектного пути, создания ЦП отображен на рисунке 2.34.

Основная входная информация для программы представлена в виде двух наборов данных (двух файлов): файла координат оси пути и файла, содержащего проектные данные (состоящий из данных, полученных из эюры рихтовок и проектных высот из продольного профиля) для каждого заданного пикетного положения в текстовом формате.

Файл оси пути имеет следующий порядок представления информации: текстовая метка; b; l; h, файл, содержащий координаты оси пути пространственное положение (широта, долгота, высота) в системе координат ITRF-2014 [40].

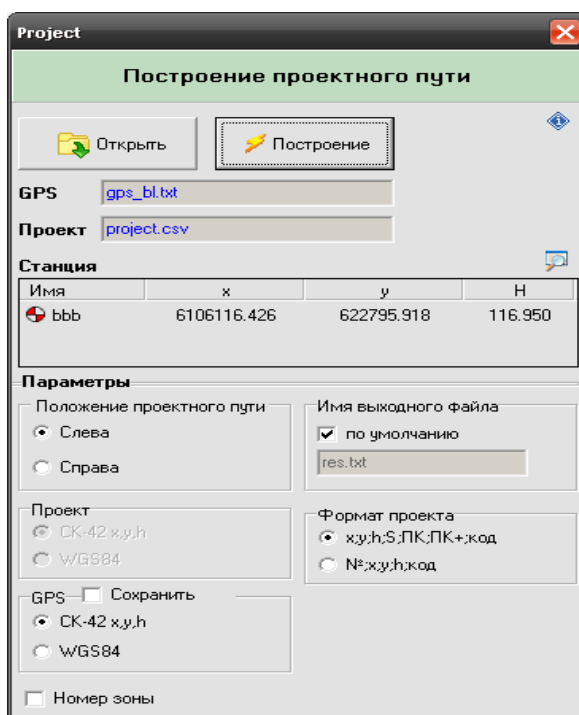


Рисунок 2.34 – Главное диалоговое окно программы «Проект»

Второй файл (проектные данные) имеет следующий формат: Километр; Пикет; Пикет+; отклонение (рихтовка); высота (подъемка).

Фрагмент файла, содержащего проектные данные, представлен на рисунке 2.35.

```

basa; 6014227.94; 651306.77; 110.44;
a0;55.1544802;82.9825854;168.271;
a1;55.1544802;82.9825854;168.268;
a2;55.1544802;82.9825854;168.261;

```

Рисунок 2.35 – Фрагмент файла, содержащего проектные данные

В качестве примера создания цифрового проекта рассмотрим последовательность работы и представления результатов для работы САУ-3D при постановке пути в проектное положение.

Порядок работы с программным комплексом «Проект» при создании цифрового проекта:

– запускаем программу «Проект» в соответствии с Руководством по эксплуатации (РЭ) ПК;

- загружаем файл ЦМП путем нажатия кнопки «Открыть»;
- выбираем пункт «Открыть текстовый файл съемки (b, l, ITRF-2014)», рисунок 2.36;

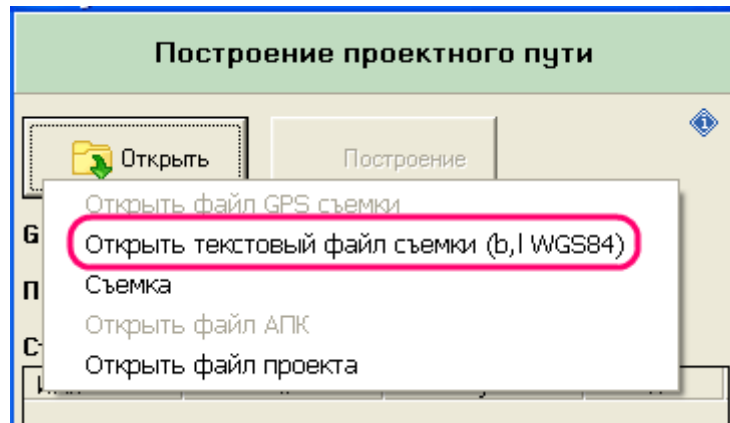


Рисунок 2.36 – Загрузка файла опорного пути

- загружаем файл, содержащий проектные данные (из эюры рихтовок и продольного профиля), загрузка файла осуществляется путем нажатия кнопки «Открыть»;
- выбираем пункт «Открыть файл проекта» (рисунок 2.37);

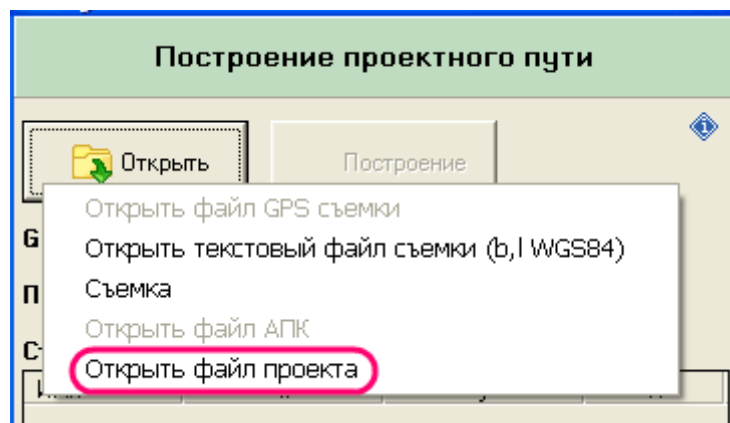


Рисунок 2.37 – Загрузка файла проекта

- выбор параметров расчета и построение проектного пути. Построение проектного пути производится при нажатии кнопки «Построение» (рисунок 2.38).

Для корректного построения цифрового проекта необходимо выбрать и/или установить основные параметры расчета:

- положение проектного пути – выбор направления движения прямо (по ходу пикетажа) или обратно, т. е. обозначение положительного и отрицательного отклонений от проектного положения оси пути;
- добавить номер зоны – добавляется номер зоны выходного файла;
- имя файла, содержащего ЦП (res.txt);
- формат выходного файла (для передачи данных в программу постановки пути в проектное положение САУ, САУ-2D, САУ-3D;
- для постановки пути в проектное положение с использованием САУ-3D используется формат данных «x; y; h; S; ПК; ПК+; код»).

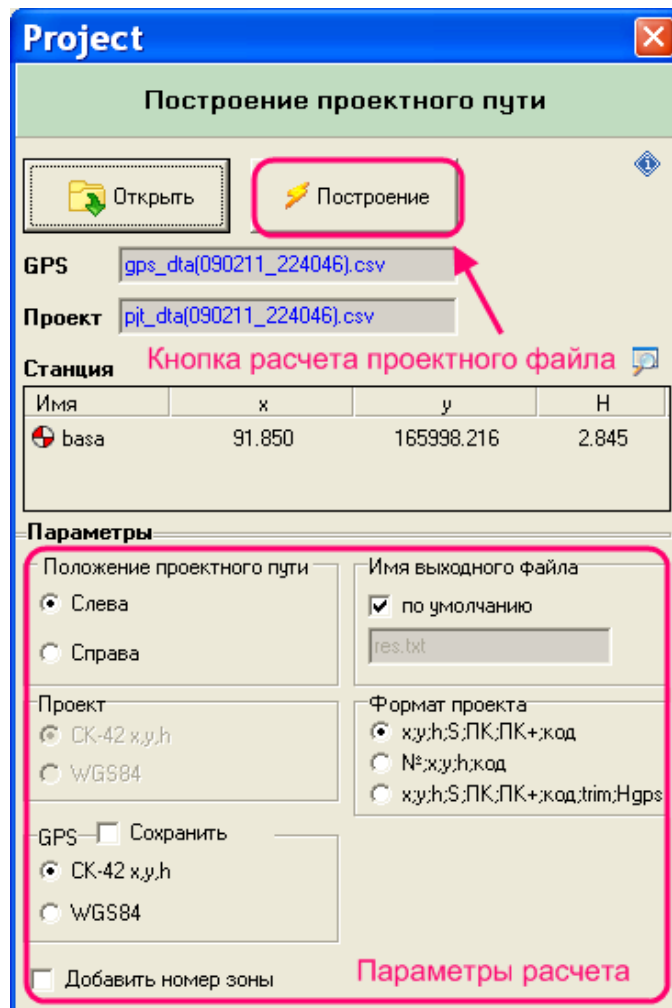


Рисунок 2.38 – Ввод параметров расчета и построение проектного файла

Файл цифрового проекта содержит данные, представленные в следующем формате (рисунок 2.39):

x; y; h; длина пути; пикет; длина пути с учетом пикета; топокод (x; y; h – местоположение в местной системе координат (МСК)).

```
6116263.147;626416.44;204.057;0;0;0;1
6116263.16;626416.029;204.051;0.54;0;0.54;0
6116263.179;626415.42;204.04;1.15;0;1.15;0
6116263.251;626414.7;204.045;1.87;0;1.87;0
6116263.283;626413.996;204.021;2.58;0;2.58;0
6116263.349;626413.217;204.022;3.36;0;3.36;0
6116263.405;626412.342;204.004;4.23;0;4.23;0
6116263.453;626411.413;203.981;5.16;0;5.16;0
```

Рисунок 2.39 – Файл, содержащий построенный проектный путь

Выходной файл содержит проектные данные для экспорта в программу выправки пути.

Таким образом, с использованием разработанной методики и программного обеспечения создается цифровой проект, который используется в САУ-3D при проведении ремонта железных дорог для постановки пути в проектное положение, аналогично создаются проекты для вырезки балласта, контроля уплотнения балласта и т. д.

3 РАЗРАБОТКА СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТЕХНИКОЙ НА ОСНОВЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

3.1 Общие требования к системам автоматизированного управления САУ на базе ГНСС для выправки пути

Требования к функциональным возможностям САУ по выправке пути:

- постановка железнодорожного пути в проектное положение в плане, профиле и по уровню в диапазоне соответственно 500, 300, 300 мм;
- возможность работы в ручном и автоматизированном режимах;
- текущий контроль габаритов приближения строений;
- контроль работы САУ с автоматической регистрацией отказов, включая спутниковую аппаратуру, по радиоканалу, GPRS и т. д. при передаче дифференциальных поправок, работы датчиков;
- наличие видеоконтроля за работой ПРУ;
- визуальный контроль о текущем местоположении (ЭЛБ, ВПО, Доуматик) в линейной системе координат (КМ + ПК + М);
- текущие величины сдвижки, подъемки и по уровню;
- автоматическая запись в БД исходных результатов выправки (постановки в проектное положение) железнодорожного пути;
- время готовности к работе не более 15 минут;
- возможность калибровки и настройки САУ в полевых условиях с использованием шаблонов.

Требования к точности постановки железнодорожного пути в проектное положение.

Средняя квадратическая погрешность постановки пути в проектное положение не должна превышать:

- в плане – 2 см;
- в профиле (высотная отметка) – 3 см;

- по уровню – 1 см;
- средняя квадратическая погрешность определения местоположения в любой точке участка ремонта не должна превышать в линейной системе координат (КМ + ПК + М) 0,10 м для САУ на базе ГНСС с дифференцированной коррекцией и 0,5 м – с системой автономного позиционирования;
- средняя квадратическая погрешность определения габаритов приближения строений не должна превышать 3 см;
- оценка точности при калибровке и настройке САУ должна выполняться на эталонном участке длиной 100–200 м с опорными точками, установленными через каждые 20 м;
- средняя квадратическая погрешность определения оси пути относительно опорных точек не должна превышать 5 мм;
- расчетный период контрольных тестирований ПО и датчиков для оценки качества работы САУ не более 14 дней;
- оценка качества выполняется по рихтовке, подъемке и уровню в поле с использованием шаблонов в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации САУ.

Требования к обеспечению безопасности ремонтных работ с использованием САУ (ЭЛБ, ВПО, Доуматик) при постановке пути в проектное положение

САУ на базе ГНСС, в основе которого лежит схема сравнения проектного и фактического пространственного положения оси пути, является автономным измерительным средством и при кратковременной «потере» спутников ГНСС, связи с референц-станциями, ухудшением радиовидимости путевые машины становятся неуправляемыми (ошибки в расчетах по рихтовке, подъемке) и, в конечном итоге, не гарантированы нарушения габарита приближения строений. Для исключения аварийных ситуаций САУ на базе ГНСС должна иметь:

- звуковой сигнал о нештатной ситуации;
- визуальное предупреждение о нештатности режима работы САУ;
- видеоконтроль работы ПРУ и габаритов приближения;

– САУ на базе ГНСС должна иметь систему контроля габаритов приближения строения независимо от ГНСС с визуальным контролем или звуковым предупреждением о нарушении габарита приближения строений.

Требования к функциональным возможностям САУ по вырезке (очистке) балласта:

– диапазон измерения глубины вырезки балласта с контролем по правому и левому краям шпалы отдельно – 1 м;

– диапазон измерения уклона ± 100 ‰;

– диапазон измерения текущего местоположения ЩОМ в линейной системе координат (КМ + ПК + М) – 100 км;

– текущее отображение проектных величин вырезки (очистки) балласта с шагом – 1 м;

– запись в БД САУ текущих результатов (глубины вырезки, уклоны) работы ЩОМ;

– время готовности к работе – не более 10 минут;

– возможность калибровки САУ в полевых условиях с использованием шаблонов или нивелира.

Требования к точности САУ ЩОМ на базе ГНСС:

– средняя квадратическая погрешность глубины вырезки балласта не должна превышать 1,5 см;

– средняя квадратическая погрешность поперечного уклона вырезки – 2 ‰.

– средняя квадратическая погрешность определения местоположения в любой точке участка ремонта не должна превышать в линейной системе координат (КМ + ПК + М) ± 1 м;

– относительная средняя квадратическая погрешность определения пройденного расстояния – не более 1/1 000;

– среднеквадратическая погрешность определения габаритов приближения строений – не более 2 см;

- средняя квадратическая погрешность глубины вырезки при калибровке в поле по шаблону не должна превышать 1 см;
- расчетный период между калибровками, в процессе работы, не более 15 дней.

Классификация САУ и систем контроля параметров строительных машин предлагается выполнить по следующим критериям.

По принципу работы:

- системы, основанные на сравнении высокоточных проектных и фактических координат;
- системы, основанные на сравнении проектных и фактических геометрических параметров;
- гибридные системы управления.

По уровню управления:

- системы индикаторного типа,
- системы автоматизированного управления (САУ, САУ-2D, САУ-3D).

По функциональному назначению:

- системы постановки пути в проектное положение;
- системы для планировки земляного полотна и балласта;
- системы контроля геометрических параметров в технологических процессах.

Требования разработаны для САУ, в основе которых лежит ГНСС, контрольные (дублирующие) измерительные системы по точности измерений не должны превышать допуски, указанные в требованиях.

Создание систем автоматизированного управления (САУ) для строительных железнодорожных машин – один из важнейших этапов автоматизации геодезического обеспечения строительных процессов. САУ обеспечивают (по геодезическим данным) расчет пространственного положения рабочих органов строительной техники, включая координаты, пространственную ориентацию, геометрические параметры.

Впервые в транспортном строительстве САУ нашли применение при строительстве автомобильных дорог. При этом для работы строительного-дорожных

машин (СДМ) выполняются обследование и диагностика автомобильных дорог, создаются цифровые проекты [37, 44, 53, 83, 91, 92, 102, 106, 127, 128]. Полученные данные используются для оценки состояния автомобильных дорог, создания цифровых проектов для управления рабочими органами (лопата, ковш) строительных машин. СДМ оборудуются системами управления, которые классифицируются в зависимости от функционала на системы индикаторного типа и автоматизированные. Системы индикаторного типа обеспечивают машиниста информацией об отклонении рабочих органов от проектных значений по одному или нескольким параметрам. Автоматизированные системы не только информируют машиниста об отклонениях от проекта, но и управляют в автоматизированном режиме рабочими органами, обеспечивая проектное положение для конструкций и соответствие цифровых моделей поверхностей проектным значениям по земле, балласту, дорожным одеждам. Автогрейдерная техника, бульдозеры, экскаваторы, уплотнители оборудуются импортными системами управления и широко применяются крупными строительными организациями. Основными разработчиками САУ являются Leica, Trimble, Topcon [177, 178]. Принцип работы САУ строительной техникой заключается в реализации цифровых проектов на участок строительства (ремонта) путем сравнения фактических и проектных координат в САУ-3D и высотных отметок или других параметров в системах управления индикаторного типа. Основным отличием САУ железнодорожных путевых и строительных машин являются конструктивные особенности, функционал рабочих органов, значительные различия в точности взаимного и пространственного положения элементов пути, жесткие требования к регламенту по безопасности движения. Так, например, баровая цепь (рабочий орган щебнеочистительной машины) находится под слоем балласта, подъемно-рихтовочное устройство электробалластера находится под рамой машины, что полностью закрывает радиовидимость для спутниковых приемников, поэтому для железнодорожной техники решения, аналогичные тем, которые применяются для автотракторной техники, нельзя реализовать. Особенности и специфика железнодорожных строительных машин, предлагаемых автором

диссертационной работы, лежат в основе теоретических построений принципиальной и кинематических схем реализации САУ на базе ГНСС [175]. Рассмотрим технические и методические решения для основных этапов ремонта.

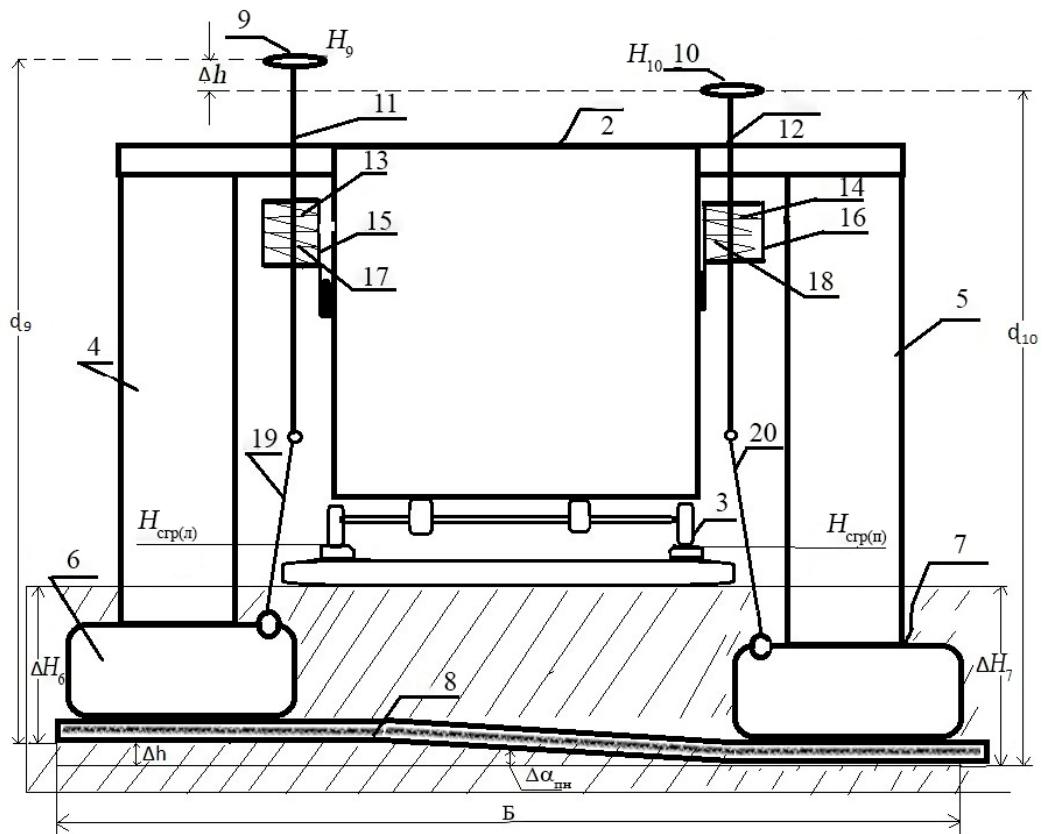
3.2 Разработка системы контроля геометрических параметров вырезки и очистки балласта щебнеочистительными машинами

Контроль геометрических параметров вырезки и очистки балласта при ремонте – одна из важнейших задач обеспечения высокого качества работ. В настоящее время на щебнеочистительных машинах установлены штатные системы контроля, в основе которых лежат относительные методы, позволяющие измерять глубину вырезки и поперечные уклоны по заглоблению баровой цепи относительно головки рельса. Такой подход (привязка к рельсовым нитям) не обеспечивает нормативные требования, качество работ и исполнение проектных решений, так как за временный промежуток от начала изысканий до ремонта пути высотные отметки рельсовых нитей изменяются в пределах до 5 см. Кроме того, перед началом работ рельсо-шпальную решетку в соответствии с технологией работ для обеспечения устойчивой работы ЩОМ с помощью специальных путевых машин (ВПО) поднимают на 5–10 см относительно существующего высотного положения. Это приводит к ошибкам при определении глубины вырезки и уклонов на величины, не соответствующие нормативным требованиям. Не подвержены влиянию приведенных факторов системы управления, в основе которых лежат геодезические методы (геометрическое нивелирование), которые используются для контроля качества работы ЩОМ. Применяются для этих целей лазерные построители плоскости, тахеометры, нивелиры, шаблоны, но проблема заключается в том, что эта работа трудоемкая и с учетом того, что вырезка выполняется непрерывно по 20–60 часов на закрытом перегоне со сменой бригад машинистов ЩОМ, геодезистам для обеспечения 100-процентного контроля необходимо также иметь несколько бригад. При этом в штате операционного контроля состоит только один геодезист или дорожный мастер. Таким образом контроль может осуществляться только выборочно, на отдельных участках ремонта.

Автором разработано несколько различных типов приборов контроля процесса вырезки и очистки балласта, которые обеспечивают объективные данные контроля геометрических параметров: система автоматизированного управления САУ [60], в основе которой лежат ГНСС и датчики контроля углового положения рабочих агрегатов (конвейеров), и система автоматизированного управления строительными процессами, в основе которой лежит гидростатическая система контроля превышений рабочих органов относительно фазовых центров спутниковых антенн [68]. Данные системы внедрены на ЗСЖД и в 2016 г. три САУ установлены на машины RM-2002 и ЩОМ-1200. Опыт показал, что системы имеют сложный механизм настроек и калибровок датчиков и самое главное – периодически (через 10 дней) эти настройки и калибровки необходимо контролировать. На основе опыта эксплуатации САУ в 2015–2017 гг. разработана система контроля вырезки балласта [69], существенно отличающаяся уменьшением уровня трудоемкости при настройках и калибровке, более высокой точностью измерений и надежности данных. Принципиальная схема контроля вырезки балласта приведена на рисунке 3.1.

Сущность СКВБ заключается в измерении высотных отметок с использованием двухантенной спутниковой системы позиционирования, каждая из антенн связана кинематически с баровой цепью (рабочие органы ЩОМ, находящиеся под слоем щебня на глубине 70 см ниже головки рельса) тросо-хордовым устройством с возвратно-пружинным механизмом, который обеспечивает при заглублении баровой цепи перемещение в вертикальной плоскости антенн на величину заглубления в вертикальной плоскости (см. рисунок 3.1), что позволяет без каких-либо дополнительных систем и устройств определять глубину вырезки балласта и уклоны, непосредственно используя пространственное положение спутниковых антенн. Учитывая специфику ЩОМ (деформации рамы, поперечные и продольные уклоны машины, независимые перемещения конвейеров относительно рамы машины), данное решение позволило максимально эффективно решить задачу контроля параметров вырезки балласта [68, 96].

Рассмотрим принцип работы, устройство и методику работы СКУБ при вырезке загрязненного балласта щебнеочистительными машинами типа ЩОМ 1200, RM 2002.



- 1 – щебнеочистительная машина; 2 – рама; 3 – рельсо-шпальная решетка; 4, 5 – конвейеры; 6, 7 – плуг; 8 – баровая цепь; 9, 10 – спутниковые антенны ГНСС;
11, 12 – направляющие; 13, 14 – устройство демпфирования (УД); 15, 16 – корпус УД, жестко связанный с рамой; 17, 18 – пружины; 19, 20 – тросы

Рисунок 3.1 – Принципиальная схема контроля геометрических параметров вырезки балласта ЩОМ

На рисунке 3.2 представлен общий вид щебнеочистительной машины (RM 2002), оборудованной САУ, на рисунках 3.3, 3.4 показана кинематическая схема работы САУ на базе ГНСС, а на рисунке 3.5 приведена структурная схема, включающая основные блоки САУ.

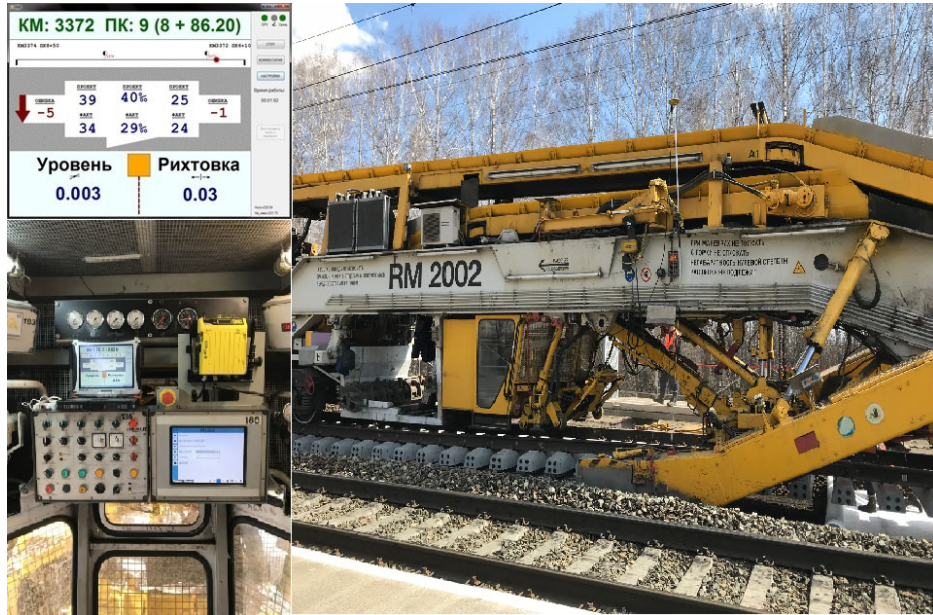


Рисунок 3.2 – Общий вид щебнеочистительной машины, оборудованной САУ на базе ГНСС, окно оператора

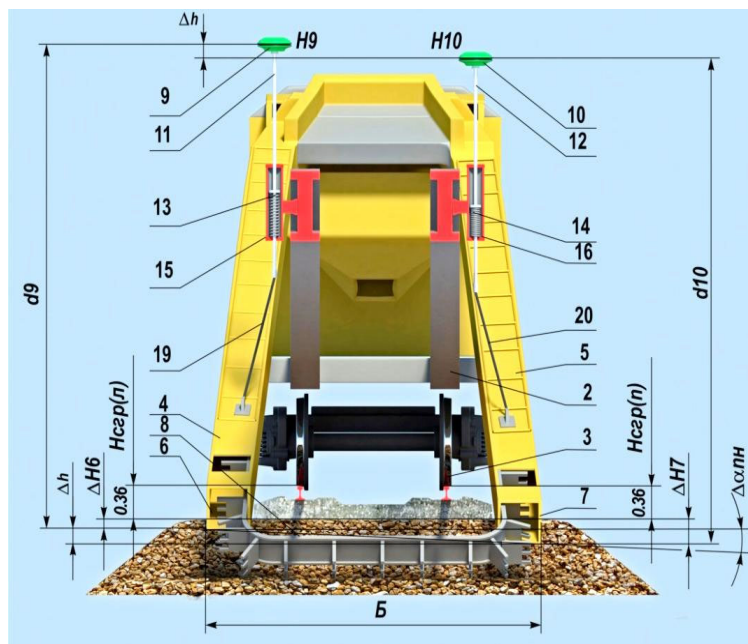


Рисунок 3.3 – Кинематическая схема САУ на базе ГНСС щебнеочистительной машины

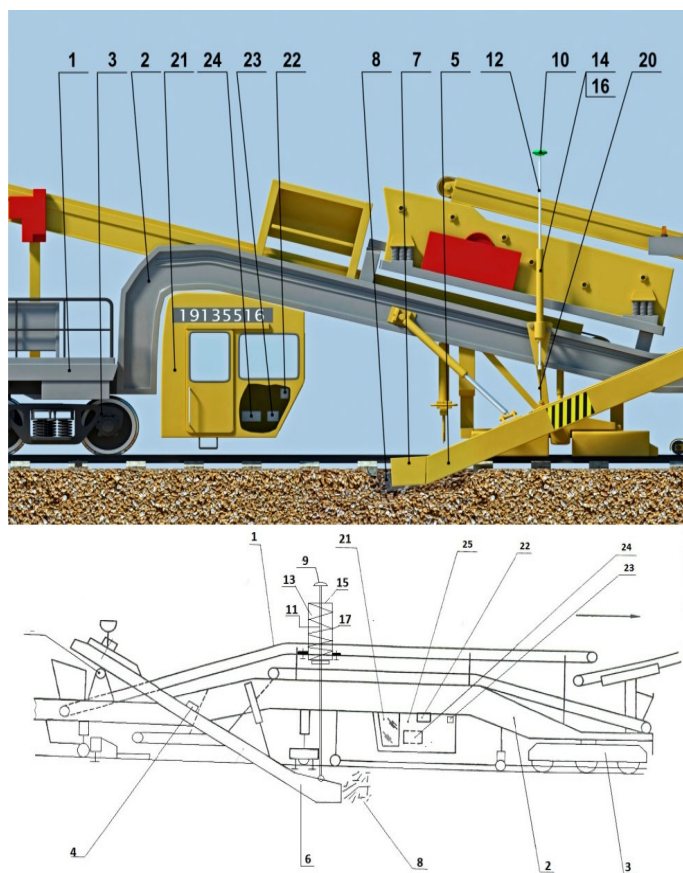


Рисунок 3.4 – Кинематическая схема щебнеочистительной машины, оснащенной САУ на базе ГНСС

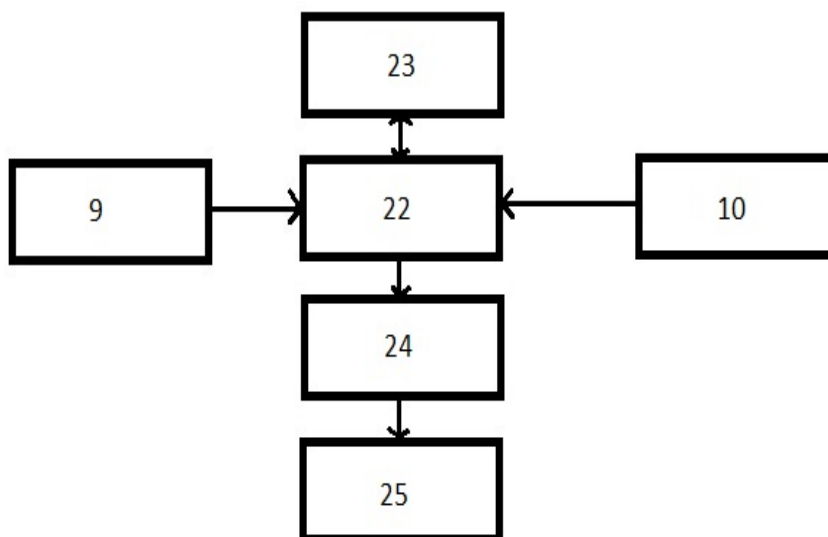


Рисунок 3.5 – Структурная схема, включающая основные блоки САУ

Щебнеочистительная машина 1 [176] содержит раму 2, опирающуюся на ходовые механизмы 3. На раме 2 закреплены конвейеры 4 и 5 с плугами 6 и 7, между которыми закреплена баровая цепь 8. Над плугами 6, 7 расположены первая и вторая спутниковые антенны 9, 10, соответственно, установленные на штангах 11, 12. Штанги 11, 12 в средней части снабжены пружинно-возвратными механизмами 13, 14. Пружинно-возвратные механизмы жестко прикреплены к раме 2 щебнеочистительной машины, верхние концы пружин закреплены на соответствующей штанге 11, 12, а противоположные – упираются в нижний торец соответствующего корпуса 15, 16.

Каждый из указанных пружинно-возвратных механизмов 13, 14 жестко закреплен, например, с помощью магнитов или струбцин (не показано) на раме 2. Штанги 11 и 12 в своей нижней части связаны гибкими тросами 19, 20 с соответствующими плугами 6, 7 щебнеочистительной машины. Гибкие тросы 19, 20 на концах имеют специальные зажимы для крепления к плугам 6, 7 и штангам 11, 12.

Антенны 9 и 10 связаны с расположенным в рабочей кабине 21 щебнеочистительной машины 1 спутниковым приемником 22, связанным также с модемом 23, через который осуществляется связь со спутниковыми референц-сетями или временными базовыми станциями (не показано).

Выход спутникового приёмника 22 связан с блоком 24 управления, представляющего компьютер, который выполняет расчеты и формирует соответствующий управляющий сигнал, поступающий на устройство управления 25 приводом конвейеров 4 и 5 с плугами 6 и 7.

В качестве спутникового приемника 22 ГНСС использован спутниковый геодезический приемник типа Leica Icon 80.

Длина цилиндрических пружин сжатия 17, 18 должна соответствовать возможному диапазону перемещения по высоте спутниковых антенн 9, 10, значение которого должно обеспечивать заданный (известный) диапазон вырезки балласта, и, как правило, составляет 0,5–1 м.

Щебнеочистительная машина работает следующим образом.

В блок управления 24 (портативный компьютер) до начала работ экспортируются проектные данные (цифровой проект) соответствующей структуры и форматов, включающие проектные значения: глубину вырезки, продольные и поперечные уклоны и проектные координаты (X, Y, H) для привязки баровой цепи 8.

В процессе работы спутниковые антенны 9 и 10 принимают сигналы с навигационных спутников ГНСС и по каналам связи передают данные в спутниковый приемник 22, который также связан с модемом 23, принимающим дифференцированные поправки от базовых спутниковых станций референц-сети или других систем дифференциальной коррекции с известными высотными отметками.

Для вычисления текущих координат X, Y, H местоположения баровой цепи 8 спутниковый приемник 22 обрабатывает данные с антенн 9, 10 и модема 23.

В ходе движения ЩОМ 1 по очищаемому рельсовому пути при изменении глубины щебня изменяется высотное положение плугов 6 и 7, жестко связанных тросами 19, 20 с установленными, соответственно, на штангах 11 и 12 антеннами 9 и 10. При этом указанные первая и вторая антенны 9, 10 синхронно с изменением высотного положения плугов 6 и 7 и, соответственно, баровой цепи 8 перемещаются по высоте на величины ΔH_6 и ΔH_7 (см. рисунок 3.3). При подъеме плугов 6 и 7 вверх пружины 17, 18 пружинно-возвратных механизмов 15, 16 сжимаются и, наоборот, при заглублении плугов 6 и 7 пружины 17, 18 растягиваются, обеспечивая, таким образом, натяжение тросов 19, 20 в независимости от перемещения плугов 6 и 7 вверх или вниз. Это обеспечивает соответствие величины перемещения антенн 9 и 10 на ту же величину, на которую перемещаются по высоте плуги 6, 7 в независимости от вертикальных перемещений положения рамы 2 в диапазоне длин пружин 13, 14, что обеспечивает определение глубины вырезки с более высокой точностью. Данное решение значительно упрощает по отношению к применению сервоприводов, шаговых двигателей с системой обратной связи решение задачи контроля высотного положения рабочих органов строительных железнодорожных машин.

Для пересчета высотных отметок с антенн 9, 10 на низ баровой цепи 8 предварительно до начала работ измеряют высоты d_9 и d_{10} антенн 9, 10 до низа баровой цепи 8, значения которых экспортируются в блок 24 управления (см. рисунок 3.4).

При перемещении ЩОМ 1 по рельсовому пути текущие координаты с антенн 9 и 10 одновременно с дифференциальными поправками от референц-сети с использованием модема 23 поступают в приемник 22, с которого текущие координаты местоположения (баровой цепи) соответственно поступают в блок 24 управления. В блоке 24 управления вычисляются необходимые значения глубины вырезки для каждого из плугов 6 и 7 конвейеров 4 и 5 в соответствии с выражениями:

$$\Delta H_6 = (H_{\text{сгр(л)}} - 0,36) - (H_9 - d_9); \quad (3.1)$$

$$\Delta H_7 = (H_{\text{сгр(п)}} - 0,36) - (H_{10} - d_{10}), \quad (3.2)$$

где ΔH_6 – глубина вырезки по плугу 6; ΔH_7 – глубина вырезки по плугу 7;

H_9, H_{10} – высотные отметки антенн 9, 10, соответственно;

d_9 и d_{10} – высота антенн 9, 10, соответственно, относительно низа баровой цепи 8;

$H_{\text{сгр(п)}}, H_{\text{сгр(л)}}$ – высотные отметки существующей головки рельса соответственно правой и левой рельсовой нитки;

0,36 – высота головки рельса относительно низа рельсо-шпальной решетки.

Значения проектной глубины вырезки соответственно для левого и правого плугов 6 и 7 (конвейеров 4 и 5), $\Delta H_{\text{пр6}}$ и $\Delta H_{\text{пр7}}$ указываются в проекте на выполнение работ.

Отклонение от проектных значений вычисляется по формулам:

$$\delta_6 = \Delta H_{6\text{пр}} - \Delta H_6; \quad (3.3)$$

$$\delta_7 = \Delta H_{7\text{пр}} - \Delta H_7. \quad (3.4)$$

Поперечный уклон вырезки рассчитывается по формуле

$$\alpha_{\text{пн}} = \frac{\Delta H_6 - \Delta H_7}{B} \cdot \rho'', \quad (3.5)$$

где $\alpha_{\text{пн}}$ – угол поперечного наклона баровой цепи 8;

B – длина баровой цепи 8;

ρ – 206 265.

Разность значений глубины вырезки соответствует превышению Δh между антеннами 9, 10 и плугами 6 и 7, что и требуется в реализации данного технического решения

$$\Delta h = \Delta H_6 - \Delta H_7. \quad (3.6)$$

Вычисленные данные с блока 24 поступают в блок 25 для управления глубиной вырезки балласта плугами 6, 7 по левому и правому конвейерам 4, 5.

Таким образом, жесткая связь антенн 9 и 10 с соответствующими плугами 6 и 7 и соответственно с баровой цепью 8, находящейся на глубине, например 50 см ниже головки рельса, обеспечивает возможность контролировать перемещение баровой цепи 8 в вертикальной плоскости по высоте и поперечному уклону в заданном диапазоне.

Спутниковые антенны 9 и 10 для обеспечения приема данных с навигационных спутников находятся над рамой 2 щебнеочистительной машины 1, а плуги 6 и 7 и баровая цепь 8 находятся ниже спутниковых антенн на 6 м. Можно констатировать, что техническое решение позволило выполнить задачу контроля глубины вырезки и очистки балласта на железных дорогах с использованием ГНСС.

Для щебнеочистительных машин с системами контроля индикаторного типа и САУ-3D создается проект в структурах и форматах для конкретного типа САУ.

Цифровой проект для САУ-3D щебнеочистительной машины ЩОМ-1200 на участок работ должен иметь следующий вид (рисунок 3.6) [14].

```
x_MCK;y_MCK;h_MCK;lat_wgs84;long_wgs84;пикет;возвышение;вырез
ка;код
6049807.43;416269.27;98.79;54.5666;73.7046;57000.73;0.00;0.20;PK570
6049737.27;416340.88;98.83;54.5660;73.7057;57100.98;0.00;0.20;PK571
6049667.61;416412.58;98.88;54.5654;73.7068;57200.95;0.00;0.20;PK572
6049598.52;416483.69;98.92;54.5647;73.7080;57300.09;0.00;0.20;PK573
6049528.26;416555.58;98.96;54.5641;73.7091;57400.61;0.00;0.20;PK574
```

Рисунок 3.6 – Цифровой проект (ЦП) для САУ-3D ЩОМ 1200

В первой строке формата указан тип и порядок представления используемых данных: «x_МСК; y_МСК; h_МСК» – координаты пикетных точек, «lat_wgs84; long_wgs84» – широта, долгота в системе координат WGS84, «пикет» – пикетное значение точки пути, «возвышение» – проектная высота, «вырезка» – проектная толщина щебня, «код» – характерное имя данной точки.

Исследования системы контроля вырезки балласта СКВБ показали существенные преимущества по отношению к существующим технико-технологическим решениям. При проведении исследований СКУБ по разности высотных отметок на хорде 30 м (полученных с шагом 1 м) удалось получить амплитуды неровностей при вырезке балласта с использованием штатного оборудования щебнеочистительных машин, которые влияют на качество ремонта, например при уплотнении балласта. Определение амплитуды неровности по высотным отметкам в профиле после вырезки или очистки балласта выполняется по высотным отметкам (рисунок 3.7)



Рисунок 3.7 – Основная площадка после вырезки балласта

На рисунке 3.8 показана схема определения амплитуды неровности основной площадки

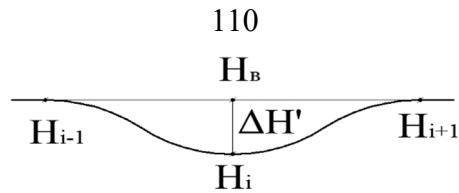


Рисунок 3.8 – Схема определения неровности основной площадки

Амплитуда δ неровности пути в вертикальной плоскости рассчитывается по трем высотным отметкам (см. рисунок 3.8) по формуле [35, 88]

$$\delta = \frac{H_{i-1} + H_{i+1}}{2} - H_i. \quad (3.7)$$

Качество уплотнения балласта из-за отклонения от проектной глубины вырезки влияет меньше, чем неровности, так как в комплексе с другими факторами амплитуда неровности влияет на равномерность уплотнения и в процессе эксплуатации железнодорожного пути происходит копирование неровностей на рельсовую колею. На графике (рисунок 3.9) показан характерный пример неровностей на участке вырезки балласта (перегон Цаплино – Боровиха).

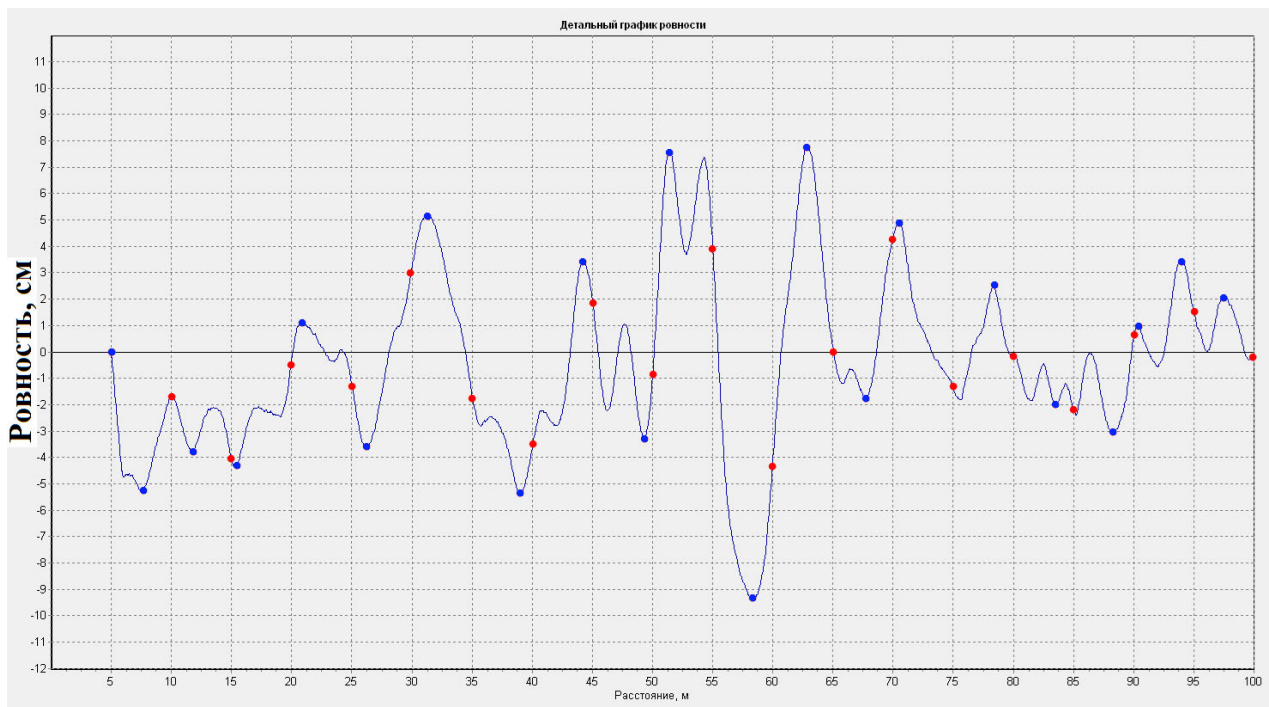


Рисунок 3.9 – График неровности основной площадки после вырезки балласта ЩОМ на участке Курундус – Падунская

Исследования СКВБ показали не только широкие функциональные возможности, но и высокие технические данные, включая точность определения геометрических параметров. Точность (СКО) определения глубины вырезки балласта по четырем контрольным участкам (всего 32 точки в сечении опор контактной сети) составила 1 см, а уклон – 0,002 [14, 34, 35].

3.3 Разработка системы контроля уплотнения балласта

Геодезическое обеспечение при уплотнении рыхлого балласта заключается в контроле осадки по высотным отметкам после уплотнения и расчете коэффициента уплотнения.

Качество уплотнения балласта при строительстве и капитальном ремонте железных дорог зависит от десятков различных факторов, которые частично регламентированы технологическими процессами. К этим факторам относятся качество строительных материалов, технологические требования и геометрические параметры. Основной проблемой контроля качества уплотнения балласта на железных дорогах является отсутствие приборов, методики контроля и системы оценки качества, а также нормативных требований к контролю качества уплотнения балласта [35]. Данная проблема актуальна и для системы контроля качества при строительстве автомобильных дорог. Поэтому степень уплотнения обеспечивается правильным подбором и количеством уплотнительной техники. Используются регламенты, включающие, в том числе, количество проходов уплотнителей по участку строительства и рекомендации по уплотнению с использованием динамических стабилизаторов пути, выправочно-подбивочно-отделочных и других машин.

Разработаны десятки различных рекомендаций по уплотнению балласта, все они являются теорией с моделированными или расчетными процессами. Главная проблема заключается в том, что набор соответствующих машин, контроль характеристик их работы и технологический режим не гарантируют качественное

уплотнение балласта. Для качественного уплотнения балласта необходим контроль непосредственно коэффициента уплотнения, изменения объема балласта и других параметров, объективно характеризующих степень уплотнения, вне зависимости от технологии и набора машин. Поэтому многие исследователи на протяжении 20 лет предлагают оснащать машины для уплотнения балласта приборами контроля [57].

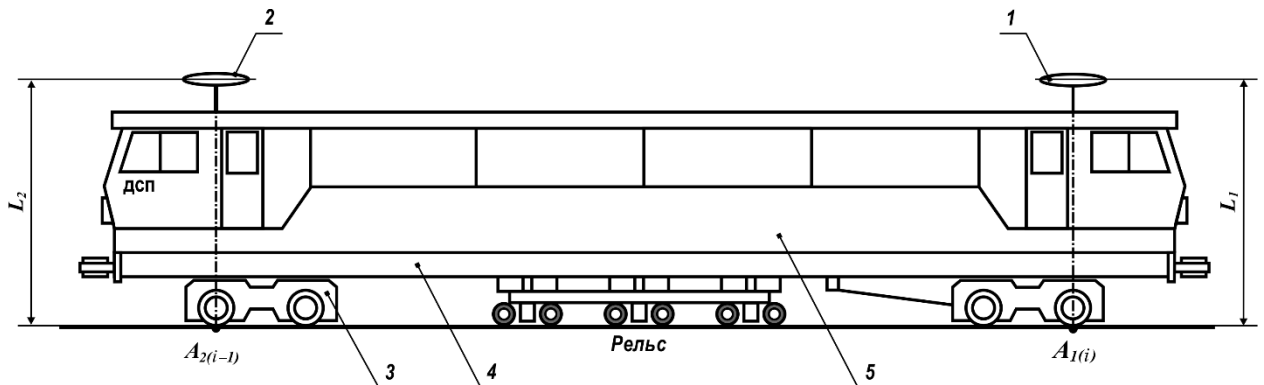
Несмотря на широкий спектр методов исследований уплотнения балласта: от электромагнитных [95, 123] до ультразвуковых и радиоактивных измерений – приборы и системы контроля так и не созданы до настоящего времени. Основным методом для теоретических расчетов на железной дороге является измерение относительной осадки до уплотнения и после уплотнения (разности высотных отметок при послойном уплотнении [57] с использованием геодезических методов). Геодезические традиционные методы при высокой (5–10 м) дискретности съемки являются трудоемкими, при дискретности 50–100 м имеют низкое качество оценки и достоверности результатов уплотнения, при этом высотные отметки не в полной мере отражают степень уплотнения, наиболее часто используют остаточные деформации для контроля качества уплотнения. Зарубежные методы основаны на использовании штампов, которые являются еще более трудоемкими с более низкой степенью достоверности оценки результатов уплотнения. Основной задачей при оценке качества уплотнения является определение коэффициента уплотнения балласта и величины его изменения на протяжении всего участка ремонта. Коэффициент уплотнения E_y определяется по формуле

$$E_y = \frac{p}{d}, \quad (3.8)$$

где d – осадка балласта (разность высотных отметок до и после уплотнения);
 p – толщина слоя балласта.

Изменение коэффициента уплотнения балласта E_y , зависит от многих факторов, влияние которых необходимо знать и учитывать.

Предлагаемый способ и устройство [81] основаны на измерении осадки и остаточных деформаций в процессе уплотнения в динамическом режиме. Сущность технического решения состоит в синхронном измерении глобальными навигационными спутниковыми системами в процессе уплотнения слоя балласта текущих пространственных координат двумя спутниковыми антеннами, одна из которых расположена в передней части машины, находящейся в неуплотненной зоне участка ремонтируемого пути, а вторая – в задней (хвостовой) части машины, находящейся в зоне уплотнения. На рисунке 3.10 показан общий вид динамического стабилизатора пути для уплотнения балластной призмы.



1, 2 – спутниковые антенны ГНСС; 3 – ходовые колеса; 4 – несущая рама; 5 – ДСП;

L_1 и L_2 – высота указанных антенн 1 и 2 относительно головки рельса

Рисунок 3.10 – Общий вид динамического стабилизатора пути

На рисунке 3.11 показана принципиальная схема системы контроля уплотнения балласта, предназначенная для определения осадки и степени уплотнения балласта с использованием ГНСС [13].

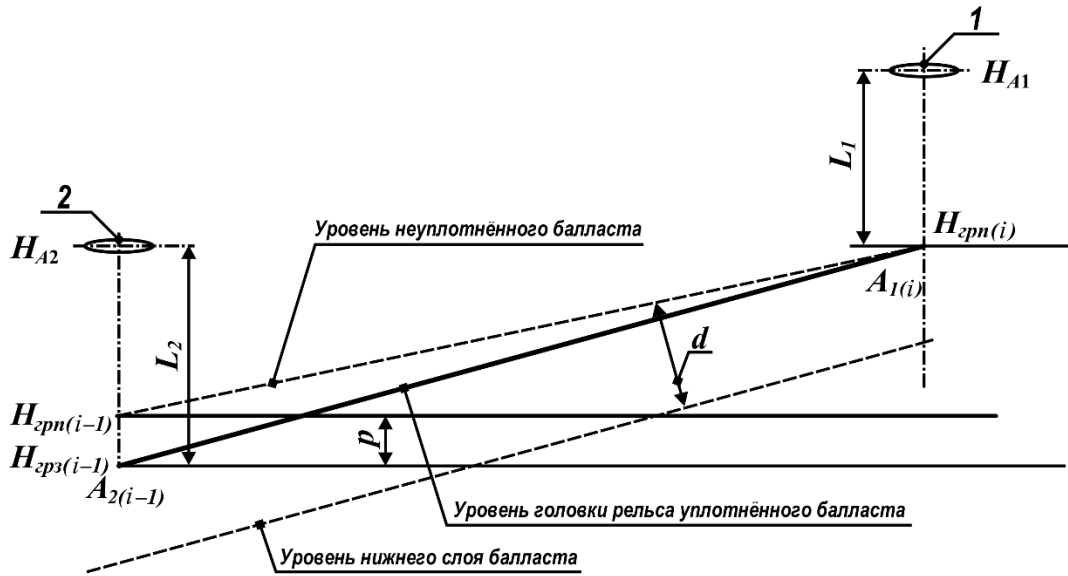


Рисунок 3.11 – Принципиальная схема системы контроля уплотнения балласта

На рисунке 3.12 показана структурная схема системы контроля уплотнения балласта СКУБ, включающая бортовой компьютер и спутниковый приемник с двумя антеннами, а также модем для связи с референц-сетью постоянно действующих спутниковых базовых станций.



Рисунок 3.12 – Структурная схема СКУБ

На рисунке 3.13 показан динамический стабилизатор пути, оборудованный системой контроля уплотнения балласта в процессе уплотнения балласта на этапе балластировки ЭЛБ-4С, оборудованном САУ-3D.

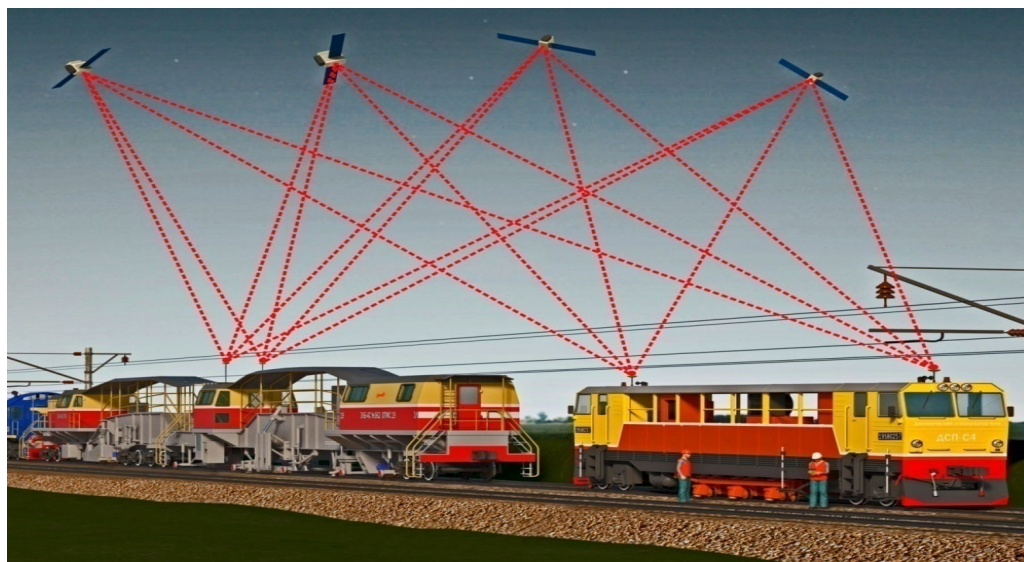


Рисунок 3.13 – Система контроля уплотнения балласта ДСП в процессе работы на участке ремонта железной дороги

Текущая информация на мониторе машиниста обеспечивает реализацию функциональных возможностей СКУБ в процессе уплотнения балласта. На мониторе показаны местоположение в линейной системе координат, графики коэффициента уплотнения балласта, отклонения от проекта, скорость движения ДСП и график динамических характеристик работы ДСП. Кроме того, служебная информация и качество уплотнения выводятся на монитор в виде сигнала светофора. На рисунке 3.14 показано главное окно оператора СКУБ.

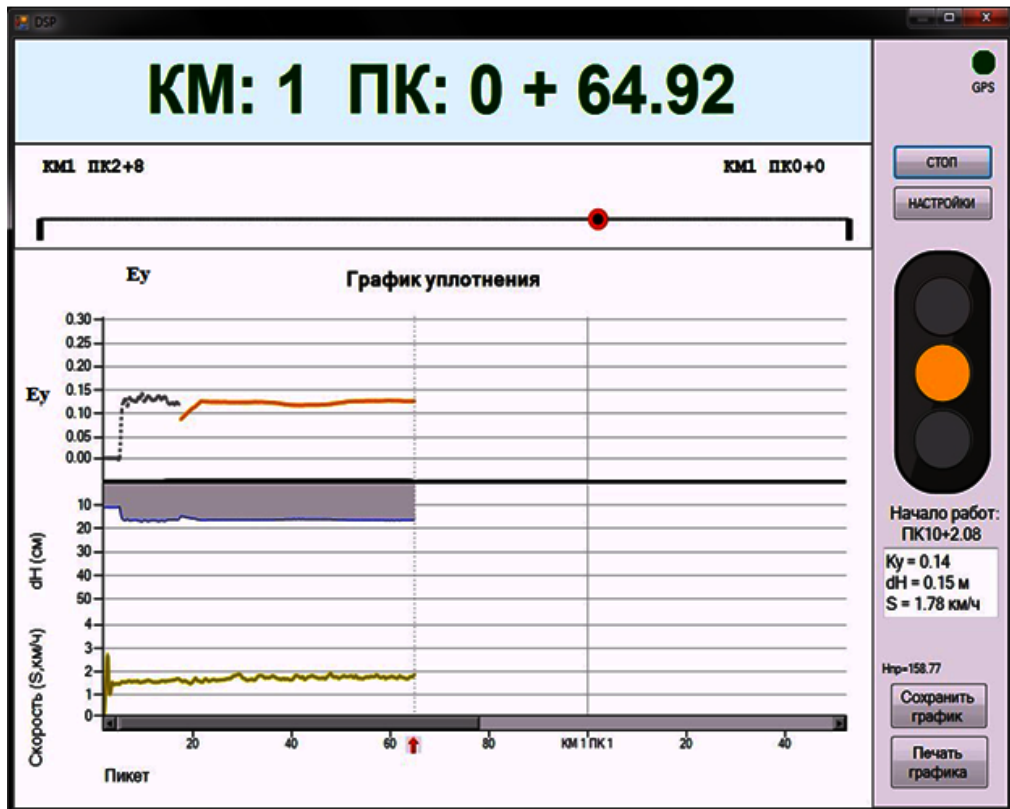


Рисунок 3.14 – Главное окно оператора

Устройство включает машину 1 по уплотнению балласта, например, динамический стабилизатор пути, содержащую несущую раму 2, опирающуюся на ходовые колеса 3 (см. рисунок 3.10). В верхней части рамы 2 установлены с возможностью радиовидимости на навигационные спутники спутниковые антенны 4 и 5. Спутниковая антенна 4 установлена в передней части машины 1, а спутниковая антенна 5 – в задней (хвостовой) части машины 1. Высота указанных антенн 4 и 5 относительно головки рельса фиксирована и для антенны 4 составляет L4, антенны 5 – L5. Антенны 4 и 5 связаны с соответствующими входами спутникового приемника 7 (см. рисунки 3.2, 3.3). Первый вход-выход спутникового приемника 7 через модем 8 связан со спутниковой референц-сетью или временными базовыми станциями для получения дифференциальных поправок, другой вход-выход спутникового приемника 7 связан с бортовым компьютером 9.

Спутниковый приемник 7, модем 8 и бортовой компьютер 9 расположены в кабине машины 1.

До начала работ в бортовой компьютер 9 экспортируются данные толщины d слоя балласта и значения $L4$ и $L5$. Бортовой компьютер 9 осуществляет расчет и визуализацию в автоматическом режиме, например, в виде графиков, текущих основных параметров процесса уплотнения, а именно – коэффициента уплотнения E_y , величины осадки p , скорости движения машины V , текущего местоположения (координаты X, Y, H) машины 1 в линейной системе координат: Км + Пк + м (см. рисунок 3.14).

В процессе уплотнения балласта динамическим стабилизатором пути коэффициент уплотнения балласта E_y , скорость движения машины V определяют с использованием данных о пространственных координатах двух точек, расположенных в зоне передней (по ходу движения) части машины 1, находящейся на неуплотняемом участке пути, и в ее задней (хвостовой) части, находящейся в уплотненной зоне, в точках A_4 и A_5 , соответственно (см. рисунок 3.11). Получение указанных данных обеспечивают спутниковые антенны 4 и 5, с помощью которых синхронно получают пространственные координаты $X_{A_4}, Y_{A_4}, H_{A_4}$ передней части машины (точка A_4) и координаты $X_{A_5}, Y_{A_5}, H_{A_5}$ задней части машины (точка A_5). По известным значениям $L4$ и $L5$ от спутниковых антенн 4 и 5 до головки рельса высотные отметки H_{A_4} и H_{A_5} указанных спутниковых антенн 4 и 5 редуцируют на головку рельса.

Высотные отметки (см. рисунок 3.11) $H_{грп}$ и $H_{грз}$ головки рельса для точек, соответственно находящихся в передней, неуплотненной части ремонтируемого пути, и в задней части машины 1, в зоне после уплотнения, получают по формулам:

$$H_{грп} = H_{A_4} - L4; \quad (3.9)$$

$$H_{грз} = H_{A_5} - L5, \quad (3.10)$$

где H_{A_4} – высотная отметка спутниковой антенны 4; H_{A_5} – высотная отметка спутниковой антенны 5; L_4 – расстояние от спутниковой антенны 4 до головки рельса; L_5 – расстояние от спутниковой антенны 5 до головки рельса.

Величину осадки p в процессе уплотнения рассчитывают по формуле:

$$p = (H_{\text{грп}_i} - H_{\text{грп}_{i-1}}) - (H_{\text{грп}_i} - H_{\text{грз}_{i-1}}), \quad (3.11)$$

где $H_{\text{грп}_i}$ – текущая высотная отметка проекции высотной отметки спутниковой антенны 4 на головку рельса в точке A_{4_i} (1); $H_{\text{грп}_{i-1}}$ – текущая высотная отметка проекции высотной отметки спутниковой антенны 4 на головку рельса в точке $A_{5_{i-1}}$ (1); $H_{\text{грз}_{i-1}}$ – текущая высотная отметка проекции высотной отметки спутниковой антенны 5 на головку рельса в точке $A_{5_{i-1}}$ (2).

Коэффициент уплотнения E_y рассчитывают по формуле:

$$E_y = \frac{\sum_1^n p / n}{d}, \quad (3.12)$$

где d – толщина слоя балласта; p – величина просадки (3); n – количество измеренных i -точек на участке пути определения коэффициента уплотнения E_y .

Скорость движения машины V в любой момент времени определяют в соответствии с выражением

$$V = \frac{\sqrt{(X_{A4_i} - X_{A4_{i-1}})^2 + (Y_{A4_i} - Y_{A4_{i-1}})^2}}{t_i - t_{i-1}}, \quad (3.13)$$

где V – скорость движения машины в процессе уплотнения балласта; X_{A4_i} , Y_{A4_i} – координаты спутниковой антенны 4 в i -х точках; $X_{A4_{i-1}}$, $Y_{A4_{i-1}}$ – координаты спутниковой антенны 4 в $(i-1)$ -точке; t_i – текущее время измерения координат

спутниковой антенной 4 в i -й точке; t_{i-1} – текущее время измерения координат спутниковой антенной 5 в $(i-1)$ -точке.

Динамические характеристики δ определяются по разности амплитуд вертикальных перемещений спутниковых антенн 4 и 5 (см. рисунок 3.10):

$$\delta = \Delta H_{A4} - \Delta H_{A5}, \quad (3.14)$$

где ΔH_{A4} , ΔH_{A5} – амплитуды вертикальных перемещений спутниковых антенн в процессе уплотнения балласта ДСП.

Результаты испытаний системы контроля качества уплотнения балласта

В 2019 г. выполнен большой объем экспериментальных работ на четырех участках Западно-Сибирской железной дороги (Красный Камень – Черкасов Камень, Черкасов Камень – Прокопьевск, Цаплино – Боровиха и Курундус – Падунская). Проведены исследования по контролю параметров инструментальными геодезическими методами (рисунок 3.15) с использованием электронного тахеометра и реперов на ОКС. Полученные результаты показывают, что СКУБ обеспечивает точность определения осадки не более 4 мм на интервалах скользящего среднего до 15–20 м.

В таблице 3.1 приведены результаты контроля точности СКУБ, а на графике (рисунок 3.16) представлены результаты контроля осадки, полученные по данным тахеометрической съемки на перегоне Цаплино – Боровиха и Курундус – Падунская в июле-сентябре 2019 г. Точность измерения осадки с использованием тахеометра составляет 2 мм, что сопоставимо с точностью измерения СКУБ. Разница заключается в том, что тахеометром можно определить осадки дискретно, наиболее удобно по меткам (реперам) на ОКС (условным высотным отметкам) на опорах контактной сети через 50–60 м, а СКУБ измерения выполняет с «шагом» съемки 0,2–0,5 м и в динамическом режиме, включающем определение высотных отметок в динамическом режиме при работе ДСП.



Рисунок 3.15 – Контроль уплотнения балласта инструментальными геодезическими методами

Таблица 3.1 – Оценка точности определения осадки СКУБ

№ п/п	Осадка рыхлого балласта		Разность Δd (мм)
	Тахеометр, d (мм)	СКУБ, d (мм)	
ОКС 475	40	38	+2
ОКС 473	39	35	+4
ОКС 471	33	33	0
ОКС 469	40	37	+3
ОКС 467	34	36	-2
ОКС 465	22	32	-10
ОКС 463	38	35	+3
ОКС 461	41	35	+6
ОКС б/н	31	30	+1
ОКС 459	28	36	-1

Результаты исследований статической осадки показаны на графиках (см. рисунок 3.16).

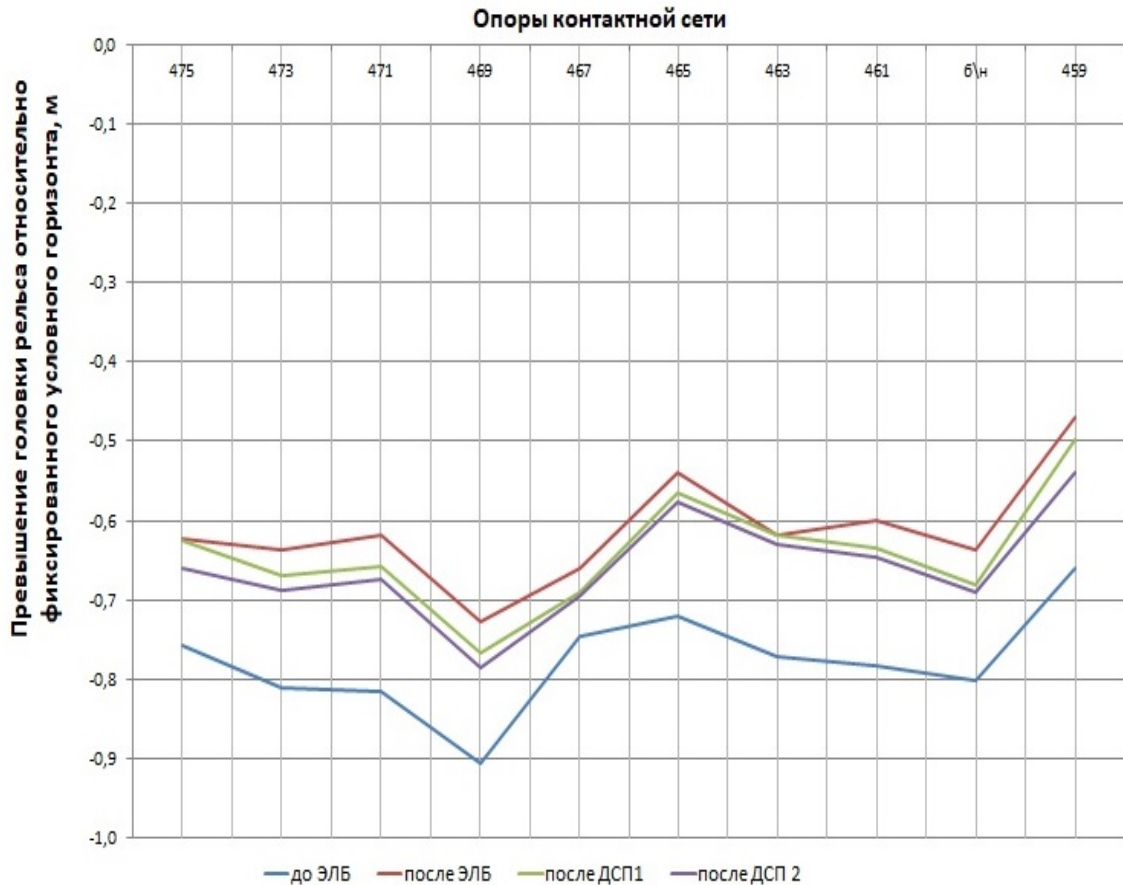


Рисунок 3.16 – Графики уплотнения балласта относительно репера на ОКС (459-475) на перегоне Курундус – Падунская

Из графиков видно, что подъемка ЭЛБ составила 16 см, средняя осадка после первой ДСП относительно высотных отметок после подъемки ЭЛБ составила 34 мм, после прохода второй ДСП относительно высотных отметок после прохода первой ДСП – 15 мм в сумме после прохода первой и второй ДСП за ЭЛБ значение осадки составило около 50 мм, при этом вторая ДСП с осадкой в 15 мм показывает, что балласт уплотнен.

Для автоматизации процесса уплотнения балласта недостаточно автоматизировать геодезические измерения, необходимо управлять процессом уплотнения. Для этого разработана система, позволяющая по данным текущей скорости, текущего значения уплотнения балласта и других параметров за счет изменения скорости движения ДСП регулировать процесс уплотнения. Проведенные исследования

полностью подтверждают возможность регулировать коэффициент уплотнения СКУБ.

Фрагмент из БД по контролю за уплотнением балласта Цаплино – Боровиха, (1 подъёмка, Начало: КМ787 ПК6+10) приведен в таблице 3.2. Принципиально важной характеристикой, полученной в процессе испытаний, является зависимость осадки и коэффициента уплотнения E_y от скорости движения ДСП. Так, на перегоне Цаплино – Боровиха при скорости ДСП $V = 2,2$ км/ч, значение осадки составляло в среднем 5см, при скорости ДСП $V_{cp} = 0,9$ км/ч – 7 см (см. таблицу 3.2).

Таблица 3.2– Фрагмент из БД по контролю за уплотнением балласта Цаплино-Боровиха

Км+	Скорость, (км/ч)	Осадка, (см)	Толщина балласта (м)	Коэффициент уплотнения E_y	Теоретическое значение E_{ty}	Разность $E_y - E_{ty}$
6+6,17	2,2	0,04	0,42	0,08	0,17	-0,09
6+6,79	2,2	0,04	0,42	0,08	0,17	-0,09
6+7,4	2,2	0,05	0,42	0,08	0,17	-0,09
6+8,02	2,2	0,05	0,42	0,09	0,17	-0,08
6+8,58	2,0	0,05	0,42	0,09	0,17	-0,08
6+9,07	1,7	0,05	0,42	0,09	0,17	-0,08
6+9,49	1,5	0,06	0,42	0,09	0,17	-0,08
6+9,84	1,3	0,06	0,42	0,10	0,17	-0,07
6+10,09	0,9	0,06	0,42	0,10	0,17	-0,07
6+10,8	0,8	0,07	0,42	0,19	0,17	0,02
6+11,05	0,9	0,08	0,42	0,21	0,17	0,04
6+11,32	1,0	0,08	0,42	0,20	0,17	0,03
6+11,58	1,0	0,07	0,42	0,19	0,17	0,02
6+12,79	0,8	0,06	0,42	0,18	0,17	0,01
6+12,99	0,7	0,06	0,42	0,18	0,17	0,01

Данная таблица формируется в процессе работы СКУБ, по текущим данным можно контролировать в реальном времени коэффициент уплотнения, изменяя скорость ДСП. Функциональные возможности СКУБ позволяют, в отличие от традиционных методов определения высотных отметок, автоматизировать и эффективно

регулировать процесс уплотнения, что принципиально отличает СКУБ от автоматизации непосредственно геодезических измерений.

На рисунках 3.17, 3.18 показан график (отчетные данные) по уплотнению балласта.

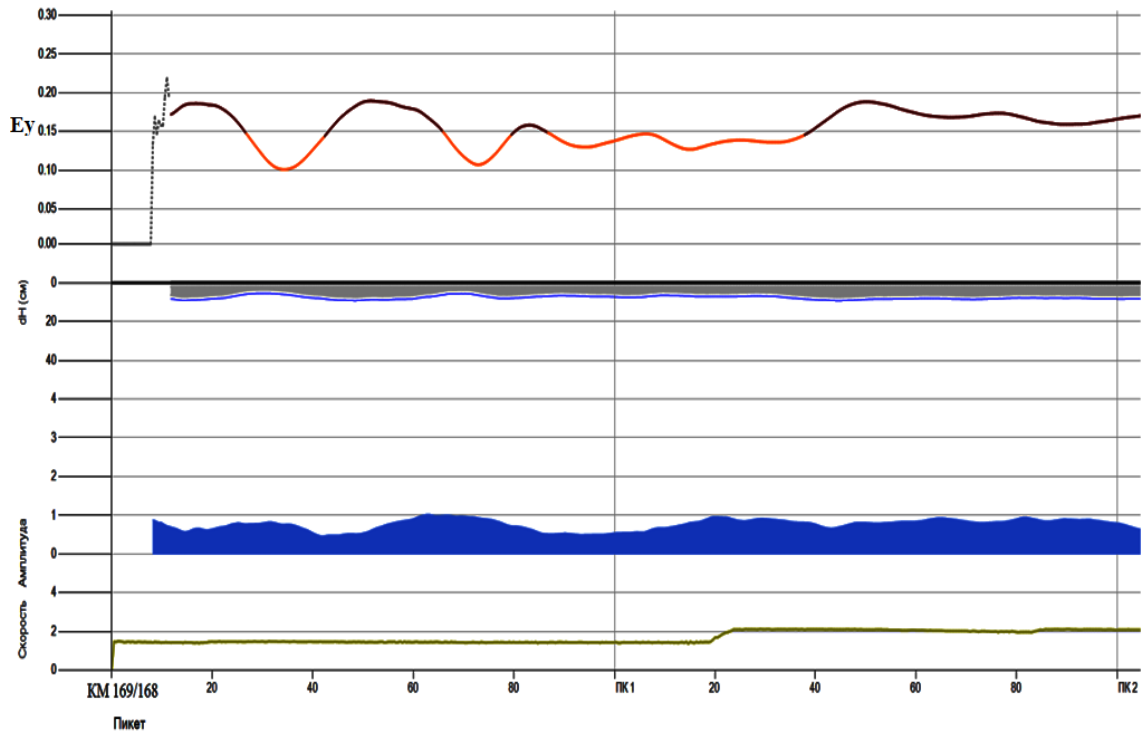


Рисунок 3.17 – График уплотнения балласта на перегоне Курундус – Падунская (168 км) Западно-Сибирской железной дороги

Из графика видно, что изменения коэффициента уплотнения значительны (до 50 %) и, самое главное, эти изменения происходят на локальных участках длиной до 20 м. Как показали исследования СКУБ, практически исключается возможность применения инструментальных геодезических методов и механических штампов контроля из-за высокой трудоемкости, при «шаге» съемки 5–10 м [42]. При этом контроль с помощью традиционных методов (геометрическое нивелирование) определения коэффициента уплотнения на интервалах длиной 50–100 м не обеспечивает достоверной оценки качества уплотнения.



Рисунок 3.18 – График уплотнения балласта при нескольких проходах ДСП на участке Цаплино – Боровиха, 792 км (Пк7-Пк8)

Таким образом, геодезические методы контроля качества уплотнения балласта, основанные на использовании функциональных возможностей двухантенных спутниковых приемников ГНСС, позволяют решать инженерные задачи, ранее не решаемые из-за сложности измерений и высокой трудоемкости. Предлагаемые решения позволяют с высоким качеством выполнять оценку качества уплотнения балласта на всем протяжении строительства (ремонта) железных дорог непосредственно в процессе работы, что также дает возможность управлять процессом регулировки коэффициента уплотнения за счет изменения скорости движения динамических стабилизаторов пути. Такая функция в настоящее время является уникальной и реализована только на системах контроля уплотнения балласта с использованием СКУБ. При доработке конструкции СКУБ аналогичный контроль можно выполнять и на автомобильных дорогах.

3.4 Разработка систем автоматизированного управления для постановки пути в проектное положение

Для постановки пути в проектное положение на базе ГНСС разработано два принципиально отличающихся варианта САУ.

Первый вариант основан на сравнении высокоточных фактических и проектных координат оси пути [58, 76, 89, 114]. При наличии разности проектных и фактических координат ремонтируемый путь (рельсошпальная решетка) перемещения с использованием рабочих механизмов (подъемно-рихтовочное устройство) в проектное положение (см. п. 1.2), т. е. положение, при котором фактические координаты будут равны проектным. Схема, поясняющая принцип работы САУ, приведена на рисунке 3.19. Из приведенной схемы видно, что измеряется фактическое положение оси пути и сравнивается с проектным, определяется разность координат, которая в дальнейшем используется для расчетов рихтовки в плане и подъёмки по высоте.

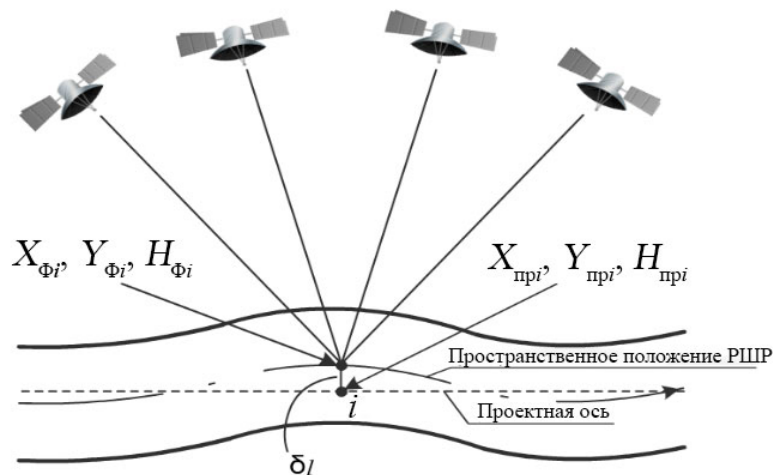


Рисунок 3.19 – Принципиальная схема постановки пути
в проектное положение по первому варианту

Принципиальные и кинематические схемы реализации способа [119, 175] имеют специфику, связанную с конструкцией рабочих органов машины, например

подъемно-рихтовочное устройство находится в нижней части машины, что ограничивает радиовидимость с навигационных спутников ГНСС, поэтому для железнодорожных строительных машин (в отличие от автотракторной техники – бульдозера, автогрейдера) применена трехуровневая структура получения исходных данных для расчетов фактических координат рабочих органов машины, включающая спутниковые измерения координат по двум спутниковым антеннам, расположенным в верхней части машины, редуцирование координат с антенн на ось пути и определение положения рабочих органов строительных машин относительно условного фазового центра (УФЦ) спутниковых антенн.

Структурная схема расчета сдвижек и подъемок САУ-3D (ГНСС) для обеспечения постановки железнодорожного пути в проектное положение и формирования управляющих сигналов показана на рисунке 3.20.



Рисунок 3.20 – Структурная схема расчета сдвижек, подъемок и формирования управляющих сигналов в САУ-3D для постановки пути в проектное положение

На рисунке 3.21 показана схема редуцирования координат спутниковых антенн на ось пути.

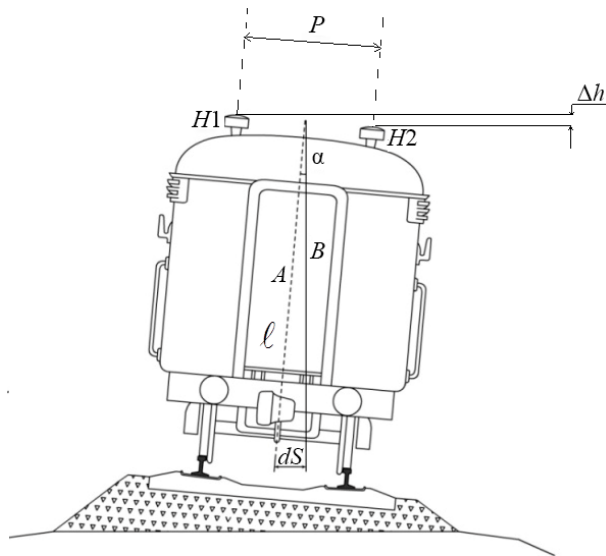


Рисунок 3.21 – Редуцирование условного фазового центра на ось пути

Расчет величины редукции выполняется по формуле

$$dS = \frac{\Delta h}{P} \cdot l, \quad (3.15)$$

где h – превышение между спутниковыми антеннами; l – расстояние спутниковых антенн от фазовых центров до головки рельса; P – расстояние между фазовыми центрами спутниковых антенн. Для расчета редукции по данным инклинометров и акселерометров и других систем [72] в результате большого объема исследований отказались, так как они имеют инерционные задержки, что не компенсировало пространственного смещения спутниковой антенны.

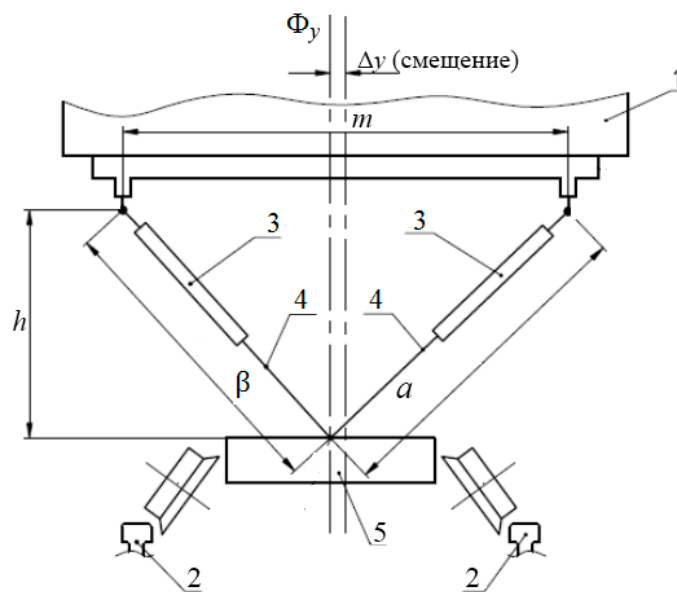
Положение оси ПРУ относительно условного фазового центра (среднего значения координат между фазовыми центрами) рассчитывается в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 3.22.

Расчет в плане и профиле положения оси ПРУ относительно условного фазового центра выполняется по формулам

$$h = \sqrt{a^2 + R^2 - \left(\frac{m^2 + a^2 - b^2}{2m} \right)^2}, \quad (3.16)$$

$$y = \frac{m^2 + a^2 - b^2}{2m}, \quad (3.17)$$

где a, b – расстояния от фиксированных точек измерительной базы m на раме машины до оси ПРУ; R – радиус вращения оси крепления тросо-хордовой системы.



1 – рама машины; 2 – рельсы; 3 – энкодеры; 4 – тросо-хордовые устройства;
5 – ось ПРУ; Φ_y – ось условного фазового центра

Рисунок 3.22 – Принципиальная схема определения положения оси ПРУ относительно условного фазового центра спутниковых антенн

Второй вариант системы автоматизированного управления основан на автоматизации способа бокового нивелирования и предназначен для двух путных участков железной дороги [61, 62, 78]. Процесс выноса проекта в натуру характерен для всех видов строительства. На железной дороге применяются десятки способов выноса проекта в натуру – постановки пути в проектное положение. Это лазерные построители плоскости, применение копировальной струны, разбивочные геодезические работы

по закреплению оси пути в натуре; постройка пути с использованием систем автоматизированного управления на базе глобальных навигационных спутниковых систем. Наиболее распространенный метод основан на использовании бокового нивелирования, при сравнении проектного и фактического междупутья (рисунок 3.23).

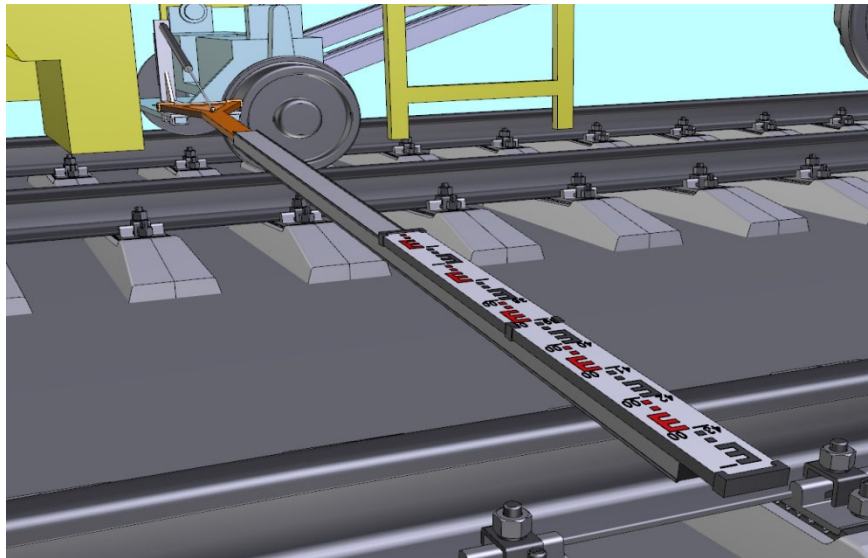


Рисунок 3.23 – Способ бокового нивелирования

Способ применяется широко при ремонте и контроле геометрии подкрановых путей. В нашем случае линейным репером (опорной плоскостью) является соседний путь или искусственно созданная опорная плоскость. Данный метод наиболее доступен по стоимости оборудования и понятен для машинистов и технологов в реализации проектных решений. Боковое нивелирование до настоящего времени является одним из основных при постройке пути в проектное положение. Сущность данного способа заключается в сравнении проектных расстояний между осями ремонтируемого и соседнего пути с заданным шагом, например, 20–50 м (эпюра рихтовок) с фактическими данными, полученными по нивелирной рейке и с использованием системы управления подъемно-рихтовочным устройством смещения пути на проектное значение [108]. Проблема заключается в том, что все неровности в плане и по высоте в том числе длинные неровности, копируются на ремонтируемый путь. Измерения междупутья и интерполирование по текущему

расстоянию между опорными пунктами выполняется на глаз, то есть человеческий фактор определяет качество постановки в проектное положение. Кроме того, актуализация проектных данных не исключает проблем и не упрощает работу технологов и машинистов выправочно-подбивочно-отделочных машин (ВПО) и электробалластов типа ЭЛБ-4С.

При этом способ бокового нивелирования в геодезии считается одним из наиболее высокоточных, используется при строительстве промышленных и гражданских сооружений, при эксплуатационной работе данный способ применяется при контроле геометрических параметров подкрановых путей, мониторинге промышленного технологического оборудования. Учитывая достоинства и преимущества способа бокового нивелирования по отношению к десяткам других способов, а также то, что он широко применяется железнодорожниками, способ выбран в качестве базового при создании автоматизированной системы управления для постановки пути в проектное положение.

Система автоматизированного управления (САУ-3D) на базе бокового нивелирования разработана в 2012 г. в качестве альтернативы первому варианту выправки пути.

С учетом положительного и отрицательного опыта эксплуатации САУ-3D, созданной по схеме сравнения проектных и фактических координат (первый вариант) рабочих органов строительной железнодорожной машины, в качестве более простого и эффективного варианта для двухпутных участков железных дорог создан САУ-3D. В основе второго варианта лежит боковое нивелирование с использованием пространственной привязки ГНСС. САУ-3D (ТБН) [108] позволяет исключить влияние человеческого фактора, обеспечивает высокую степень автоматизации и минимизацию затрат на создание цифрового проекта, а также исключение наличия мобильной связи и необходимости высокоточных измерений ГНСС, то есть исключение всех негативных факторов, характерных для многих систем управления выправкой пути, включая первый вариант. На рисунке 3.24 показана структурная схема реализации автоматизированного способа бокового нивелирования с

использованием цифрового проекта, измерительной системы и системы управления гидроприводом выправочных машин.

Схема реализации включает три основных функциональных блока и заключается в создании цифрового проекта, системы измерения текущих параметров междупутья и координат, бортового компьютера для расчета сдвижек и подъемов.

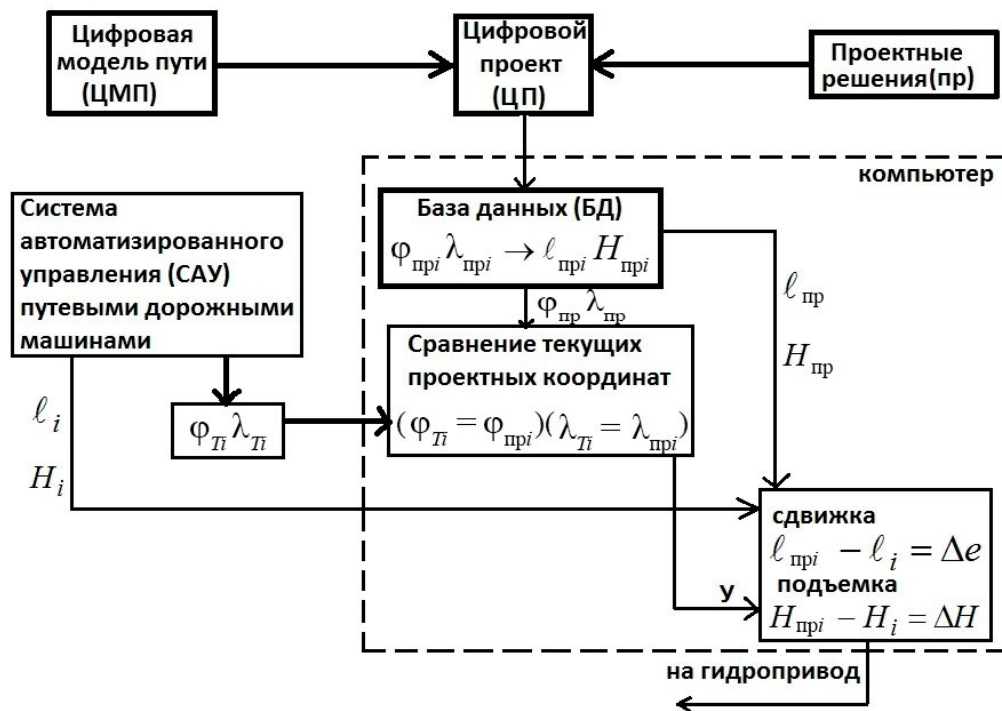


Рисунок 3.24 – Структурная схема реализации способа бокового нивелирования

Измерительная система включает лазерный сканер или лазерный дальномер, спутниковый приемник позиционирования ГНСС для работы в автономном режиме (без дифференциальных поправок) с целью получения фактических данных междупутья и текущих координат. Бортовой компьютер обеспечивает расчет сдвижек и подъемов рельсо-шпальной решетки, а также формирования управляющего сигнала для управления электроприводом и гидроприводом подъемно-рихтовочного устройства выправочной машины.

Принципиальная схема и устройство САУ-3D [108], в основе которого лежит способ бокового нивелирования, показаны на рисунке 3.25.

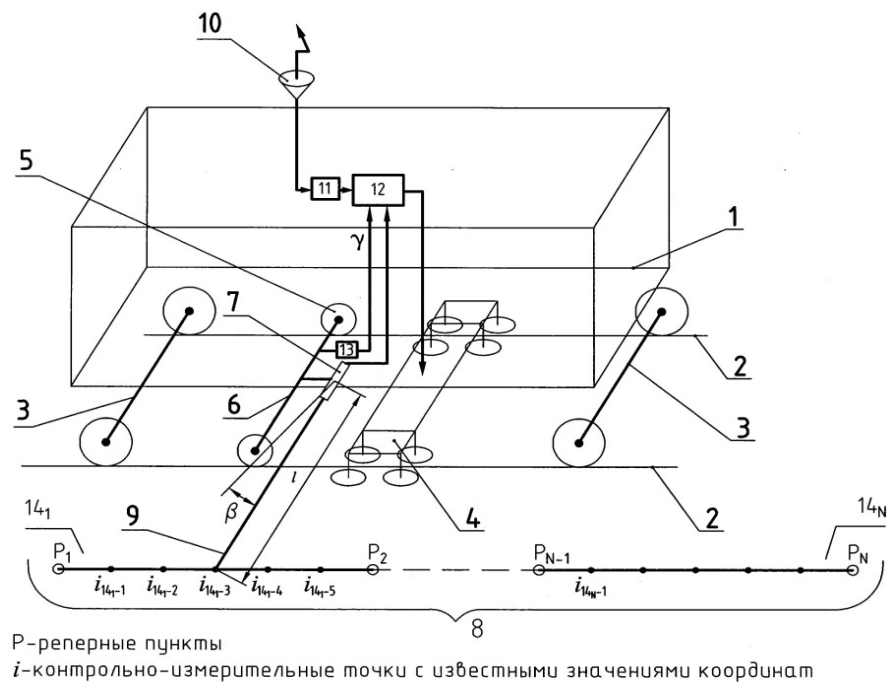


Рисунок 3.25 – Принципиальная схема и устройство САУ-3D на базе способа бокового нивелирования

Устройство САУ-3D содержит раму 1 путевой машины, опирающуюся на железнодорожные рельсы 2 ходовыми тележками 3. На раме 1 установлены выправочно-рихтовочное оборудование 4 и измерительная тележка 5, содержащая подвижное основание 6 и датчик 7 пространственного положения измерительной тележки 5, жестко установленный по центру указанного подвижного основания 6. Датчик 7 строго ориентирован в пространстве на головку рельса соседнего железнодорожного пути, который является в данном техническом решении измерительной базой 8. Указанное ориентирование датчика 7 на опорную измерительную базу 8 обеспечивается тем, что он установлен на укрепленном под углом преимущественно в $90^\circ (\pm 3^\circ)$ относительно направления движения по центру подвижного основания 6 направляющем элементе 9, на его нижней (обращенной к рельсовым путям) поверхности. При этом направляющий элемент 9 выполнен так, что его противоположный конец при движении путевой машины по выправочному пути 2

скользит по головке соседнего рельсового пути. Таким образом, обеспечивается строгая направленность лазерного луча датчика 7 на измерительную базу 8. Вторым вариантом пространственного ориентирования датчика 7 включает использование лазерного сканера и других методов контроля и ориентирования [2]. В верхней части путевой машины (на ее крыше) установлена спутниковая антенна 10 спутникового приемника 11, фазовый центр спутниковой антенны 10 находится на вертикальной оси, проходящей через центр подвижного основания 6 измерительной тележки 5. Спутниковый приемник 11 связан с первым информационным входом бортового компьютера 12. Другие информационные входы бортового компьютера 12 связаны с выходами датчика 7 и датчика 13 поперечного угла наклона измерительной тележки 5. Выход бортового компьютера 12 связан с выправочно-рихтовочным оборудованием 4. Вдоль движения выправочной машины по выправляемому железнодорожному пути 2 измерительная база 8 условно разбита на участки 141-14N между пунктами реперной сети P1-PN с известными пространственными координатами λ и φ в системе WGS-84, значения которых интерполированы с шагом преимущественно в 1 м для N контрольно-измерительных точек между каждой парой реперных пунктов P . Работы по постановке железнодорожного пути в проектное положение заключаются в следующем. Одну из нитей (рельс) соседнего пути, принятую за измерительную базу 8, разбивают на N контрольно-измерительных точек i . Для этого устанавливают координаты (λ , φ) реперных пунктов P , расположенных вдоль выправляемого пути (например, на расстоянии 10–50 м друг от друга). Затем для каждого из участков пути 14, расположенных между реперными пунктами P1-PN, осуществляют интерполяцию координатных данных указанных реперных пунктов для i -ых контрольно-измерительных точек вдоль измерительной базы 8, с шагом в 1 м. Для каждой из указанных i -х точек (с их известными координатами) формируют базу данных проектных расстояний l пр. до оси выправляемого пути 2, значения положения этих точек по высоте $h_{пр}$ (углы β), определяющие положение по высоте выправляемого пути 2 относительно указанной измерительной базы 8, а также значения поперечного угла $\gamma_{пр}$, соответствующие этим точкам. Все

перечисленные данные, привязанные к глобальной системе координат ITRF-2014 (WGS-84), представляют собой цифровой проект, который экспортируют в бортовой компьютер 12 путевой машины до начала работ. При движении путевой машины 1 измерительная тележка 5 движется по выправочному пути 2. При этом пространственное положение центра ее подвижного основания 6 меняется в соответствии с текущим положением выправляемого пути 2. Датчик 13 фиксирует угловые величины $\gamma_{пр}$, наклона измерительной тележки 5. Датчик 7 фиксирует изменения пространственного положения центра подвижного основания 6 измерительной тележки 5 в плане и профиле относительно измерительной базы 8, измеряя угол β – отклонение датчика 7 от горизонта, превышение, определяющее текущее положение по высоте h центра подвижного основания 6 относительно измерительной базы 8, и расстояние l от центра подвижного основания 6 до измерительной базы 8. Измеряемые таким образом текущие (изменяющиеся) значения расстояний l и угла β и угла $\gamma_{пр}$, характеризующие пространственное положение измерительной тележки 5 относительно измерительной базы 8, поступают на второй и третий входы бортового компьютера 12.

Бортовой компьютер 12 по разработанной авторами специальной вычислительной программе сравнивает соответствующие текущим пространственным координатам измерительной базы 8 текущие значения l , β и $\gamma_{пр}$ с их проектными значениями, жестко привязанными к пространственным данным (координатам λ , φ) выправляемого пути 2, данные о которых поступают на первый вход бортового компьютера 12 со спутниковой антенны 10.

Управляющим сигналом для сравнения указанных проектных и текущих данных является временная метка, которая формируется в бортовом компьютере 12 при совпадении поступающих со спутникового приемника 11 текущих координат и координат контрольно-измерительных i -х точек, загруженных в память указанного бортового компьютера 12. Полученные разности проектных и текущих параметров являются функциями управляющих сигналов, поступающих на постановку пути в плане, профиле и по уровню.

По полученной разности текущих и проектных величин l , β и $\gamma_{пр}$ в компьютере 12 формируется сигнал управления, поступающий на выправочно-рихтовочное устройство 4, которое перемещает выправляемый путь 2 до тех пор, пока текущие величины l , β и $\gamma_{пр}$ не будут равны их проектным значениям. На рисунке 3.26 показан общий вид электробалластера ЭЛБ-4С ОПМС-19 ЗСДРП, оборудованного двумя системами автоматизированного управления выправкой (постановкой в проектное положение) пути, одна из которых – первый вариант (сравнение фактических и проектных координат), вторая – САУ-3D, создана на базе бокового нивелирования. Учитывая низкую стоимость трудозатрат на создание проекта для САУ на базе бокового нивелирования, на двухпутных участках применяется САУ-3D по технологии ТБН (рисунок 3.26).



Рисунок 3.26 – Общий вид электробалластера ЭЛБ-4С ОПМС-19 ЗСДРП, оборудованного двумя САУ-3D

Практически технология постановки пути в проектное положение с использованием технологии бокового нивелирования (ТБН) одна из наименее трудоемких.

Работа включает несколько этапов.

На первом этапе работ выполняется натурная координатная привязка точек с известными проектными значениями междупутья и высотных отметок, например в сечениях опор контактной сети с использованием спутниковых приемников позиционирования в абсолютном (автономном) режиме с точностью 0,25 м. Для этих работ не требуется дифференциальных поправок, наличия радиосвязи или GSM-связи, нет необходимости использовать дорогостоящие приемники и самое главное – не нужна квалификация геодезиста, работу выполняет дорожный мастер или инженер-технолог ПМС. При необходимости актуализации проекта, эта работа выполняется одновременно с определением координат в сечениях ОКС (рисунок 3.27).

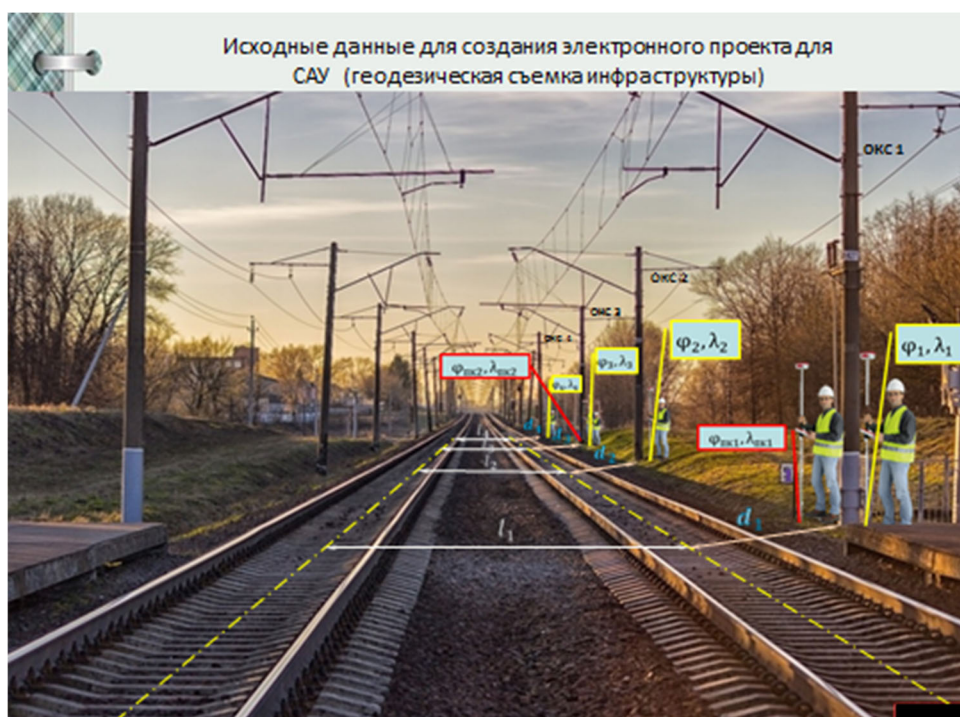


Рисунок 3.27 – Создание цифрового проекта на участке капитального ремонта

На втором этапе создается цифровой проект в строгом соответствии с проектными решениями и требованиями [14]. Для создания цифрового проекта используются проектная документация (эпюра рихтовок, продольный профиль), данные координатной привязки в сечениях ОКС и ПК, программное обеспечение «Цифровой

проект». Цифровой проект создается технологами в ПМС, отвечающими за постановку пути в проектное положение.

На третьем этапе выполняется постановка железнодорожного пути в проектное положение. Для этого цифровой проект технологом экспортируется в бортовой компьютер (БК) для работы на ЭЛБ или ВПО, оборудованные САУ-3D (ТБН). Преимуществом САУ-3D (ТБН) является высокий уровень автоматизации, что обеспечивает тестирование датчиков и их настроек в автоматизированном режиме для подтверждения готовности к работе, при этом ПО обеспечивает работу по одной кнопке «Работа». Это означает, что в любой точке на участке работ можно начать работу без выдвигания на исходную точку или начало маршрута (участка), без настроек и манипуляций, что особенно ценят машинисты, при этом, создав ЦП до начала работ, технологи используют его до окончания постановки пути в проектное положение при трех-четырех подъемах ЭЛБ или ВПО. Кроме того, данный цифровой проект можно использовать и в дальнейшем до разработки новой проектной документации. При постановке пути в проектное положение машинист имеет полную информацию о текущих параметрах выправки пути, отклонениях от проекта, контроле исправности работы датчиков (рисунок 3.28).

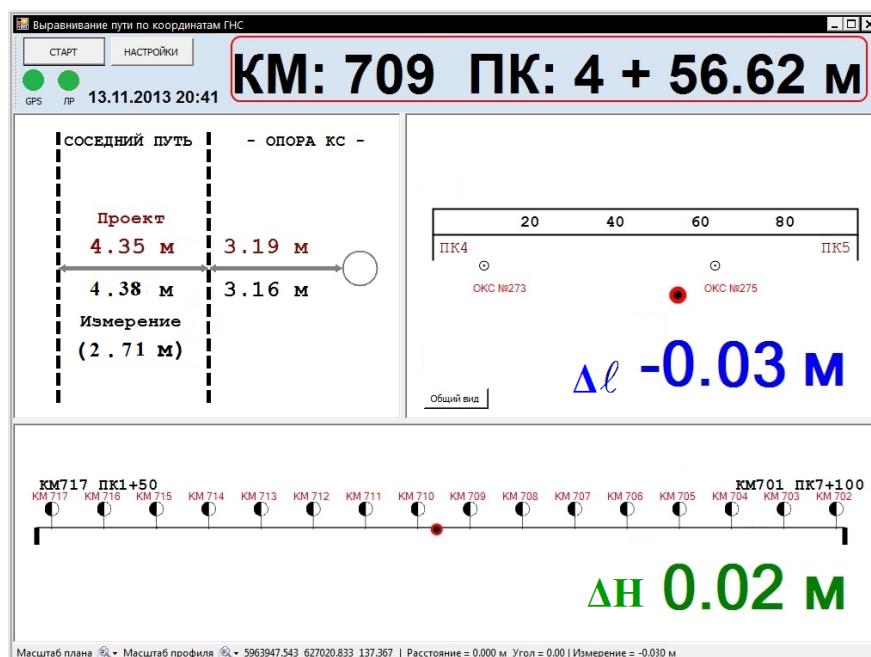


Рисунок 3.28 – Главное окно оператора ВПО (ЭЛБ) САУ-3D (ТБН)

Оборудование является модульным, размещенном в двух блоках (рисунок 3.29) – управления и автоматики.



Рисунок 3.29 – Внешний вид блока управления и автоматики на ВПО

Опыт эксплуатации САУ-3D по технологии бокового нивелирования с 2012 г. показал, что данная технология обеспечила в течение 7 лет эксплуатации САУ-3D (ТБН) высокие технико-экономические показатели. Данные системы поставлялись в ЗабЖД, ВСЖД, ЗСЖД. Мониторинг на ЗСЖД показывает, что системы успешно работают в ПМС22, МПС-20, ПМС-177, ОПМС-19. В ОПМС-19, САУ-3D оборудован двумя системами автоматизированного управления по первому и второму вариантам. Учитывая низкую стоимость трудозатрат на создание цифрового проекта для САУ на базе бокового нивелирования, на двухпутных участках применяется САУ-3D по технологии ТБН, а на однопутных участках САУ на базе ГНСС, в основе которой заложена схема сравнения высокоточных фактических и проектных координат. Поэтому есть возможность сравнения двух принципиально разных систем в 2008 г. [175] и 2012 г. [108], установленных на одной машине. Часть оборудования является общей для двух систем (спутниковый приемник, блок управления, бортовой компьютер). На рисунке 3.30 показан результат постановки железнодорожного пути в проектное положение с использованием двух систем

(по первому и второму вариантам) автоматизированного управления на ЭЛБ-4С № 62 ОПМС-19 ЗСДРП. Ни в первом (а), ни во втором (б) нет разбивочной геодезической основы (видно из фотографий), при этом качество постановки пути в проектное положение соответствует нормативным требованиям, пространственные отклонения оси пути от проекта составляют 2 см.



а)

б)

Рисунок 3.30 – Результат постановки пути в проектное положение ЭЛБ-4С, оборудованном САУ-3D (ГНСС) и САУ-3D (ТБН): а) на однопутном участке (Барнаул – Кулунда); б) на двухпутном участке (Новосибирск – Барнаул)

Главным преимуществом САУ-3D (ТБН) является низкая (в 10 раз ниже) стоимость создания цифрового проекта по отношению к стоимости проекта для высокоточных координатных (дифференциальных систем измерения) САУ-3D на базе ГНСС. С учетом того, что цифровой проект создается технологами ПМС, стоимость создания 1 км не превышает 3 тыс. руб., при этом цифровой проект можно использовать на протяжении 10 лет и более. Вторым преимуществом является автономность САУ, так как работа не зависит от наличия спутниковой референц-сети, постоянно действующих базовых станций и GSM-связи, не требуется создания временных спутниковых базовых станций и обеспечения радио- или GSM-связи (измерения с использованием ГНСС выполняются автономно без использования дифферен-

циальных поправок). В отличие от высокоточных измерений в САУ-3D достаточно использовать только ГЛОНАСС, кроме того, на измерения не оказывает существенного влияния геометрический фактор ГНСС и погодные условия.

Основные выводы по САУ-3D (ТБН):

1 Технология бокового нивелирования автоматизирует процесс постановки железнодорожного пути в проектное положение, исключает геодезические разбивочные работы и создание опорной геодезической сети.

2 Системы автоматизированного управления САУ-3D, созданные на базе бокового нивелирования, не зависят от наличия спутниковой референц-сети постоянно действующих базовых станций и GSM-связи, не требуется создание временных спутниковых базовых станций и обеспечения радио или GSM-связи, так как измерения с использованием ГНСС выполняются автономно без использования дифференциальных поправок.

САУ-3D на базе бокового нивелирования обеспечивает точность измерений фактических параметров постановки пути в проектное положение относительно опорного рельса 2 мм.

При применении технологии ТБН преобразование систем координат проекта на ремонт в систему координат САУ-3D обеспечивает сохранение проектных решений и их реализацию с высокой (2 см) точностью.

Таким образом, на однопутных участках используется САУ (ГНСС) на двухпутных САУ (ТБН), что обеспечивает максимально высокую эффективность за счет оптимизации создания цифровых проектов.

3.5 Системы контроля и диспетчеризации работы строительной железнодорожной техники

Автоматизированные системы управления САУ и системы контроля индикаторного типа [96] позволяют минимизировать инструментальный контроль при оценке качества работ и что особенно важно – выполнять поэтапный контроль, что значительно повышает качество работ и исключает повторные работы

на участке реконструкции и ремонта по причине брака. В основе лежит запись данных в процессе работы в БД и их хранение, визуализация текущих данных, включая графическую информацию об отклонениях от проектных значений, контроль текущих данных из независимых измерений. Например контроль пространственного положения оси пути по данным сравнения габаритов приближения строений ОКС – ось ремонтируемого пути. Вторым важным преимуществом при применении САУ является возможность организации диспетчерской работы на участке работ. Для этого данные САУ передаются с использованием модемов на диспетчерский пост, который находится у руководителя работ. В процессе создания цифрового проекта дополнительно создается электронная карта с участком ремонта, выделенным на электронной карте. На участке ремонта показано пикетажное значение объектов, разбивка по пикетам всего участка ремонта. Текущая информация со строительных железнодорожных машин поступает в диспетчерский центр по каналам GSM. Диспетчер или руководитель работ при этом видит местоположение и текущие данные по параметрам контроля (отклонение от проекта) для каждой строительной машины передается своя информация, например для электробалластера параметры выправки пути, для щебнеочистительных машин глубина вырезки и уклоны, для динамического стабилизатора пути – величина коэффициента уплотнения. Для обеспечения работы используются устройства навигации подвижного объекта [63]. На рисунке 3.31 показана схема диспетчерского участка центра на участке ремонта.

Работу по контролю качества в диспетчерских на участках ремонта можно организовать при наличии спутниковой референц-сети или путем создания временных базовых станций. На рисунке 3.32 показана сеть постоянно действующих базовых станций на территории Новосибирской области, которая активно используется для работы железнодорожников при ремонтах и эксплуатационной работе.



Рисунок 3.31 – Схема организации диспетчерского центра на участке ремонта

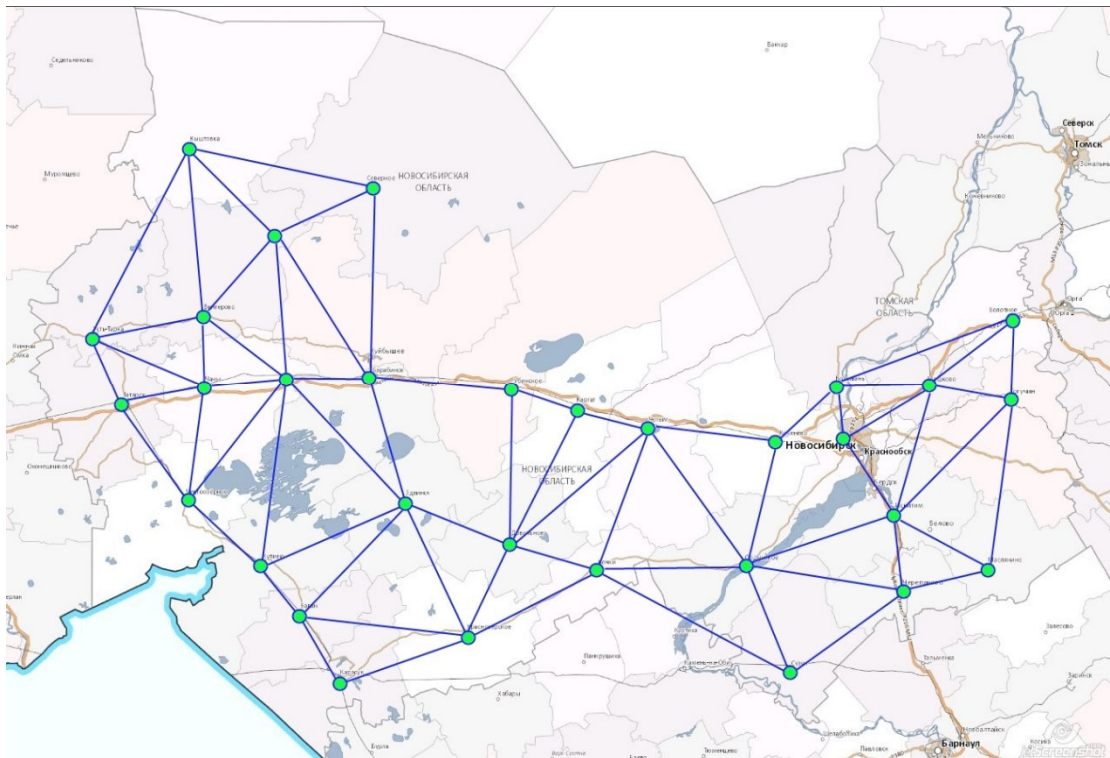


Рисунок 3.32 – Сеть постоянно действующих спутниковых базовых станций Новосибирской области

Основным отличием от диспетчерских центров МЧС, дорожных служб и других организаций является то, что данный диспетчерский центр контролирует параметры работы строительных машин и отклонения от проектных решений. На рисунке 3.33 показано рабочее окно диспетчера на участке ремонта, который контролирует работу щебнеочистительной машины.

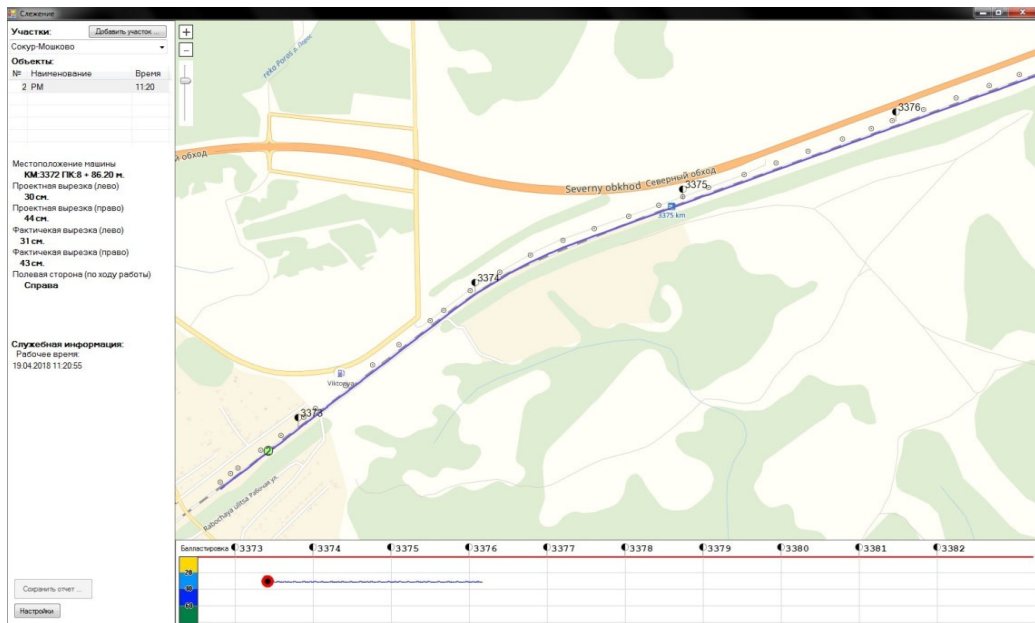


Рисунок 3.33 – Контроль работы щебнеочистительной машины (окно диспетчера)

На рисунке 3.34 показано рабочее окно контроля работы электробалластера.

Организация диспетчерских центров на участке ремонта пути – одно из перспективных направлений управления технологическими работами с использованием ГИС-технологий, в основе которых лежат современные методы навигации подвижных объектов с использованием электронных карт. Передача информации о текущих параметрах работы строительных железнодорожных машин позволяет повысить уровень качества и исключить повторные работы для обеспечения нормативных требований, ускорить согласование при неопределенных решениях, связанных с некачественными проектными решениями [97].

Таким образом, полученные диспетчерскими центрами данные необходимы для операционного (поэтапного) контроля качества ремонта.

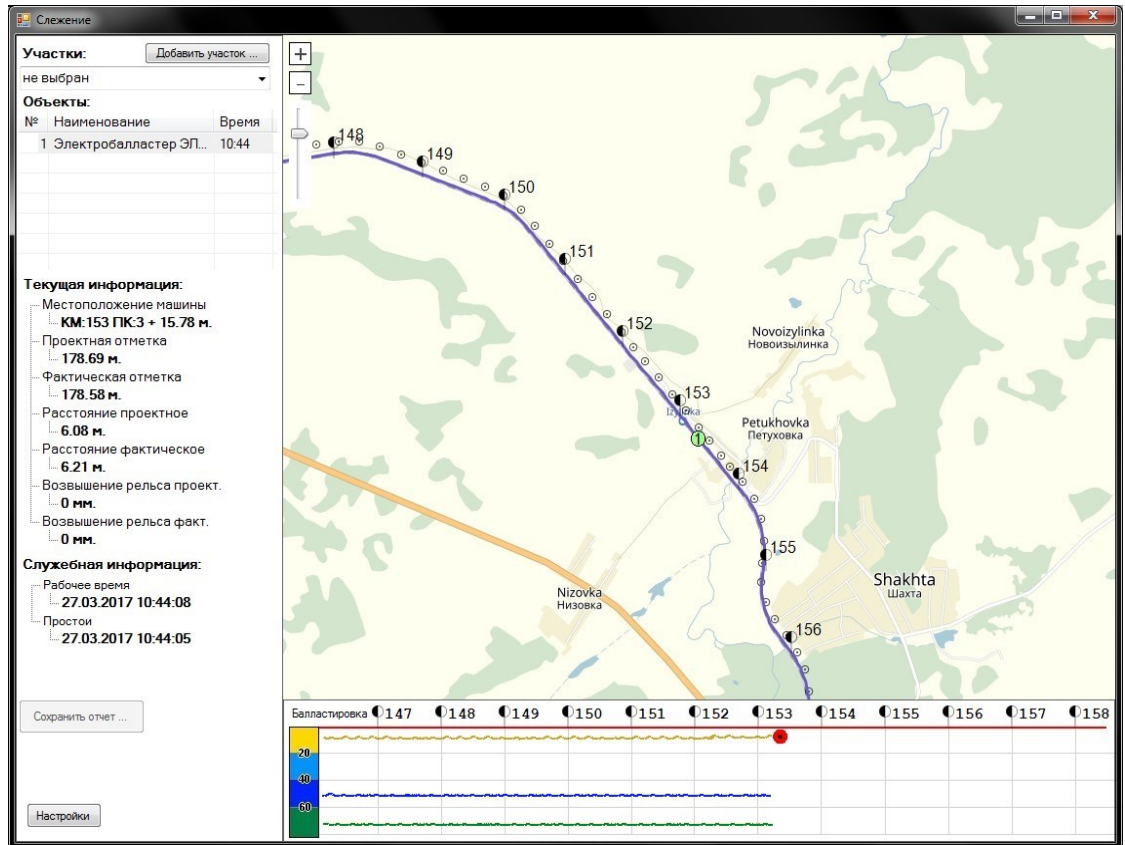


Рисунок 3.34 – Контроль работы электробалластера (окно диспетчера)

4 ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ

4.1 Разработка и внедрение нормативной базы для автоматизации геодезического обеспечения при реконструкции и ремонте железнодорожных путей

Для реализации разработанных технических решений (приборов, контрольно-измерительных систем, САУ) в процессе диссертационного исследования под руководством и при участии автора создана инструкция и методика применения геодезического обеспечения ремонта (модернизации) железнодорожного пути с применением ГНСС и систем автоматизированного управления на их базе, которая была утверждена и введена в действие на сети железных дорог распоряжением № 3214р ОАО «РЖД» от 31.12.2015 [14] (далее – инструкция). Нормативный документ регламентирует требования к структуре и форматам данных для цифровых моделей пути на железных дорогах, качеству работ и точности измерений ГНСС, методике создания цифровых проектов на ремонт для САУ, устройству и функциональным возможностям САУ на базе ГНСС. Нормативные требования разработаны для сети железных дорог ОАО «РЖД» РФ. Инструкция разработана в соответствии с развитием нормативной базы на проектирование, строительство и реконструкцию объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта колеи 1 520 мм [8] и является составной частью выполнения требований технического регламента таможенного союза «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта». Инструкция обеспечивает выполнение обязательных требований указанного технического регламента к инфраструктуре железнодорожных линий, которые применяются при ремонте (модернизации) железных дорог.

Настоящая инструкция разработана в связи с объективной необходимостью регламентации использования ГНСС при ремонтах (модернизации) железных

дорог, включая геодезическое обеспечение – управление процессами выправки (постановки пути в проектное положение), вырезки балласта, планировочных работ при подготовке площадки земляного полотна и других видах работ. При выполнении указанных видов работ используются средства измерений и управления на базе ГНСС.

Актуальность разработки инструкции заключается и в том, что проектно-изыскательские работы выполняются с использованием ГНСС. Для этого создаются ведомственные сети (РЖД), референц-сети ВКС КСПДИЖТ, разрабатывается нормативная база по их применению для проектно-изыскательских работ, ремонта (модернизации), эксплуатационной работы, включая мониторинг. Создана новая, принципиально отличающаяся от традиционной, система управления подготовки цифровых проектов, ремонта и содержания железнодорожного пути с использованием координатных методов и цифровых технологий. Поэтому работы, связанные с ремонтом (модернизацией), также необходимо выполнять, используя современные измерительные средства на базе ГНСС, ГИС-технологий и координатных методов.

Инструкция регламентирует общие принципы применения ГНСС для ремонта железнодорожных путей, рекомендует типовые схемы использования средств измерений на базе ГНСС, выполнения работ на различных этапах ремонта (модернизации), типовые системы реализации, управление на базе ГНСС технологическими процессами, применяющиеся при ремонтах железных дорог.

Методика измерений с использованием спутниковой аппаратуры позиционирования принципиально отличается от традиционных методов, геодезического обеспечения ремонтов. Так, например, при определении высотных отметок с использованием оптических нивелиров (геометрическое нивелирование) качество измерений определяется допустимой невязкой в нивелирном ходе. При использовании средств измерений на базе ГНСС традиционные методы применить

нельзя, поэтому используются другие методы измерений, также принципиально отличающиеся от традиционных методов контроля.

Применение САУ для выправки пути, врезки балласта, планировочных работ позволяет значительно сократить объемы разбивочных геодезических работ, полностью автоматизировать технологические процессы. При этом до внедрения ГНСС в ОАО «РЖД» при выполнении ремонтов железных дорог не было регламентировано. Кроме того, формат и структура данных цифровых проектов, организация и порядок их утверждения и применения также не регламентировались.

Распоряжение от 18.01.2013 № 75р [49] и СП 47.1330.2012 [101] не рассматривают вопросы, связанные с применением спутниковой аппаратуры позиционирования ГНСС. В некоторых пунктах [101] в общем виде упоминается о возможности применения ГНСС при проектно-изыскательских работах без каких-либо требований, методики измерений и рекомендаций по обеспечению точности.

Разработанный документ определяет основные требования к составу и номенклатуре спутниковой аппаратуры позиционирования ГНСС и системам управления на их базе, которые могут применяться при ремонтах (модернизации) железных дорог по типовым схемам, комплектования оборудования для использования при ремонтах с ГНСС. Подробно описаны требования к средствам измерения, внесенных в России в ГРСИ, регламентам по применению САУ и ГНСС на всех этапах ремонта, расчету допустимой точности определения пространственного положения при выполнении ремонта (модернизации), требованиям к цифровым проектам для реализации проектных решений с использованием САУ.

Действие инструкции распространяется на все виды ремонта железных дорог.

Инструкция применяется специализированными подразделениями Центральной дирекции по ремонту пути – путевыми машинными станциями (ПМС). Всего инструкция содержит 9 разделов, изложенных на 136 страницах.

Инструкция взаимосвязана со следующими национальными стандартами и сводами правил Российской Федерации.

1 Распоряжение ОАО РЖД от 18.01.2013 № 75р. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути [38].

2 СНиП 32-01–95 Железные дороги колеи 1520 мм [98].

3 СТН Ц-01–95 Железные дороги колеи 1520 мм [103].

4 ГОСТ Р 51794–2008 Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек [18].

5 ГОСТ Р 52928–2010 Система спутниковая навигационная глобальная. Термины и определения [19].

6 ГОСТ Р 53864–2010 Глобальная навигационная спутниковая система. Сети геодезические спутниковые. Термины и определения [21].

7 ГОСТ Р 54459–2011 Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы дифференциальной коррекции. Общие технические требования [24].

8 ГОСТ Р 53907–2010 Глобальная навигационная спутниковая система. Подсистемы дифференциальные железнодорожные. Общие положения. Термины и определения [22].

9 ГОСТ Р 53607–2009 Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических и землеустроительных работ. Определение относительных координат по измерениям псевдодальностей. Основные положения [20].

10 ГОСТ Р 54115–2010 Глобальная навигационная спутниковая система. Приемник железнодорожный общего пользования. Технические требования [23].

11 СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения (актуализированная редакция СНиП 11-02-96) [101].

Работа по созданию инструкции выполнялась в 2014 и 2015 гг. по контракту с ОАО РЖД от 01.07.2014 № 557. Ответственный исполнитель и руководитель темы Щербаков В. В.

4.2 Особенности геодезического обеспечения ремонта железных дорог с использованием автоматизированных систем управления

4.2.1 Технологическая схема практической реализации геодезического обеспечения ремонта железнодорожных путей

Традиционно геодезическое обеспечение в технологии реконструкции железных дорог включает создание опорной геодезической и съемочной сети, разбивочные работы, операционный инструментальный контроль, геодезическое обеспечение строительно-монтажных работ, исполнительные инструментальные съемки. Работы выполняются дорожными мастерами с использованием нивелира и теодолита, при этом наиболее распространенным и востребованным прибором является железнодорожный шаблон (рисунок 4.1) [1, 141].



Рисунок 4.1 – Железнодорожный шаблон

Применение шаблона при контроле параметров кривой выполняется в процессе ремонта на всех этапах, обеспечивая высокую точность и соответствие результатов принятым стандартам, включая железнодорожные кривые.

Применение различных шаблонов является одной из особенностей строительства и ремонта на железных дорогах, шаблоны эффективны, так как с их помощью можно определять геометрию рельсовой колеи, подуклонку рельсов и еще до десяти различных параметров. Шаблоны широко применяются как при строительномонтажных работах, так и при контроле качества выполненных работ. При этом многие виды работ, связанные с измерениями, выполняются геодезическими приборами (инструментами) с использованием геодезических методов и автоматизированных систем управления САУ, САУ-2D, САУ-3D. Для измерения геометрии рельсовой колеи и пространственных данных при ремонте железных дорог, таким образом используется широкая линейка приборов: от шаблонов и нивелиров до САУ-3D.

Последовательность выполнения геодезического обеспечения основных видов (этапов) работ:

1 Подготовительные работы включают разбивочные работы, актуализацию проекта на ремонт.

2 Создание цифровых проектов включает натурную съемку, создание БД и с использованием традиционной проектной документации – создание цифровых проектов.

3 Передача цифровых проектов на путевые строительные машины включает проверку цифровых проектов.

4 Контроль качества работ САУ, САУ-2D и САУ-3D с использованием log-файлов и БД протокола работы машин (ЭЛБ, ВПО,ЩОМ, ДСП).

5 Исполнительные съемки законченных ремонтом объектов.

На этапе подготовки данных для создания цифрового проекта на участок ремонта с использованием АПК «Профиль» и электронных шаблонов ЭШ-1 выполняется актуализация проектных данных. Для этого сравниваются в сечениях опор контактной сети фактические данные на момент изысканий и фактические данные непосредственно перед началом ремонта – рассчитываются изменения габаритов

приближения строений. В таблице 4.1 показаны отклонения значений габаритов приближения строений относительно проектных данных.

Таблица 4.1– Сравнение габаритов в сечениях опор контактной сети на участке 3082-3083 км по I пути перегон А-А

Проектные данные			Фактические данные			Разница	
Номер опоры	Габарит, существ.	Пикет	Номер опоры	Пикет	Габарит, (изм.)	Габаритов	Пикетов
окс103	3.92	3081150.97	103	3081151.50	3.83	-0.09*	-0.5
окс105	3.55	3081208.99	105	3081209.55	3.44	-0.11	-0.56
окс107	3.67	3081266.70	107	3081267.27	3.50	-0.18	-0.57
окс109	4.06	3081326.30	109	3081326.94	3.87	-0.19	-0.64
окс111	3.48	3081381.03	111	3081381.54	3.53	0.05	-0.51
окс113	3.63	3081439.54	113	3081440.08	3.61	-0.02	-0.54
окс115	4.20	3081501.45	115	3081501.92	3.94	-0.27	-0.47
окс117	3.69	3081559.73	117	3081560.25	3.69	0.00	-0.52
окс119	3.81	3081628.83	119	3081629.38	3.73	-0.08	-0.55
окс121	3.40	3081687.53	121	3081688.21	3.43	0.02	-0.68
окс123	3.68	3081751.82	123	3081752.44	3.68	-0.01	-0.62
окс125а	3.38	3081814.19	125	3081814.87	3.44	0.06*	-0.68
окс127	3.37	3081867.47	127	3081868.11	3.44	0.07	-0.64
окс129	3.82	3081921.76	129	3081922.34	3.90	0.08	-0.58
окс131а	3.74	3081967.94	131	3081968.66	3.74	0.00	-0.72
окс133	3.87	3082027.78	133	3082029.26	3.86	-0.01	-1.48
окс135	3.61	3082087.17	135	3082087.90	3.68	0.06	-0.73
окс137	3.32	3082142.76	137	3082143.42	3.48	0.16	-0.66
окс139	3.98	3082208.50	139	3082209.14	3.98	0.00	-0.64
окс141	3.57	3082270.66	141	3082271.36	3.70	0.13	-0.70
окс143	3.27	3082334.57	143	3082335.23	3.23	-0.04	-0.66
окс145	3.20	3082393.93	145	3082394.76	3.37	0.17	-0.83
окс147	4.09	3082453.89	147	3082454.54	4.11	0.02	-0.65
окс149	3.32	3082510.14	149	3082510.77	3.39	0.06	-0.63
окс151	4.10	3082568.24	151	3082568.88	4.07	-0.03	-0.64
окс153	3.49	3082631.02	153	3082631.55	3.54	0.04	-0.52
окс155	3.82	3082684.06	155	3082684.99	3.94	0.12	-0.93
окс157	3.49	3082744.55	157	3082745.22	3.60	0.11	-0.67
окс159	3.87	3082806.99	159	3082807.79	3.88	0.00	-0.80
окс163	3.75	3082918.39	163	3082918.94	3.80	0.04	-0.55
окс165	3.53	3082977.42	165	3082978.10	3.47	-0.06	-0.68

*Выделенные разности синим и зеленым цветом показывают значительные изменения в габаритах приближения строений с момента изысканий до начала ремонта.

Из таблицы видно, что изменения габаритов приближения строений свидетельствуют об изменении пространственного положения оси ремонтного пути, поэтому без учета данных изменений цифровой проект создавать нельзя. Изменения происходят из-за планово-предупредительных выправок пути методом сглаживания и влияния динамических факторов на путь.

Реконструкция (ремонт) выполняется, в соответствии с технологическим процессом, в девять этапов, каждый из которых сопровождается геодезическим обеспечением, за исключением двух этапов: разборка рельсошпальной решетки и замена инвентарных рельсов. При этом замена инвентарных рельсов на рельсовые плети связана с высокоточными измерениями в условиях рельсосварочного предприятия (РСП). Для этих целей разработана система технологического контроля рельсосварочного производства [6, 154].

Применение систем автоматизированного управления САУ-3D не влияет на структуру технологического процесса и не изменяет основные виды работ и последовательность их выполнения. Принципиально за счет автоматизации технологических процессов изменяются структура и методика геодезического обеспечения, так, на некоторых этапах, например при постановке пути в проектное положение геодезические данные (ЦП) являются основой автоматизации процесса балластировки пути и одновременного автоматизированного управления машинами тяжелого типа при постановке пути в проектное положение с использованием САУ-3D. Технологическая схема производства ремонта железных дорог с автоматизированным геодезическим обеспечением приведена на рисунке 4.2.

При проведении ремонта (капитального ремонта, реконструкции) железных дорог с использованием цифровых технологий, включающих цифровые проекты, САУ-3D, ГИС-технологии, ГНСС, лазерные сканеры и другие современные цифровые средства и методы геодезического обеспечения, технологическая карта работ и технологический процесс не изменяются. Новые средства измерений, цифровые проекты, системы управления строительной техникой сокращают объем

геодезических работ, автоматизируют технологические процессы частично или полностью в зависимости от видов работ и этапов их выполнения.



Рисунок 4.2 – Схема этапов геодезического обеспечения при реконструкции железнодорожных путей

Адаптация разработанных средств и методов геодезического обеспечения ремонта железнодорожного пути (см. разделы 2, 3) является комплексной задачей,

так как автоматизация геодезических работ или одного из этапов ремонта не обеспечивает автоматизации в целом технологического процесса. Поэтому, начиная с подготовительных работ и заканчивая исполнительными съемками, внедрены приборы, системы, методики, обеспечивающие высокий уровень автоматизации не только геодезического обеспечения, но и подготовки к технологии ремонта. С этой целью разработаны уникальные приборы, которые установлены на заводах по изготовлению исходных материалов и комплектующих для обеспечения высокого уровня автоматизации ремонта. Созданы способы, приборы и устройства контроля состояния инженерных сооружений и геодезического обеспечения на железных дорогах [64–66].

4.2.2 Система технологического контроля рельсосварочного производства

До начала ремонта железнодорожного пути выполняется заготовка рельсовых плетей для бесстыкового пути на рельсосварочных предприятиях. Для обеспечения технологического процесса создания рельсовой плети автором разработана система контроля рельсосварочного производства СТК-РП (рисунок 4.3). В основе устройства лежит измерительный блок. Измерительный блок состоит из несущей рамы 1, мерного колеса 2 с датчиком углового перемещения, направляющего ролика 3, пирометрического датчика 4 с электронным блоком 7, излучателя и приемника датчика начала/окончания рельсовой плети (фотодатчика) 5, электронного блока измерителя расстояния 6. Электронный блок соединен с компьютером при помощи кабеля 8. В качестве панели управления используются экран монитора и клавиатура компьютера. Прибор для технологического контроля рельсосварочного производства (СТК-РП) запатентован [75]. Проведены метрологические исследования, прибор внесен в Реестр средств измерения (Свидетельство RU.C.27.007.A № 25590, регистрация СТК-РП в Реестре средств измерения № 32964-06). Основная задача СТК-РП – высокоточное измерение ($1/10\ 000$), измерение длины рельсовой плети и ее приведение к расчетной ($20\ ^\circ\text{C}$) температуре. В основе работы СТК-РП лежит одометрический способ, который в отличие от

измерений лазерными приборами или по программе общего створа [46, 82, 94] обеспечивает измерения на криволинейных поверхностях в реверсивном автоматизированном режиме.

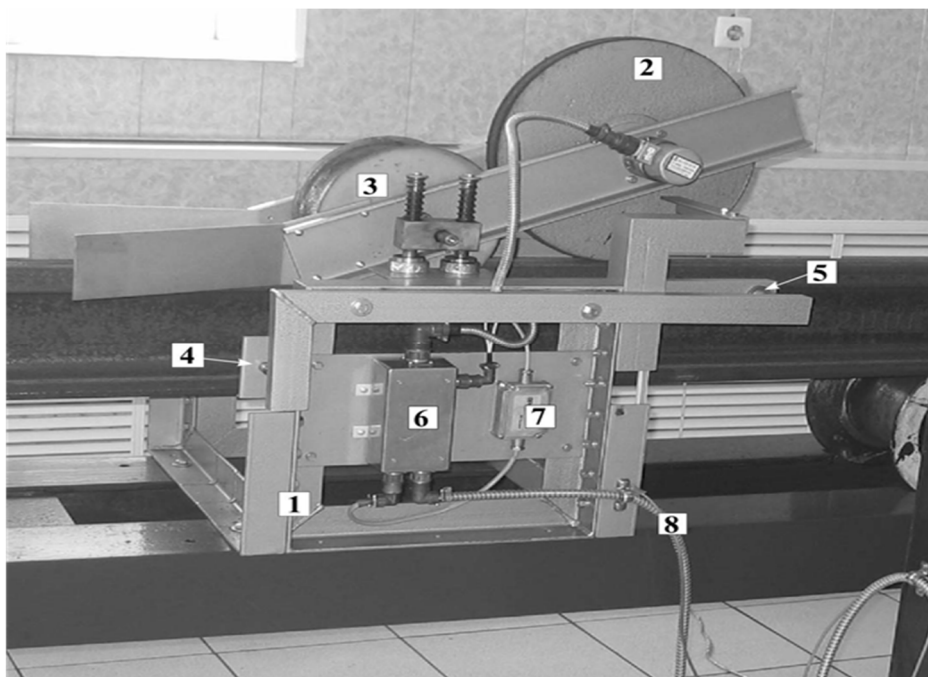


Рисунок 4.3 – Система контроля рельсосварочного производства СТК-РП

Принцип измерения расстояния одометрическим способом известен и заключается в расчете длины пути $S_{\text{изм}}$, пройденного мерным колесом (длины рельсовой плети), по известному значению радиуса R и количеству оборотов колеса, на практике – суммированию единичных приращений пути p при вращении измерительного колеса [2, 111].

Точность измерения длины рельсовой плети при реализации технических решений в одометрическом способе зависит от точности определения масштабного коэффициента, который определяется по формуле

$$m = \frac{S_{\text{эт}}}{S_{\text{изм}}}, \quad (4.1)$$

где m – масштабный коэффициент СТК-РП;

$S_{\text{эт}}$ – эталонное расстояние, полученное из нескольких контрольных промеров на отрезках заданной длины, измеренных лазерным дальномером DT-50 с магнитным датчиком принудительного центрирования;

$S_{\text{изм}}$ – расстояние, измеренное СТК-РП при использовании расчетного единичного приращения пути p ,

$$p = \frac{2\pi R}{n}, \quad (4.2)$$

где p – расчетное единичное приращение пути;

n – количество импульсов датчика пути на один оборот колеса;

R – радиус измерительного колеса.

Для определения рабочего значения масштабного коэффициента m используются три эталонных расстояния $S_{\text{эт}}$ и соответственно три масштабных коэффициента m_1, m_2, m_3 , по которым рассчитывается среднее значение коэффициента

$$m = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3}, \quad (4.3)$$

при расчете m_1, m_2, m_3 значение p для каждого эталонного расстояния остается неизменным, максимальная разность между коэффициентами не должна превышать 0,004 %. С учетом масштабного коэффициента m , измеряемое расстояние определяется по формуле

$$S_{\text{изм}} = m \sum_1^n 2\pi R \cdot p. \quad (4.4)$$

Системы технологического контроля рельсосварочного производства внедрены в России и Республике Казахстан. Системы технологического контроля рельсосварочного производства СТК-РП (3 шт.), установленные на РСП-29 в 2010–2011 гг., работают более 10 лет. В Республике Казахстан (РСП-11, Курорт Боровое) работают две установки с 2015 г. В таблице 4.2 показаны практические результаты

оценки точности измерения рельсовых плетей, полученные при исследовании изменения радиуса качения мерного колеса с течением времени.

Таблица 4.2 – Результаты оценки длины рельсовых плетей

Циклы измерений 2015 г.	Эталонное расстояние $S_{\text{эт}}$ (м)	Измеренное расстояние $S_{\text{изм}}$ (м) СТК-РП	Разность $S_{\text{эт}} - S_{\text{изм}}$ (м)
1 (январь)	441,332	441,310	+0,022
2 (апрель)	397,624	397,609	+0,015
3 (июнь)	310,113	310,138	-0,025
4 (сентябрь)	366,010	366,026	-0,016
5 (ноябрь)	102,615	102,613	+0,002

* Измерения длины рельсовой плети и эталонные расстояния выполнены одновременно, при постоянной температуре плети.

Внедрение СТК-РП на РСП (ст. Промышленная Кемеровской области) СТК-РП на трех технологических линиях обеспечивает создание рельсовых плетей, соответствующих проектным длинам, что не требует полевой резки и обеспечивает повышение производительности при укладке плетей в путь. Таким образом, на данном этапе решается с использованием разработанной автором системы одна из задач, не относящаяся к автоматизации ремонта, но обеспечивающая повышение уровня производительности при подготовке ремонта.

Высокоточные измерения длины рельсовых плетей на бесстыковом пути выполняются с использованием железнодорожного курвиметра (ЖК). Прибор обеспечивает дистанционное измерение температуры рельса для пересчета длины рельсовой плети на заданный температурный диапазон.

Средства измерения криволинейных поверхностей [38, 67, 105, 152], включая разбивочные работы, измерения расстояний и геометрических параметров при строительстве, паспортизации и диагностике автомобильных дорог [2, 29, 51, 70, 71, 73, 104, 118, 120, 150] широко применяются, но имеют низкую точность измерения расстояния (1/300–1/1 000). Железнодорожный курвиметр (рисунок 4.4), разработанный автором [154], обеспечивает измерение длины с относительной погрешностью (1 : 10 000), при этом учитываются изменения температуры рельса и выполняется перерасчет расстояния с приведением длины к расчетной

температуре (+20 °С), а также определение коротких неровностей (волнообразного износа рельсов) [87]. Прибор (ЖК) применяется для измерения длины плети при определении продольно-напряженного состояния рельсовых плетей [77].

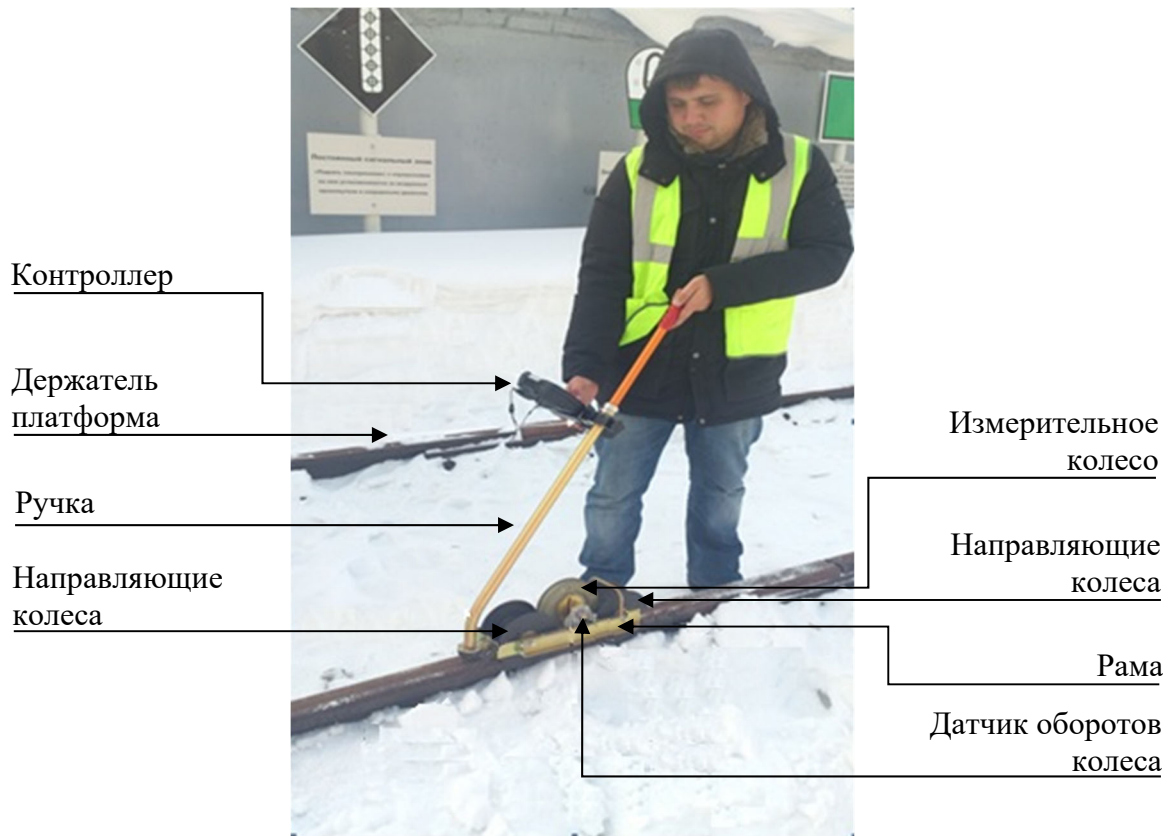


Рисунок 4.4 – Железнодорожный курвиметр

Результаты контроля длины рельсовых плетей (таблица 4.3) с использованием спутниковой аппаратуры ГНСС [145] позволили оценить фактические изменения длины рельсовых плетей с течением времени, например на участке Барнаул – Рубцовск.

Из таблицы видно, что в связи с ремонтами и эксплуатационной работой длины рельсовых плетей могут значительно отличаться от проектных значений, что требует проведения периодического контроля изменения их длины высокоточными эффективными методами. На рисунке 4.5 показано графическое представление данных контроля в отчетных документах.

Таблица 4.3 – Результаты контроля длин рельсовых плетей в процессе эксплуатационной работы на участке Барнаул – Рубцовск

Пикет	№ плети	Длина плети, м		Расхождение (м)
		по проекту	по факту	
247807.15	24811	800.00	797.53	2.47
248657.37	24891	800.00	800.27	-0.27
249244.92	24971	550.00	550.14	-0.14
249532.51	25031	262.50	262.60	-0.10
249807.46	25071	200.00	200.11	-0.11
250657.75	25091	800.00	800.17	-0.17
251207.94	25171	512.50	512.80	-0.30
252057.87	25231	800.00	799.97	0.03
252595.38	25311	500.00	500.08	-0.08
253445.72	25371	800.00	800.21	-0.21
254182.46	25451	700.00	699.16	0.84
254507.75	25531	300.00	300.23	-0.23
255358.87	25561	799.60	801.23	-1.63
256314.50	25641	912.94	918.17	-5.23
257165.04	25741	799.60	800.44	-0.84

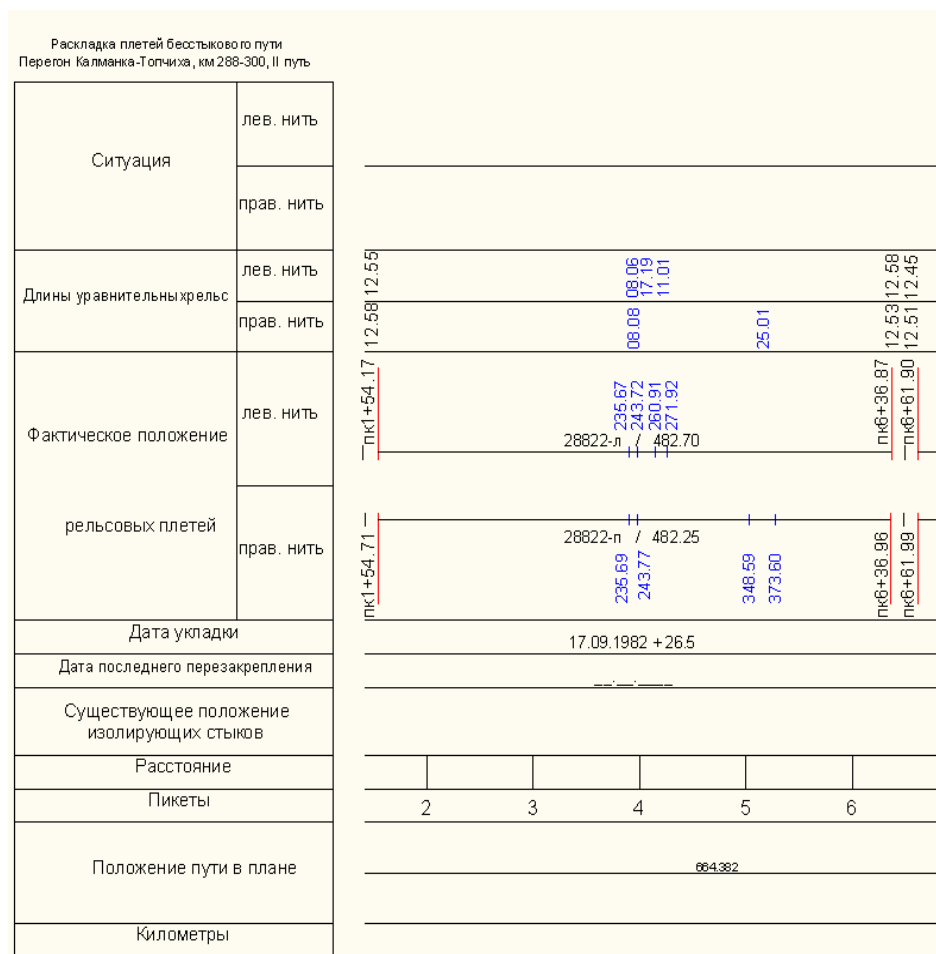


Рисунок 4.5 – Графическое представление в линейной системе координат рельсовых плетей

Разработка средств и методов измерения позволяет эффективно выполнять контроль длины рельсовых плетей и обеспечивать технологический процесс изготовления рельсовых плетей.

4.2.3 Адаптация приборов, методики и программного обеспечения с целью создания цифровых проектов для ремонта железнодорожного пути с использованием САУ

Цифровой проект создается на подготовительном этапе и используется на всех основных этапах ремонта, включая:

- вырезку загрязненного балласта;
- контроль уплотнения балласта;
- балластировку пути;
- постановку пути в проектное положение;
- контроль параметров чистовой выправки;
- исполнительные съемки на законченных ремонтных объектах.

Для создания ЦП в технологический процесс ремонта адаптирован АПК «Профиль», МЛС «Сканпуть», методика создания цифровых проектов и программное обеспечение (см. раздел 2). Подготовлены и утверждены регламенты их применения на железных дорогах.

Применение АПК «Профиль», МЛС «Сканпуть» полностью автоматизирует создание цифровых проектов, что исключает создание опорной и съемочной геодезической сети (рисунок 4.6). Вырезка и очистка балласта также обеспечивается автоматизированной системой управления, что исключает инструментальный контроль глубины вырезки и других параметров. Для реализации цифровых технологий внесены изменения в каждый этап по геодезическому обеспечению ремонта железных дорог, необходимые корректировки на исключение отдельных видов геодезических работ их замену на новые методы и средства с использованием ЦП и обеспечение взаимосвязи и интеграции с существующей технологией ремонта.

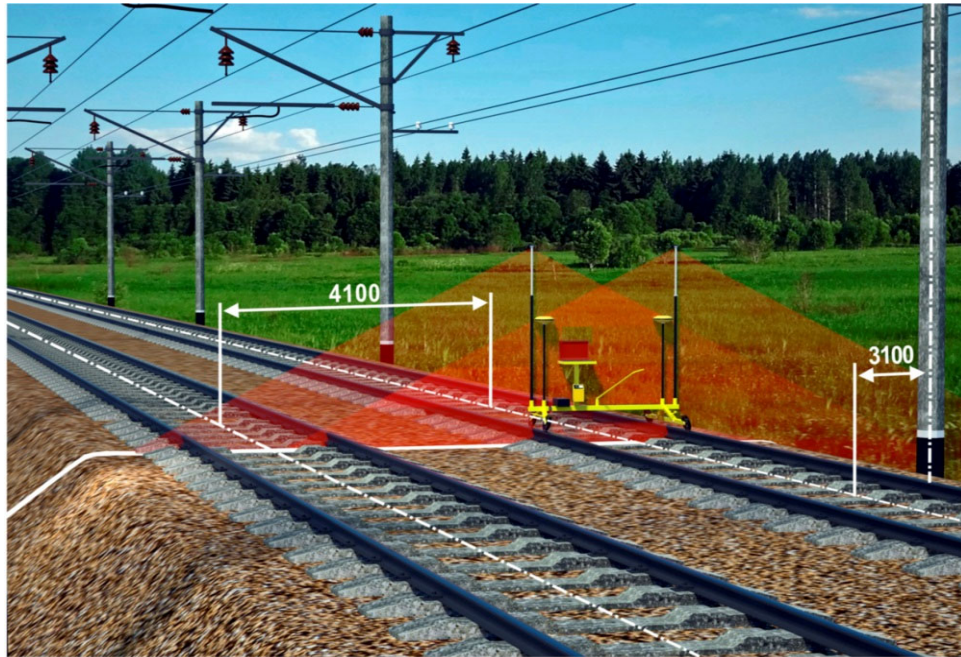


Рисунок 4.6 – АПК «Профиль» на участке работ по созданию ЦП

В соответствии с корректировками в технологической карте и технологическом процессе разработаны новые методы и средства геодезического обеспечения. Технологические карты производства работ остаются неизменными, при этом на 80 % сокращаются разбивочные работы, инструментальное геодезическое обеспечение строительно-монтажных работ и операционный контроль традиционными методами.

Для контроля отдельных параметров при выполнении технологического процесса ремонта железнодорожного пути используются электронные шаблоны с лазерными построителями плоскости и дальномерами для работы в комплексе с АПК «Профиль». Электронный шаблон ЭШ-1 (рисунок 4.7) [138, 141] обеспечивает определение геометрических параметров рельсовой колеи, габаритов приближения строений, автоматизированную привязку данных и их передачу по GSM-модему диспетчеру. Отличием ЭШ-1 от существующих измерительных средств (шаблонов) является возможность определения стрел изгиба и расчет параметров кривых, а также возможность выполнения разбивочных работ.

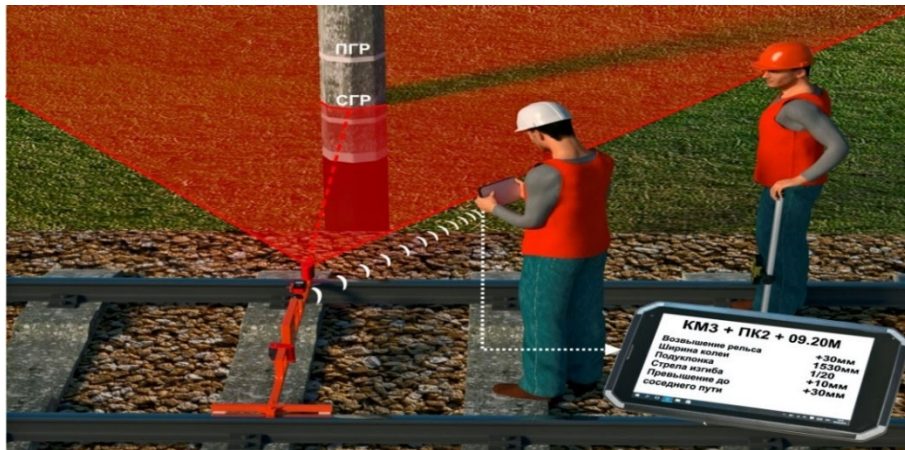


Рисунок 4.7 – Электронный шаблон ЭШ-1

Прибор в реализации технологического процесса имеет принципиальное значение, обеспечивая в единых с АПК «Профиль» стандартах текущий контроль геометрических параметров и вынос проектных данных в натуру. Он применяется на всех этапах ремонта.

После выполнения полевых работ с использованием АПК «Профиль» и электронного шаблона ЭШ-1 создаются базы данных и с применением традиционной проектной документации – цифровые проекты в ПК «Проект» [133].

Результатом реализации данного этапа является создание цифровых проектов для ремонта железных дорог при использовании САУ-3D (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Фрагмент цифрового проекта

x_ск42	y_ск42	h_ск42	Расстояние	d1	d2	d3	d4	Код	L_проект_путь	L_проект_иссо	H
6111649	645089.7	145.76	25472.27		0	0	0	1	0	3.85	145.85
6111649	645089.7	145.76	25472.27	74	0	0	0	90	6.93	3.85	145.85
6111649	645090.5	145.76	25473.3		0	0	0	0	6.91	3.85	145.85
6111650	645091.4	145.76	25474.32		0	0	0	0	6.89	3.85	145.85
6111650	645092.3	145.75	25475.35		0	0	0	0	6.87	3.85	145.84
6111651	645093.1	145.75	25476.38		0	0	0	0	6.85	3.85	145.84
6111652	645094	145.74	25477.41		0	0	0	0	6.84	3.85	145.83
6111652	645094.8	145.74	25478.43		0	0	0	0	6.82	3.85	145.83
6111653	645095.7	145.73	25479.46		0	0	0	0	6.8	3.85	145.82
6111653	645096.5	145.73	25480.49		0	0	0	0	6.78	3.85	145.82
6111654	645097.4	145.72	25481.51		0	0	0	0	6.76	3.85	145.81
6111654	645098.2	145.72	25482.54		0	0	0	0	6.74	0	145.81

Внедрение АПК «Профиль», МЛС «Сканпуть», методики создания цифровых проектов и программного обеспечения на предприятиях ОАО «РЖД» и промышленных предприятиях железнодорожного транспорта Российской Федерации и Республики Казахстан выполнено с 2012 по 2020 г. в следующих организациях:

- 1 Центр диагностики пути ЗСЖД.
- 2 Инженерный центр (ИЦ) «Ямал».
- 3 МУТ (МИИТ).
- 4 Октябрьская железная дорога.
- 5 Ур ГУПС.
- 6 ВСЖД (ПМС 66).
- 7 Заб ЖД (ПМС 11, ПМС 247).
- 8 ЗСЖД (ОПМС-19, ПМС-20, ПМС-22, ПМС-177, ПМС- 216).
- 9 КТЖ Республики Казахстан.

Внедрение на сети ОАО «РЖД» автоматизированных современных САУ особенно актуально, если учесть ежегодное выполнение только капитального ремонта в объеме 5,5 тыс. км, при этом аналогичные технологии применяются при реконструкции и других видах ремонта (приложение А).

4.2.4 Внедрение систем автоматизированного управления САУ на сети железных дорог ОАО «РЖД»

Внедрение разработанных с 2008 по 2020 г. автоматизированных систем управления для ремонта железных дорог (см. раздел 3) на сети железных дорог ОАО «РЖД» и «КТЖ» Республики Казахстан выполнялось поэтапно. На первом этапе в технологический процесс ремонта внедрены САУ-3D для балластировки и постановки пути в проектное положение [148, 157, 162] с использованием машин тяжелого типа – электробалластеров ЭЛБ-4С и выправочно-подбивочно-рихтовочных машин ВПО 3-3000. На втором этапе системами контроля вырезки балласта СКВБ были оснащены щебнеочистительные машины ЩОМ-1200 и RM-2002 и на третьем этапе оборудование (системы контроля уплотнения балласта) было

установлено на динамические стабилизаторы пути. Согласно технологической карте на основном этапе ремонта сначала работают щебнеочистительные машины, обеспечивающие очистку загрязненного балласта (ЩОМ-1200 и др.), далее по графику работают ДСП и на следующем этапе – ЭЛБ или ВПО, обеспечивающие балластировку и постановку пути в проектное положение в плане по высоте и по уровням комплексе с динамическим стабилизатором пути, осуществляя уплотнение балласта.

Система контроля вырезки балласта СКВБ [81]. СКВБ (рисунок 4.8) предназначена для установки на щебнеочистительные машины и определения глубины вырезки балласта, а также уклона основной площадки при очистке или вырезке щебня. Подробное описание принципа работы и устройства СКВБ было приведено в разделе 3.2. Точность (СКО) определения глубины вырезки балласта – 1 см, поперечных уклонов – 0,002.

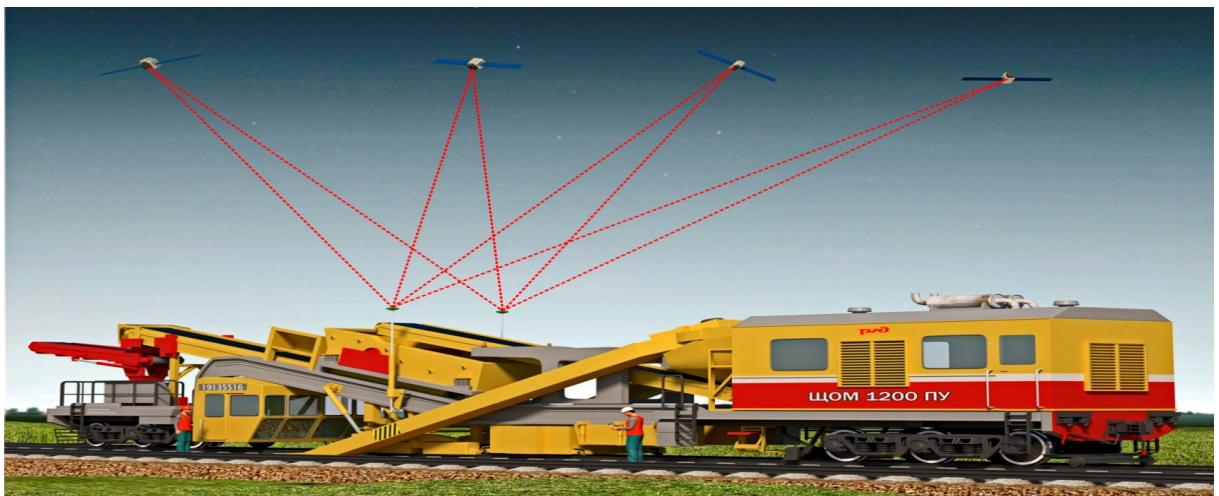


Рисунок 4.8 – Система контроля вырезки балласта СКВБ
щебнеочистительной машиной ЩОМ-1200

На ЩОМ-1200 установлена СКУБ (САУ-3D), а на RM2002 – система индикаторного типа. Основная задача щебнеочистительных машин – очистка загрязненного щебня – контролируется в лаборатории контроля качества. Обеспечение высокого качества работ на данном этапе минимизирует копирование неровностей

основной площадки на рельсовую колею, обеспечивает проектную глубину вырезки и очистки загрязненного щебня.

Система контроля уплотнения балласта (СКУБ) [81]. СКУБ (рисунок 4.9) предназначена для управления процессом уплотнения балластом и оценки качества уплотнения балласта после завершения реконструкции и ремонта железных дорог. Устройство и принцип работы были приведены в разделе 3.3. Точность (СКО) определения коэффициента уплотнения балласта 0,02 в диапазоне изменения коэффициента уплотнения 0,05–0,2 [35].

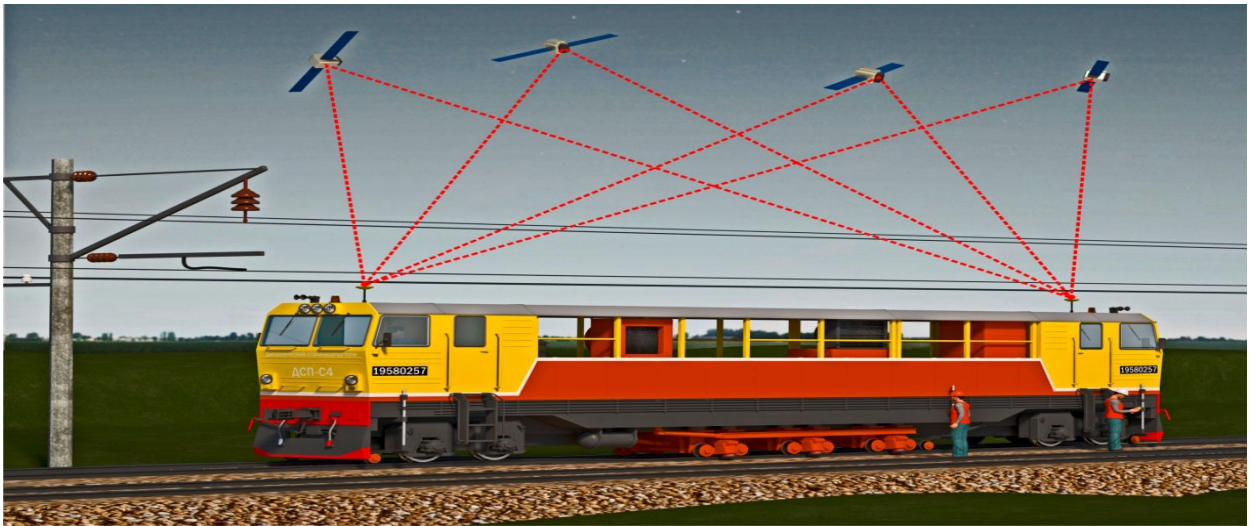


Рисунок 4.9 – Система контроля качества уплотнения балласта ДСП

По отношению с традиционными методами оценки коэффициента уплотнения по высотным отметкам СКУБ позволяет по данным, например геометрического нивелирования до прохода по рыхлому балласту и после прохода ДСП с работой уменьшить трудоемкость работ за счет автоматизации определения коэффициента, при этом основная функция – это возможность регулирования за счет изменения скорости движения ДСП коэффициента уплотнения для получения стабильного уплотнения на протяжении всего участка ремонта. СКУБ не ограничивает производительность ДСП и не усложняет организацию работ.

Система автоматизированного управления (САУ-3D) электробалластера и выправочно-подбивочно-рихтовочной машины (ВПО) [58, 78]. САУ-3D (рисунок 4.10)

предназначена для установки на ЭЛБ-4С или ВПО 3-3000 и применяется для постановки пути в проектное положение при реконструкции и ремонте железных дорог. Обеспечивает выправку пути в плане, по высоте и уровню, позволяет записывать log-файлы для оценки качества работ. Устройство и принцип работы для САУ-3D (ГНСС) и САУ-3D (ТБН) были подробно описаны в разделе 3.4. Точность (СКО) измерения САУ-3D геометрических параметров составляет 1 мм, а реализации проектных решений по выносу проекта в натуру (постановке пути в проектное положение) относительно опорной геодезической сети составляет 2 см [33, 140]. На рисунке 4.10 показан метод контроля положения оси пути относительно опор контактной сети с использованием лазерного дальномера. Результаты контроля приведены в таблице 4.5.

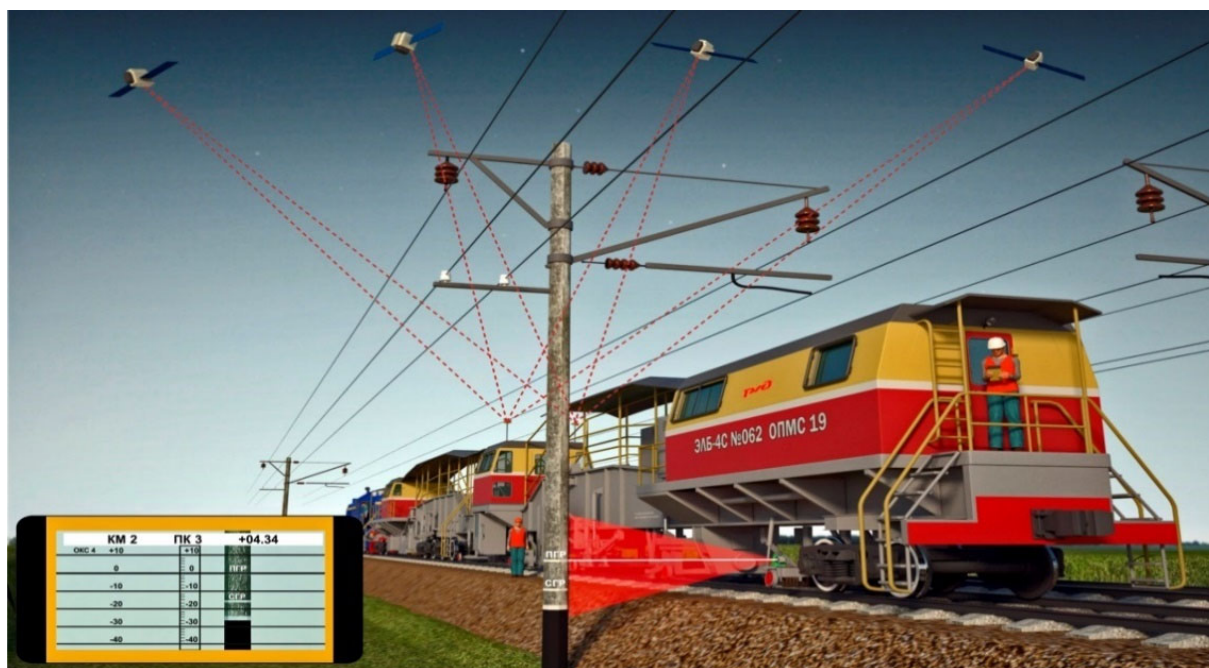


Рисунок 4.10 – Система автоматизированного управления (САУ-3D) электробалластера ЭЛБ-4С

Из таблицы 4.5 видно, что из трех балластировок (№ 1, 2, 3) геопространственное положение пути по данным в сечениях ОКС на неуплотненном балласте на участке ремонта при окончательной (№ 3) балластировке не превышает 2 см [150]. Традиционные методы постановки пути обеспечивают постановку пути

относительно опорной геодезической сети в проектное положение с точностью (СКО) 5 см. При чистовой выправке пути (на соответствующем этапе работ) из-за низкой точности сложнее обеспечить требования к геометрии рельсовой колеи [28, 144]. Перспективным направлением является оснащение САУ-3D новых типов машин [25].

Таблица 4.5 – Пример оценки качества работы электробалластера ЭЛБ-4С

Данные по проекту		Автоматизированная работа ЭЛБ		
Пикет, Км+	Междупутье проектное, м	Междупутье, 1-й проход ЭЛБ, балласт не уплотнен, м	Междупутье, 2-й проход ЭЛБ, балласт уплотнен, 1-й проход ДСП, м	Междупутье, 3-й проход ЭЛБ, балласт уплотнен, 2 прохода ДСП, м
239 067,86	5,05	5,03	5,01	5,03
239 130,64	3,37	3,38	3,38	3,37
239 373,99	2,98	3,02	2,97	3,00
239 424,18	3,19	3,20	3,22	3,19
239 474,08	3,28	3,30	3,29	3,28
239 991,31	2,74	2,75	2,74	2,74
240 095,30	2,96	3,01	2,88	2,95
240 147,25	3,05	3,03	3,02	3,04
240 198,58	2,91	2,93	2,95	2,90
240 246,35	2,75	2,82	2,91	2,77
240 297,66	2,65	2,69	2,67	2,65
241 257,20	2,69	2,69	2,68	2,70
241 318,33	2,66	2,68	2,66	2,68

Внедрение САУ и оборудования выполнено в следующих организациях.

- 1 Октябрьская железная дорога.
- 2 ВСЖД (ПМС 66).
- 3 Заб ЖД (ПМС 11, ПМС 247).
- 4 ЗСЖД (ОПМС-19, ПМС-20, ПМС-22, ПМС-177, ПМС- 216).
- 5 КТЖ Республика Казахстан (КТЖ «Дистанция пути № 11, г. Нур-Султан (Астана)).

Внедрение САУ позволило автоматизировать наиболее трудоемкие процессы геодезического обеспечения ремонта железнодорожного пути, повысить безопасность работников и производительность работ [56]. При этом перспективным направлением для развития САУ-3D, ГИС-технологий и ГНСС являются скоростные и высокоскоростные магистрали [142, 143].

4.2.5 Исполнительные съемки законченных ремонтных участков железнодорожного пути

Исполнительная съемка и подготовка технической документации выполняются в соответствии с требованиями «Положения о проведении реконструкции (модернизации) железнодорожного пути (Распоряжение ОАО «РЖД» № 1374 от 01.07.2009) и техническими требованиями (Распоряжение № 75 р от 18.01.2013, раздел 11). Методика создания унифицированных отчетных форматов данных приведена в нормативных документах [14, 49].

Для создания отчета необходимы стандартные (типовые) исходные документы:

- продольный профиль;
- габариты приближения строений;
- поперечный профиль;
- карточка железнодорожной кривой;
- геометрия рельсовой колеи;
- ЦП;
- log-файл САУ-3D (ЭЛЬ, ВПО, ЩОМ, ДСП).

После проведения работ, связанных с ремонтом (модернизацией) железнодорожного пути, необходимо выполнить исполнительную съемку с целью проверки соответствия текущего пространственного положения пути и его геометрических параметров проектным решениям, и как следствие – качества строительных работ.

Для выполнения исполнительных съемок автором разработан мобильный лазерный сканер [59], в основе которого лежат 2D сканирующая головка,

спутниковая аппаратура и инерциальная система, установленные на ходовой тележке (см. раздел 2.1.2), а также приборы для испытаний ИССО [147].

МЛС «Сканпуть» внесен в Реестр средств измерения РФ (АПК «Сканпуть» – RU.E.27.007.AN45843) (приложение Г).

При выполнении исполнительных съемок МЛС «Сканпуть» обеспечивает определение пространственных данных и геометрических параметров, включая координаты оси пути, геометрические параметры рельсовой колеи, по результатам лазерного сканирования создается облако точек, которое используется для создания поперечных и продольных профилей, определения балластного плеча, откосов и т. д. Для создания отчетной документации внедена (уровень технических отделов ПМС) методика обработки данных и создания поперечных и продольных профилей, паспорта кривой, геометрии рельсовой колеи с использованием разработанных для АПК «Профиль» и МЛС «Сканпуть» программных комплексов (ПК):

- Profile;
- Curvis;
- Vi Профиль-2;
- Way;
- Профиль-1.

С использованием ПО Leica Cyclone получаем данные для продольного и поперечного профиля. Построение профилей выполняется в ПО Профиль-1, Vi Профиль-2. На рисунке 4.11 показан фрагмент создания поперечного профиля в заданном сечении участка железнодорожного пути.

Поперечные профили в соответствии с требованиями [49] создаются в программе AutoCAD. На рисунке 4.12 показана схема поперечных профилей для отчета по исполнительной съемки законченных ремонтных участков железнодорожного пути.

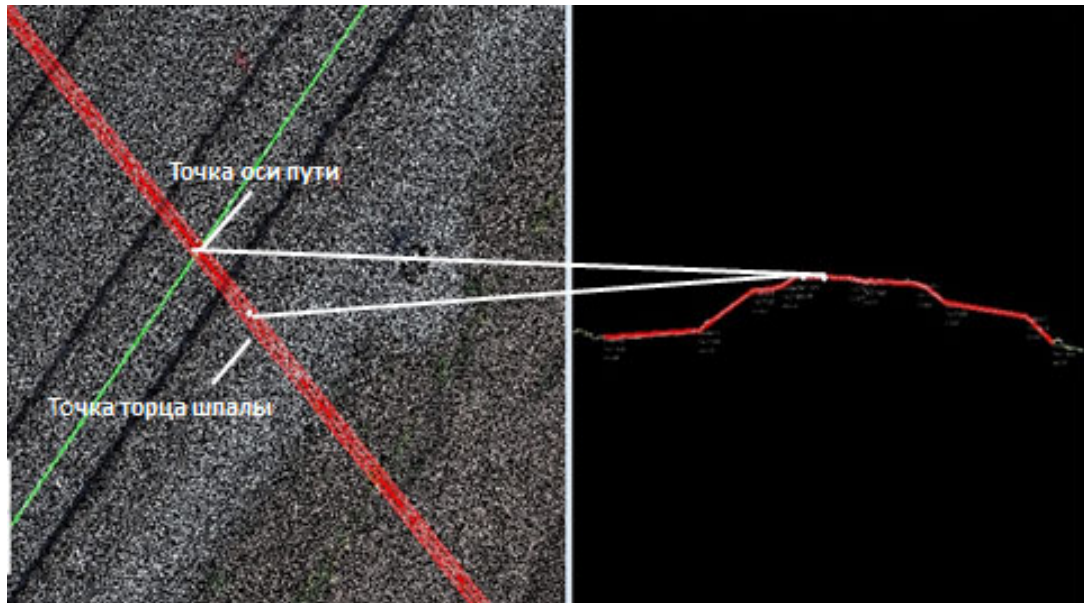


Рисунок 4.11 – Создание поперечного профиля

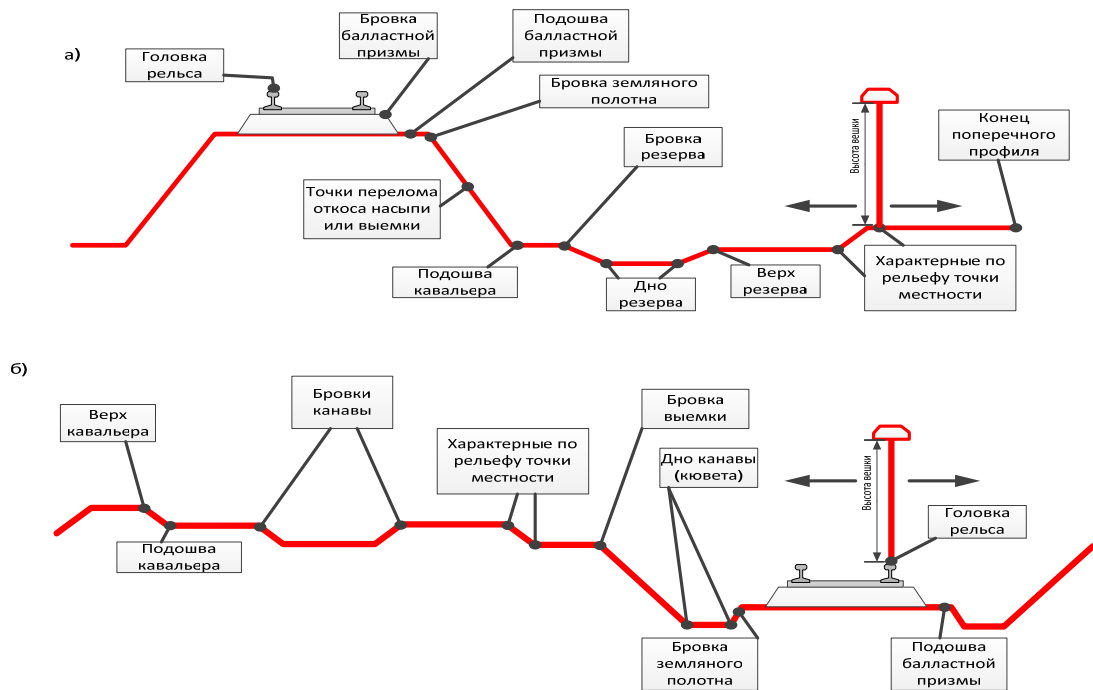


Рисунок 4.12 – Схема создания поперечных профилей

Конечным результатом для отчета является сравнение проектных и фактических данных поперечных профилей, например разность фактических и проектных отметок в характерных точках поперечного профиля (см. рисунки 4.12, 4.13).

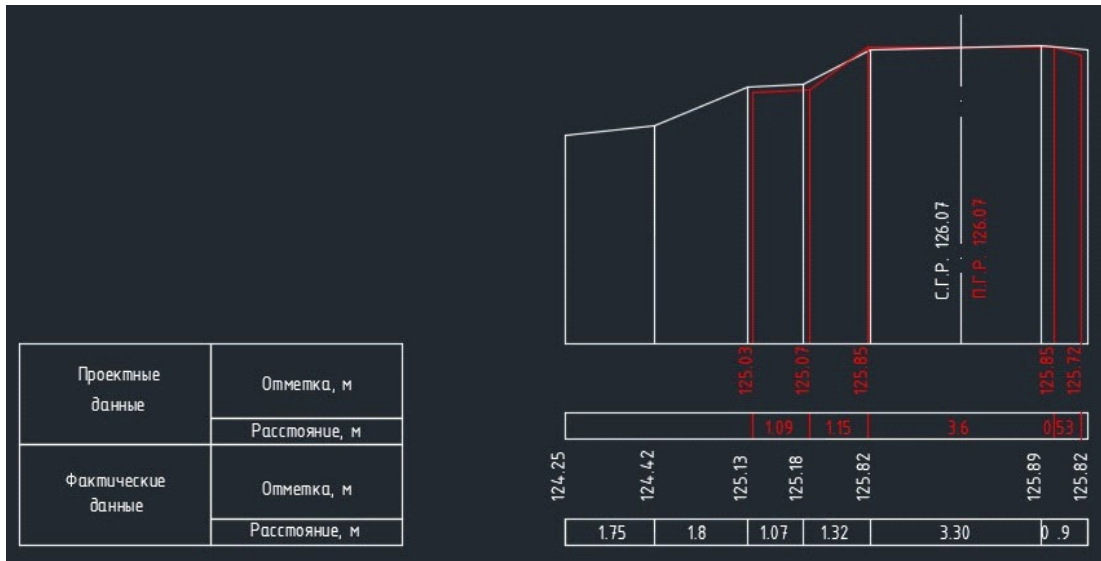


Рисунок 4.13 – Поперечный профиль в стандартных форматах

Особенностью продольных и поперечных профилей в отчетной документации по исполнительным съемкам является наличие проектных и фактических данных в одном документе.

По отклонениям фактических данных во всех характерных точках профиля (рисунок 4.14) в соответствии с требованиями [49] определяется качество работ.

Аналогично качество оценивается и по продольным профилям (см. рис 4.14).

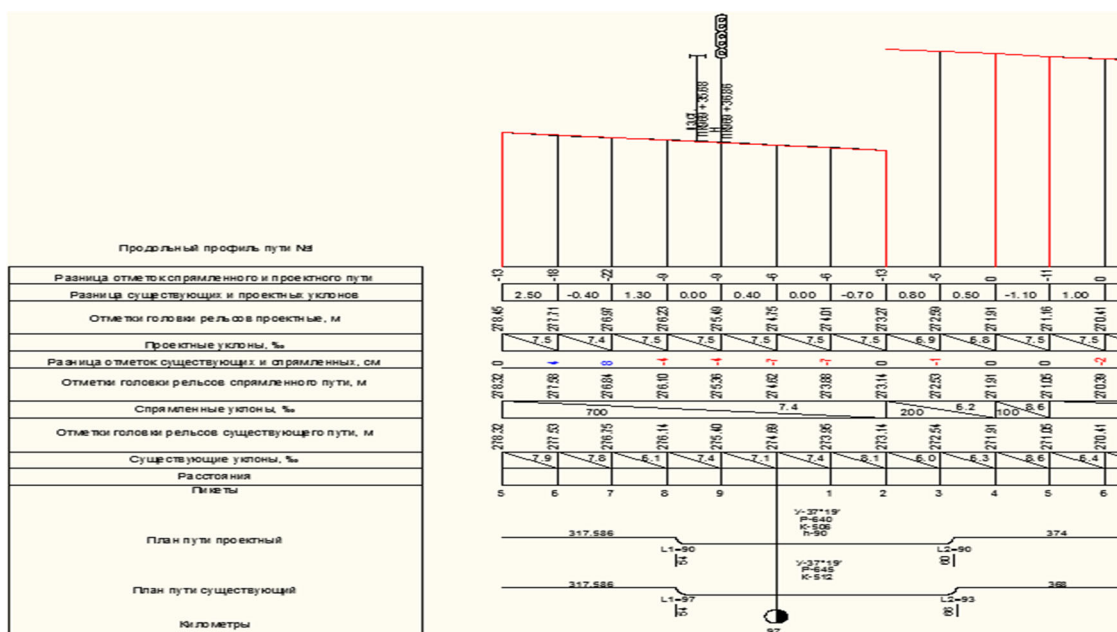


Рисунок 4.14 – Продольный профиль для отчета по исполнительной съемке

Разработаны средства контроля и методика расчета геометрических параметров с использованием ГНСС, получен опыт практического использования данных [11, 12, 129, 130]. Для расчета геометрии рельсовой колеи в стандарте ЦП 515 (рисунок 4.15). Используется ПО Way. Данные для формирования таблицы применяются в соответствии с [49].

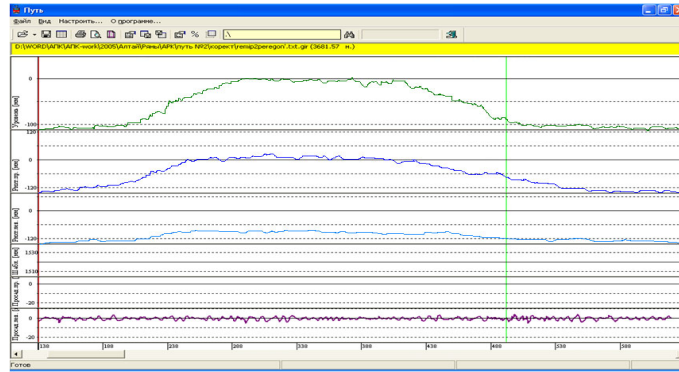


Рисунок 4.15 – Геометрия рельсовой колеи

Для создания карточки кривой формы ФП–5 (рисунок 4.16) используется ПО Curvis. Оцениваются все параметры железнодорожной кривой, включая производные от измеренных результатов при выполнении натурной съемки.



Карточка кривой ФП-5

ПС:	Ведомость от 05.04.2005		Направление		Поездка: 05.04.2005		ПЧ:	
Участок:	3				Путь:		155-158	
Кривая:	1		Характеристики кривой		Отвод		1-я переходные 2-я	
правая:	3		Начало		Конец		Дл.	
	км	пк	км	пк	Дл.	уг	тах	ср.
план	156	9+64	156	7+40	776	36.89	1.29	0.43
уров.	156	0+04	156	0+04	0	0	126	0.89
план-уров.		-40		736	776		0	0.00
							0.38	138
							0.00	0
пр.	сл. 0.157		Характеристики круговой кривой		Радиус/уровень		анп	
	км	пк	км	пк	Дл.	min	тах	ср.
план	156	0+90	156	6+02	512	920	1067	993
уров.	156	0+04	156	0+04	0	0	0	0
план-уров.		36		598	512			
							4+35	0+12
							0.84	0.22
							0.30	
							Вкр	140
							Виз	90
							ВДп	55

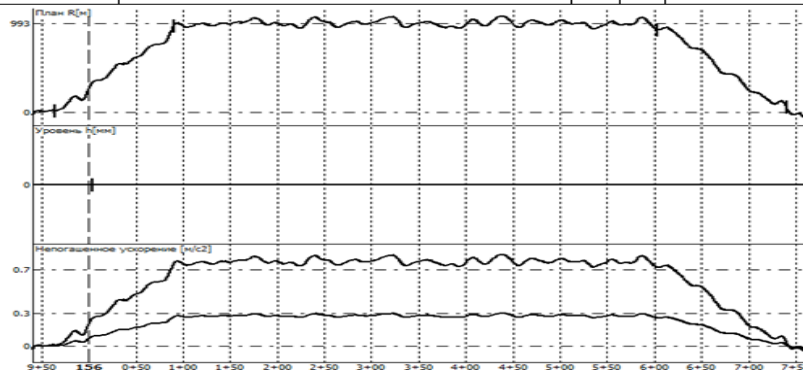


Рисунок 4.16 – Карточка кривой

В таблице 4.6 приведены характерные отклонения параметров железнодорожных кривых от нормативных требований по одному из участков ремонта ЗСЖД.

Из таблицы 4.6 видно, что САУ-3D обеспечивает нормативные требования при постановке кривых в проектное положение [49].

Масштабный план станции (при выполнении ремонта железнодорожных путей на станции) создается по данным АПК «Профиль» или МЛС «Сканпуть» с использованием ПО «ArcViewGIS». На рисунке 4.17 представлен масштабный план станции А, созданный в соответствии с нормативными требованиями ОАО «РЖД» (ЦПТ 54/26).

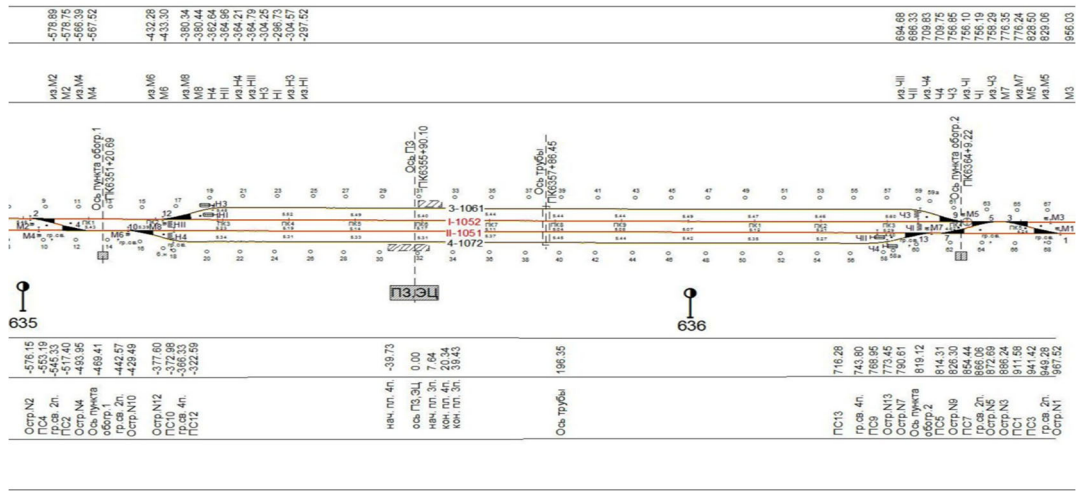


Рисунок 4.17 – Масштабный план станции А

Создание отчетных документов по исполнительной съемке необходимо для формирования стандартных отчетных таблиц для оценки качества ремонта в соответствии с нормативными требованиями [49, 84]. В таблице 4.7 приведены основные требования для приемки законченных ремонтных участков железнодорожного пути.

При соответствии полученных данных нормативным требованиям (см. таблицу 4.7) законченных ремонтных участков железнодорожного пути составляется акт и выполняется (в соответствии с регламентом) приемка участка отремонтированного пути в эксплуатацию.

Таблица 4.6 – Данные по оценке качества постановки пути в проектное положения с использованием координатных (цифровых) методов, реализованных САУ-3D ЭЛБ

№	Начало кривой	Конец кривой	Радиус проектный R, м	Длина кривой	Длина проектной переходной кривой L ₁ , м	Длина проектной переходной кривой L ₂ , м	Начало кривой	Конец кривой	Радиус R, м	Длина кривой, м	Длина переходной кривой L ₁ , м	Длина переходной кривой L ₂ , м	Отклонение среднего радиуса круговой кривой, %		Длина переходной кривой L ₁ менее проектной на величину, м		Длина переходной кривой L ₂ менее проектной на величину, м	
													Норма, не более	Факт	Норма, не более	Факт	Норма, не более	Факт
1	148кмПК9+7	149кмПК5+8	980	610.58	110	110	148кмПК9+59.00	149кмПК5+89.00	986	630	117	112	8.00	0.61	10.00	+ 7м	10.00	+ 2м
2	150кмПК7+0.	151кмПК4+2	970	638.29	140	140	150кмПК7+82.00	151кмПК4+27.00	983	645	144	138	8.00	1.34	10.00	+ 4м	10.00	2.00
3	155кмПК0+9	156кмПК0+2	993	634.72	120	80	Отсутствие GSM-связи на перегоне											
4	156кмПК0+6	156кмПК7+2	800	732.15	80	115	Отсутствие GSM-связи на перегоне											
5	156кмПК9+7	157кмПК7+3	990	756.70	120	120	156кмПК9+64.00	157кмПК7+40.00	993	776	126	138	8.00	0.30	10.00	+ 6м	10.00	+ 8м
6	157кмПК9+0	158кмПК3+5	950	453.16	120	120	157кмПК8+97.00	158кмПК3+69.00	965	472	126	119	8.00	1.58	10.00	+ 6м	10.00	1.00
7	158кмПК4+7	158кмПК9+3.	901	507.30	120	120	158кмПК4+83.00	158кмПК9+66.00	900	483	124	110	8.00	0.11	10.00	+ 4м	10.00	10.00

Автоматизация заполнения форм отчетных документов напрямую зависит от средств, с помощью которых производился сбор полевых материалов. Если использовались автоматизированные средства измерений, такие как путеизмерительные тележки АПК «Профиль», АПК «Сканпуть» и др., позволяющие осуществлять сбор всех необходимых сведений о геометрических параметрах пути, то необходимо применять соответствующие программные продукты, входящие в состав измерительных комплексов.

Таблица 4.7 – Приемка и оценка качества выполненных работ [49]

N п/п	Параметры и условия приемки (неприемки) пути. Средства контроля	Значения параметров отремонтированного пути при видах ремонта										
		Р, К, Ка			С, РС			П				
		Скорость движения поездов, км/ч										
1	2	3	4									
1	Максимальные уклоны продольного профиля <1>, <3>	принимается	Руководящий уклон не превышен									
		не принимается	Руководящий уклон превышен									
2	Максимальная разность уклонов смежных элементов профиля, <1>, <3>	принимается	Требования таблицы 8.1 настоящих ТУ не превышены						Не хуже, чем после предыдущего ремонта			
		не принимается	Требования таблицы 8.1 превышены						Не соответствуют			
3	Длина элементов продольного профиля менее проектных на величину, м <1>, <3>	принимается	до 50			до 50			до 75			
		не принимается	более 50			более 50			более 75			
4	Величина длинных неровностей в продольном профиле, мм <1>, <3>	принимается	-	< 30	< 30	-	< 30	< 30	-	-	-	
		не принимается	-	> 30	> 30	> 30	> 30	> 30	-	-	-	
5	Отклонения среднего радиуса (средней стрелы изгиба) круговой кривой от проектного, % <1>, <3>, <*>	принимается	< 10	< 8	< 8	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 8	
		не принимается	> 10	> 8	> 8	> 10	> 10	> 10	> 10	> 10	> 18	
6	Длины переходных кривых, менее проектных на величину <1>, <3>	принимается	10			20			10		25	20
		не принимается	> 10			> 20			> 10		> 25	> 20
7	Максимальная крутизна отвода возвышения в переходных кривых (допускаемый уклон, <1>, <3>)	принимается	Уклон отвода возвышения не превышает значений таблицы 8.2									
		не принимается	Уклон отвода возвышения превышает значения таблицы 8.2									
8	Несовпадение точек начала и конца переходных кривых по возвышению и кривизне, м <1>, <3>	принимается	не более 5 м			не более 5 м			не более 5 м			
		не принимается	более 5 м			более 5 м			более 5 м			
9	Величина горизонтальных неровностей в прямых участках длиной более 40 м, мм <1>, <3>	принимается	-	< 20	< 20	-	< 20	< 20	-	-	-	
		не принимается	-	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20	-	-	-	
10	Отклонения от норм по уровню на длине более 30 м, мм <2>	принимается	До 6	До 4		До 6	До 4		До 6	До 4		
		не	>	> 4		>	> 4		> 6	> 4		
		принимается										

Методика формирования отчетных форматов и структуры данных заключается в подготовке исходных данных для обработки в соответствии с протоколом обмена данными и требованиями к исходным форматам и структуре данных программного обеспечения, обработкой (расчета параметров) и формированием отчетных таблиц и актов.

Продольный профиль используется для формирования отчетных документов по оценке качества, балластной призмы земляного полотна, характеристики кривых, продольных уклонов.

Для расчета и оценки качества используются пространственные данные оси пути и геометрические параметры рельсовой колеи.

Поперечный профиль используется для оценки качества земляного полотна и балластной призмы проектным и нормативным требованиям. Для формирования отчетных документов необходимо использовать пространственные данные (координаты точек съемок).

Габариты приближения, полученные в результате исполнительных съемок, используются для оценки соответствия (габаритов приближения строений) нормативным требованиям и оценки качества постановки пути в проектное положение в заданных сечениях.

Вся отчетная документация, сформированная по результатам исполнительных съемок по геодезическому обеспечению ремонта (модернизации) железнодорожных путей, должна соответствовать требованиям распоряжения ОАО «РЖД» № 75р от 18.01.2013 [49].

Формы документов, использующихся при приемке железнодорожного пути, приведены в приложении № 5 распоряжения ОАО «РЖД» от 18.01.2013 № 75р [49]. Ежегодно объем ремонта с использованием САУ, например на ЗСЖД, составляет около 500 км, такой же объем выполняется при создании цифровых проектов АПК «Профиль». Объем геодезических съемок по железнодорожным станциям с использованием АПК «Профиль» составляет 600 км. Например, только по ЗСЖД в 2018 г. выполнены геодезические съемки ст. Новосибирск Главный,

Комбинатская, Любинская, Бердск, Черкасов Камень, Кемерово-Сортировочное, Алтайская. Все разработки, включая способы и средства измерений, защищены патентами на изобретение (всего более 20 патентов), а приборы сертифицированы и внесены в Реестр средств измерения. По теме исследований заключено 16 хозяйственных договоров.

Опыт внедрения (адаптации) показал, что разработка САУ для различных типов строительных железнодорожных машин потребовала решения не менее сложных задач по созданию цифровых проектов, так как применять методику, разработанную для планировочных работ с использованием автотракторной техники на железных дорогах, нельзя. Проектные поверхности в данном приложении для автотракторной техники обеспечивают определение по местоположению разности фактической и проектной отметок и формирование управляющего сигнала САУ для перемещения рабочих органов на соответствующую величину. Строительные железнодорожные машины жестко привязаны к оси ремонтируемого железнодорожного пути. Это связано с габаритами приближения строений, сопряжения различных конструкций железнодорожного пути. Поэтому на разработку цифровых проектов были затрачены большие усилия и финансовые ресурсы. В конечном итоге создание цифровых проектов после многочисленных упрощений и усовершенствования программного обеспечения удалось организовать в ПМС (техническими отделами), что расширило возможности применения САУ.

Разработка САУ также имеет отличия от автотракторной техники и потребовала значительных усилий, так как необходимо обеспечить радиовидимость на навигационные спутники при том, что рабочие органы машин находятся либо под балластом, либо на балласте и полностью закрыты для навигационных спутников.

Для контроля геометрии рельсовой колеи и технического состояния верхнего строения пути на сети железных дорог внедряются приборы, основанные на динамических методах, в основе которых лежат инерциальные системы [121, 122]. Данный метод применяется в качестве системы оперативного контроля для выявления отклонения от нормативных требований в метрополитенах. Приборы для

динамического контроля можно устанавливать на локомотивы, что обеспечит ежедневный контроль состояния рельсовой колеи, а в перспективе и оценку качества ремонта.

Одной из основных задач при переходе от разбивочных чертежей и инструментальных методов к автоматизированным системам и в целом автоматизации геодезического обеспечения реконструкции и ремонта железных дорог является обучение [124]. Опыт показал, что для обучения специалистов при переходе, например на постановку пути в проектное положение с использованием САУ необходимо в течение одного месяца обучать специалистов технических отделов ПМС созданию цифровых проектов и в течение одной недели – машинистов для изучения теоретических основ работы САУ и получения практического опыта работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования реализовано новое комплексное направление, связанное с применением современных геоинформационных методов получения и использования геопространственной информации об инфраструктуре железнодорожной отрасли всех иерархических уровней для решения задач в рамках программы «Цифровая железная дорога». Поставленная цель – разработка и исследование комплекса технологических решений автоматизации геодезического обеспечения реконструкции и ремонта железнодорожного пути – достигнута. Основные научные и практические результаты, полученные в ходе исследования, заключаются в следующем.

1 Выполнен анализ методов и средств автоматизации геодезического обеспечения при реконструкции и ремонте железнодорожного пути, что позволило систематизировать и определить уровень отечественных и зарубежных средств автоматизированного управления железнодорожной строительной техникой и сформулировать задачи диссертационного исследования.

2 Разработаны теоретическое обоснование, методика и средства измерений на базе ГИС-технологий, гироскопической техники и ГНСС для создания цифровых проектов автоматизированного управления строительной железнодорожной техникой, что позволило исключить недостатки геодезических (высокая трудоемкость) и относительных (отсутствие координат) методов, при определении геометрических параметров рельсовой колеи и объектов инфраструктуры.

3 Разработаны принципиальная схема и устройство системы автоматизированного управления для строительной железнодорожной техники, отличающиеся от существующих тем, что измерительный комплекс учитывает специфику железных дорог и содержит три составляющих измерительной системы, включающие спутниковые измерения, редукцию координат на ось пути и измерение положения рабочих органов относительно виртуального фазового центра спутниковых антенн, что обеспечивает функциональные возможности САУ по вырезке балласта, выправке пути и решение других задач.

4 Разработана теоретически обоснованная нормативно-правовая база для обеспечения работы САУ, включающая временный регламент, «Техническое обслуживание систем управления (САУ) на базе ГНСС и АПК “Профиль” при подготовке к работе и в процессе эксплуатации» и «Инструкцию по геодезическому обеспечению реконструкции и ремонта железных дорог с применением ГНСС и систем управления на их базе» (Распоряжение ОАО «РЖД» от 31.12.2015 № 3214).

5 Результаты исследований внедрены в технологические процессы при реконструкции и ремонте железнодорожных путей, что позволило автоматизировать геодезическое обеспечение строительными процессами в ходе реконструкции и ремонта железнодорожных путей, сократить сроки выполнения работ, обеспечить высокую надежность и безопасность, а также возможность оперативной визуализации данных на основе цифровых технологий.

Таким образом, поставленные цели и задачи решены. В результате исследований получены новые технологические и технические решения по автоматизации геодезического обеспечения ремонта и реконструкции железнодорожных путей, получены новые научно обоснованные технические, технологические решения, внедрение которых внесло значительный вклад в развитие страны.

Перспективы дальнейших исследований направлены на расширение функциональных возможностей оборудования для оснащения строительных и железнодорожных машин.

Результаты диссертационного исследования рекомендуются к использованию при новом строительстве железных дорог скоростного и высокоскоростного движения.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АТСП	– алюминотермитная сварка стыков на стрелочных переводах
ВКС	– высокоточная координатная система
ВПО	– выправочно-подбивочная отделочная машина
ВПр	– выправочно-подбивочно-рихтовочная машина
ВПС	– вагон – путеобследовательская станция
ВСП	– верхнее строение пути
ГГС	– государственная геодезическая сеть
ГЛОНАСС	– глобальная навигационная спутниковая система
ГНСС	– глобальные навигационные спутниковые системы
ЕК АСУ-И	– единая корпоративная автоматизированная система управления инфраструктурой
ЕСМД-И	– единая система мониторинга и диагностики инфраструктуры
ЕТБ-И	– единая технологическая база объектов инфраструктуры
ИК	– инфракрасный
ИССО	– искусственные сооружения
КЛ	– компьютеризованный вагон-лаборатория
ОЗЭ	– общеземной эллипсоид
ПБ	– планировщик балласта
ПМС	– путевая машинная станция
ПО	– программное обеспечение
ПРСМ	– передвижная рельсосварочная машина
ПЧМ	– дистанция пути, занимающаяся эксплуатацией, ремонтом и обслуживанием техники для текущего содержания пути
САУ	– система автоматического управления

СБД	– система баз данных
СКП	– средняя квадратическая погрешность
СПБД	– сплошная смена переводных деревянных брусьев
СПД	– сеть передачи данных
СПО	– специальное программное обеспечение
СЦБ	– система централизации и блокировки
ЦММ	– цифровая модель местности
ЦМП	– цифровая модель пути
ЦМР	– цифровая модель рельефа
ЭЛБ	– электробалластер
ЩОМ	– щебнеочистительная машина
СКУБ	– система контроля уплотнения балласта
СКВБ	– система контроля вырезки балласта
ДСП	– динамический стабилизатор пути
ПРУ	– подъемно-рихтовочное учтстройство
САУ	– система автоматизированного управления
GPS	– Global Positioning System (Глобальная система местоопределения)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Автоматизация геодезического обеспечения ремонта железных дорог [Текст] / В. В. Щербаков, А. Г. Фомин, О. Н. Лыско, Г. В. Попов, А. П. Могилевич // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 75–80.

2 Автоматизированное измерение расстояний посредством колесных датчиков пути [Текст] / В. В. Щербаков, А. Г. Прихода, С. В. Колбас, И. М. Дунаева // Методы и технические средства геодезического обеспечения геологоразведочных работ : сб. науч. трудов. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1990. – С. 73–80.

3 Автоматизированное определение координат и геометрических параметров железнодорожного пути [Текст] / В. В. Щербаков, В. М. Круглов, А. В. Демура, И. Н. Шерстобитова // Всерос. науч. конф. на тему «Повышение эффективности работы железнодорожного транспорта Сибири и Дальнего Востока». – Хабаровск, 2001. – С. 51–53.

4 Алгоритм вычисления геодезической высоты по пространственным прямоугольным координатам [Текст] / В. Н. Баландин, М. Я. Брынь, С. П. Ишменецкий, А. Ю. Матвеев, А. В. Юськевич // Геодезия и картография. – 2006. – № 6. – С. 15–16.

5 Алгоритм вычисления геодезической высоты по пространственным прямоугольным координатам [Текст] / В. Н. Баландин, М. Я. Брынь, С. П. Ишменецкий, А. Ю. Матвеев, А. В. Юськевич // Геодезия и картография. – 2006. – № 6. – С. 15–16.

6 Аппаратно-программный комплекс «Волна» [Текст] / В. В. Щербаков, В. Н. Васеха, Д. А. Неверов, М. Ю. Буланов // ГЕО-Сибирь-2007. III Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 25–27 апреля 2007 г.). – Новосибирск : СГГА, 2007. Т. 1. – С. 128–131.

7 Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов [Текст] / Я. А. Фурман, В. А. Кревецкий, А. К. Передреев, А. А. Роженцов и др. ; Под ред. Я. А. Фурмана – 2-е изд., испр. – М. : Физматлит, 2003. – 592 с. – ISBN 5-9221-0374-1.

8 Верховых, Г. В. Приоритетные задачи инфраструктурного комплекса [Текст] / Г. В. Верховых // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 2. – С. 52–56.

9 Возможности практического применения GPS-технологий для контроля геометрических параметров рельсовой колеи [Текст] / В. В. Щербаков, В. М. Жидов, И. Н. Шерстобитова, А. В. Конкин // Вузы Сибири и Дальнего Востока – Транссибу : тез. докл. рег. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СГУПС, 2002. – С. 141.

10 Войнаровский, А. Е. Калибровка наземного лазерного сканера по сканам испытательного полигона [Текст] / А. Е. Войнаровский, С. Г. Тихонов // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Вып. 2 (24). – С. 5–18.

11 Геодезические методы диагностики автомобильных и железных дорог [Текст] / В. В. Щербаков, М. Н. Барсук, В. Н. Васеха, М. Ю. Буланов // ГЕО-Сибирь-2007. III Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 25–27 апреля 2007 г.). – Новосибирск : СГГА, 2007. Т. 1. – С. 97–104.

12 Геодезические методы диагностики дорог [Текст] / В. В. Щербаков, В. Н. Васеха, Д. А. Неверов, М. Ю. Буланов // ГЕО-Сибирь-2007. III Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 25–27 апреля 2007 г.). – Новосибирск : СГГА, 2007. Т. 1. – С. 131–139.

13 Геодезические технологии контроля параметров уплотнения балласта при строительстве и капитальном ремонте железных дорог с использованием глобальных навигационных спутниковых систем [Текст] / В. В. Щербаков, А. П. Карпик, И. В. Щербаков, М. Н. Барсук, И. А. Бунцев // Геодезия и картография. – 2020. – № 7. – С. 8–13. DOI: 10.22389/0016-7126-2020-961-7-8-13.

14 Геодезическое обеспечение ремонта (модернизации) железнодорожного пути с применением ГНСС и систем автоматизированного управления на их базе :

распоряжение ОАО «РЖД» № 3214 от 31.12.2015 [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

15 ГОСТ 21780–2006 Система обеспечения точности [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2006.

16 ГОСТ 26877–2008 Методы измерений отклонения формы [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2008.

17 ГОСТ 32453–2017 Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразования координат определяемых точек (с поправками) [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2017.

18 ГОСТ Р 51794–2008. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. – М. : Стандартинформ, 2009.

19 ГОСТ Р 52928–2010. Система спутниковая навигационная глобальная. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2010.

20 ГОСТ Р 53607–2009. Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических и землеустроительных работ. Определение относительных координат по измерениям псевдодальностей. Основные положения. – М. : Стандартинформ, 2010.

21 ГОСТ Р 53864–2010. Глобальная навигационная спутниковая система. Сети геодезические спутниковые. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2011.

22 ГОСТ Р 53907–2010. Глобальная навигационная спутниковая система. Подсистемы дифференциальные железнодорожные. Общие положения. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2011.

23 ГОСТ Р 54115–2010. Глобальная навигационная спутниковая система. Приемник железнодорожный общего пользования. Технические требования. – М. : Стандартинформ, 2011.

24 ГОСТ Р 54459–2011. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы дифференциальной коррекции. Общие технические требования. – М. : Стандартиформ, 2012.

25 Гринчар, Н. Г. Современные и перспективные путевые машины легкого типа для очистки рельсошпальной решетки [Текст] / Н. Г. Гринчар // Путь и путевое хозяйство. – 2019. – № 9. – С 18–21.

26 Ермаков, В. М. Требования к путевым машинам для реализации цифровых технологий ремонта пути [Текст] / В. М. Ермаков, Д. С. Мануйло // Железнодорожный транспорт. – 2019. – № 9. – С 30–33.

27 Залуцкий, В. Т. Усовершенствование алгоритма преобразований координат при переходе от ГСК в МСК города и обратно [Текст] / В. Т. Залуцкий // Геодезия и картография. – 2017. – № 9. – С. 2–7.

28 Инструкция по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности движения поездов, утвержденная МПС РФ № ЦП-515 от 14.10.1997 [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

29 Исследование точности высотного положения верхнего слоя покрытия автомобильной дороги с шагом нивелирования десять метров [Текст] / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Д. О. Нагаев, Л. А. Пронина // Вестник СибАДИ. – 2012. – Вып. 6 (28). – С. 73–77.

30 Карпик, А. П. Информационная система построения инфраструктуры геопространственных данных для автомобильных и железных дорог [Текст] / А. П. Карпик, А. В. Никитин // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 1–7.

31 Кашанин, Н. В. Исследование точности интерполирования отметок продольного профиля железной дороги различными методами [Текст] / Н. В. Кашанин, И. И. Сухарев // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Вып. 2 (22). – С. 36–43.

32 Комплекс для определения параметров пути [Текст] / В. В. Щербаков, В. М. Круглов, А. В. Демура, И. Н. Шерстобитова, В. Ю. Шадрин // Путь и путевое хозяйство. – 2002. – № 2. – С. 5–8.

33 Комягин, С. А. Оценка точности постановки пути в проектное положение с использованием САУ-3D [Текст] / С. А. Комягин // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – Т. 1. – С.119–129.

34 Контроль геометрических параметров в процессе строительства и ремонта ж. д. [Текст] / В. В. Щербаков, А. А. Земерова, С. А. Комягин, И. А. Попов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 64–70.

35 Контроль уплотнения балласта при капитальном ремонте [Текст] / В. В. Щербаков, И. В. Щербаков, А. А. Земерова, К. В. Челядинова // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 4. – С. 5–11.

36 Координатный способ определения геометрических параметров рельсовой колеи и средства реализации [Текст] / В. В. Щербаков, А. В. Конкин, В. Н. Васеха, Д. А. Неверов // Спутниковые технологии и системы цифровой связи на службе железных дорог : сб. докл. – М. : ВНИИАС, 2007. – С. 75–77.

37 Кулижников, А. М. Нормативная база для САУ 3D [Текст] / А. М. Кулижников, А. А. Ануфриев, И. П. Колесников // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 2. – С. 38–41.

38 Литвинова, Л. Ф. Разработка и исследование технологии геодезического контроля геометрии криволинейных поверхностей [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук. – Ростов н/Д. : РГСУ, 1999. – 17 с.

39 Лукьяница, А. А. Цифровая обработка видеоизображений [Текст] / А. А. Лукьяница, А. Г. Шишкин. – М. : Ай-Эс-Эс Пресс, 2009. – 518 с. – ISBN 978-5-9901899-1-1.

40 Методика создания электронных проектов для систем автоматизированного управления строительной техникой на базе ГНСС (САУ) [Текст] / В. В. Щербаков, И. А. Бунцев, О. В. Ковалева, И. А. Попов, А. А. Земерова // Интерэкспо

ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 71–75.

41 Методы математической статистики – основа безопасной эксплуатации [Текст] / В. В. Щербаков, И. Я. Пиминов, В. Д. Овчаров, А. В. Конкин, Д. А. Попов // Путь и путевое хозяйство. – 2005. – № 10. – С. 6–9.

42 Метрологическое обеспечение дорожных курвиметров и путеизмерительных устройств [Текст] / В. В. Щербаков, В. В. Копытов, Л. Н. Носов, С. А. Загарских, Т. В. Набока // Измерительная техника. – 2009. – № 11. – С. 14–17.

43 Метрологическое обеспечение некоторых геодезических средств измерений [Текст] / В. В. Щербаков, О. И. Агульник, Т. К. Морозова, Т. И. Новоселова, А. А. Пыстин // Методы и технические средства геодезического обеспечения геологоразведочных работ : сб. науч. трудов. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1990. – С. 97–101.

44 Модуль «Диагностика» [Текст] / В. В. Щербаков, В. М. Круглов, С. Е. Полещук, И. Н. Шерстобитова // Современные проблемы транспортного строительства, автомобилизации и высокоинтеллектуальные научно-педагогические технологии : тез. докл. междунар. науч. конф., посвященной 70-летию образования СибАДИ. – Омск : СибАДИ, 2000. – С. 41–42.

45 Наземное лазерное сканирование [Текст] : монография / В. А. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 261 с.

46 Неволин, А. Г. Анализ точности геометрических параметров агрегатов цилиндрической формы по результатам геодезических измерений [Текст] / А. Г. Неволин, Т. М. Медведская // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 4 (32). – С. 5–13.

47 Никитин, А. В. Оперативное определение радиусов кривых на автомобильных дорогах [Текст] / А. В. Никитин // Геодезия и картография. – 2010. – № 11. – С. 8–9.

48 Никитин, А. В. Оптимальные методы повышения эффективности геодезических работ на железных дорогах, станциях и узлах [Текст] / А. В. Никитин // Геодезия и картография. – 2016. – № 12. – С. 3–6.

49 Об утверждении и введении в действие откорректированной редакции технических условий на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» от 18.01.2013 № 75р (21.01.2015) (с изм. от 19.12.2018) [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

50 Об утверждении правил установления местных систем координат [Электронный ресурс] : постановление Правительства Российской Федерации № 139 от 03.03.2007 в редакции от 27.08.2014 № 861. – Режим доступа: <https://www.garant.ru>.

51 Обоснование точности выноса вертикальных отметок пикетов от рабочих реперов на трассы автомобильных дорог при их строительстве [Текст] / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Л. А. Пронина, А. О. Гумерова // Омский научный вестник. – 2013. – № 2 (124). – С. 144–146.

52 Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения [Текст] / С. Ю. Желтов и др. – М. : Физматкнига, 2010. – 672 с. – ISBN 978-5-89155-201-2.

53 Опыт использования гидрофобной непогашенной извести в дорожном строительстве [Текст] / В. В. Щербаков, Г. Н. Левчиновский, В. С. Матвиенко, Ю. В. Капустин // Современные технологии строительства, ремонта и эксплуатации путевого хозяйства Западно-Сибирской железной дороги : сб. тр. / Под ред. канд. техн. наук В. И. Старостенко. – Новосибирск : СГУПС, 2001. – С. 108–112.

54 Опыт применения наземного лазерного сканирования при обследовании инженерных сооружений [Текст] / Д. А. Афонин, Н. Н. Богомолова, М. Я. Брынь, А. А. Никитчин // Геодезия и картография. – 2020. – № 4. – С. 2–8.

55 Опыт создания и использования комплексной системы технологий мониторинга текущего состояния железнодорожного пути и инженерных сооружений [Текст] / В. В. Щербаков, В. И. Пусков, Г. М. Тригубович, С. А. Бокарев, М. Я. Урицкий // Современные технологии строительства, ремонта и эксплуатации

путевого хозяйства Западно-Сибирской железной дороги : сб. тр. / Под ред. канд. техн. наук В. И. Старостенко. – Новосибирск : СГУПС, 2001. – С. 44–63.

56 Опыт эксплуатации систем автоматизированного управления выправкой пути на ЗСЖД ОАО «РЖД» [Текст] / В. В. Щербаков, И. А. Бунцев, О. В. Ковалева, И. В. Щербаков, А. И. Пименов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 2. – С. 119–124.

57 Оценка уплотнения щебеночной призмы путевой машиной [Текст] / М. В. Попович, Б. Г. Волковойнов, А. В. Атаманюк, И. В. Бондаренко // Путь и путевое хозяйство. – 2016. – № 10. – С. 34–38.

58 Пат. 112209 Российская Федерация, МПК 51 Е 01 В 35/00. Путевая машина [Текст] / В. В. Щербаков, А. Н. Модестов, В. Д. Верескун, А. С. Пикалов ; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 2011133389/11 ; заявл. 09.08.2011 ; опубл. 10.01.2012.

59 Пат. 116862 Российская Федерация, МПК 51 Е 01 В 35/00 В61К 9/08. Устройство для определения пространственных параметров инфраструктуры железной дороги [Текст] / В. В. Щербаков, В. Д. Верескун, В. А. Герасимов, А. Н. Модестов, А. С. Тараканов ; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 2011150328/11 ; заявл. 14.06.2011 ; опубл. 10.06.2012.

60 Пат. 126011 Российская Федерация, МПК 51 Е01В 27/10. Щебнеочистительная машина [Текст] / В. В. Щербаков, А. Н. Модестов ; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 2012124581 ; заявл. 14.06.2011 ; опубл. 10.06.2012.

61 Пат. 136048 Российская Федерация, RUU 1МПК Е 01 В 29/04. Устройство для выправки железнодорожного пути и способ выправки железнодорожного пути [Текст] / В. В. Щербаков, И. В. Щербаков, А. Н. Модестов, И. А. Бунцев, В. П. Славкин ; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 2013134278 ; заявл. 22.07.2013 ; опубл. 27.12.2013, Бюл. № 36. – 10 с.

62 Пат. 147033 Российская Федерация, RUU 1МПК Е 01 В 29/04. Система для управления выправкой железнодорожного пути [Текст] / В. В. Щербаков, А. И. Пименов, А. Н. Модестов, И. В. Щербаков, И. А. Бунцев, В. П. Славкин ; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 2014120965 ; заявл. 23.05.2014 ; опубл. 24.09.2014, Бюл. № 30. – 8 с.

63 Пат. 151873 Российская Федерация, RUU 1МПК G 01 С 21/00. Устройство для спутниковой навигации подвижного объекта железнодорожного транспорта [Текст] / В. В. Щербаков, И. А. Бунцев, И. В. Щербаков ; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 2014134543 ; заявл. 22.08.2014 ; опубл. 26.03.2015, Бюл. № 11. – 7 с.

64 Пат. 1534315 Российская Федерация. Способ определения превышений точек местности [Текст] / В. В. Щербаков, А. Г. Прихода, А. К. Мозгов, С. В. Колбас ; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков ; заявл. 05.04.1993 ; Бюл. № 21.

65 Пат. 178546 Российская Федерация, RUC 1МПКG 01С 15|04. Репер [Текст] / В. С. Воробьев, П. С. Пинчук, В. В. Щербаков, Н. П. Запащикова ; заявитель и патентообладатель СГУПС ; заявл. 13.09.2017 ; опубл. 06.04.2018 ; Бюл. № 10.

66 Пат. 179422 Российская Федерация, RUC 1МПК Е02В 11/00. Дренажный элемент [Текст] / В. В. Щербаков, В. С. Воробьев, П. С. Пинчук ; заявитель и патентообладатель СГУПС ; заявл. 30.08.17 ; опубл. 15.05.2018.

67 Пат. 183346 Российская Федерация. Лазерно-фотометрическое устройство измерения геометрических параметров поверхности криволинейных объектов [Текст] / Б. В. Скворцов, А. В. Черных, Д. М. Живосновская ; заявл. 28.03.2008 ; опубл. 18.09.2018, Бюл. № 6.

68 Пат. 187173 Российская Федерация, RU 1МПК Е01В 27|10. Щебнеочистительная машина [Текст] / В. В. Щербаков, А. И. Пименов, И. А. Бунцев, И. В. Щербаков ; заявитель и патентообладатель ОАО «Сибдорпроект» 2018128963/11 ; заявл. 06.08.2018 ; опубл. 22.02.2019 ; Бюл. № 6.

69 Пат. 187183 Российская Федерация, RUC 1МПК Е 01В 27|10. Щебнеочистительная машина [Текст] / В. В. Щербаков, А. И. Пименов, И. А. Бунцев, И. В.

Щербаков ; заявитель и патентообладатель ОАО «Сибдорпроект» 2018128963/11 ; заявл. 06.08.2018 ; опубл. 22.02.2019.

70 Пат. 2037779 Российская Федерация, МПК 51 G 01 C 22/00. Устройство для измерения расстояния, пройденного автомобилем [Текст] / В. В. Щербаков, А. Г. Прихода, А. К. Мозгов, С. В. Колбас ; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 93002961/10 ; заявл. 18.01.1993 ; опубл. 19.06.1995.

71 Пат. 20577 Российская Федерация. Устройства для измерения расстояния, сбора и регистрации информации на объектах исследуемой местности [Текст] / В. В. Щербаков, И. И. Козятник; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков ; заявл. 10.11.2001 ; Бюл. № 31.

72 Пат. 2065572 Российская Федерация, МПК 51 G 01 C 9/12. Устройство для определения угла наклона подвижного объекта [Текст] / В. В. Щербаков, А. Г. Прихода ; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 93002635/28 ; заявл. 13.01.1993 ; опубл. 20.08.1996.

73 Пат. 2156333 Российская Федерация, МПК 7 E 01 C 23/07 G01 N19/02. Устройство для измерения коэффициента сцепления колеса с дорожным покрытием [Текст] / В. В. Щербаков, С. Е. Полещук, А. Г. Прихода, В. М. Круглов ; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 99115927/03 ; заявл. 15.07.1999 ; опубл. 15.07.1999.

74 Пат. 2261302 Российская Федерация, МПК 51 E 01 B 35/00. Способ определения пространственных параметров рельсового пути и устройство для его осуществления [Текст] / В. В. Щербаков, В. М. Круглов, И. И. Козятник, А. В. Демура ; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 200311110/11 ; заявл. 20.10.2004 ; опубл. 27.09.2005.

75 Пат. 2290603 Российская Федерация, МПК 51 G 01 B 7/04. Устройство для измерения длины изделий из ферромагнитных материалов [Текст] / В. В. Щербаков ; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 2005111811/28 ; заявл. 20.04.2005 ; опубл. 20.04.2005.

76 Пат. 2454498 Российская Федерация, МПК 51 E 01 B 29/04 E01B31/02. Система для управления выправкой железнодорожного пути [Текст] / В. В. Щербаков, С. В. Духин, А. Н. Модестов, А. В. Нуйкин ; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 2011104400/11 ; заявл. 08.02.2011 ; опубл. 27.06.2012.

77 Пат. 2469894 Российская Федерация, МПК 51 B61K 9/08. Способ определения продольного-напряженного состояния рельсовых плетей бесстыкового пути [Текст] / В. В. Щербаков, Д. В. Величко, В. Д. Верескун, Н. И. Карпущенко, А. Н. Модестов ; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 2010141239/11 ; заявл. 20.04.2012 ; опубл. 20.12.2012.

78 Пат. 2551637 Российская Федерация, МПК E01B35/00. Устройство для выправки железнодорожного пути и способ выправки железнодорожного пути [Текст] / В. В. Щербаков, И. В. Щербаков, А. Н. Модестов, И. А. Бунцев, В. П. Славкин ; заявитель и патентообладатель Щербаков В. В. ; заявл. 22.07.2013 ; опубл. 27.05.2015, Бюл. № 15.

79 Пат. 2628541 Российская Федерация, RUS 1MПКB61 K9/08E 01B 35/00. Способ определения пространственных координат и геометрических параметров рельсового пути и устройство для его осуществления [Текст] / В. В. Щербаков, И. В. Щербаков, И. А. Бунцев ; заявитель и патентообладатель В. В. Щербаков. – 2016106560 ; заявл. 24.02.2016 ; опубл. 18.08.2017, Бюл. № 23. – 7 с.

80 Пат. 2660750 Российская Федерация, МПК G01V 3/08 (2006.01). Способ диагностики железнодорожной насыпи, ее основания и устройство для его осуществления / Ю. Г. Астраханцев, К. Г. Бочарников, Ю. В. Голиков, О. В. Голубев, О. В. Лысков ; патентообладатель: ФГБОУ ВО УрГУПС ; опубл. 09.07.2018, Бюл. № 19.

81 Пат. 2703819 Российская Федерация, МПК 51 E01B 27/02. Способ автоматического контроля качества уплотнения балластного слоя рельсового пути и устройство для его осуществления [Текст] / И. В. Щербаков, А. Л. Манаков, А. В. Воробьевский, А. И. Пименов, К. В. Голубкин, В. В. Щербаков ; заявитель и патентообладатель СГУПС, ООО «Сибдорпроект» ; заявл 18.12.2018 ; опубликован 22.10.2019, Бюл. № 30.

82 Пимшин, Ю. И. Об универсальном лазерном приборе для контроля геометрии объектов. Прикладная геодезия [Текст] / Ю. И. Пимшин, В. П. Глухов, А. С. Демиденко. – Ростов н/Д. : РГСУ, 1998. – 39 с.

83 Повышение эффективности диагностики автомобильных дорог [Текст] / В. В. Щербаков, В. М. Круглов, С. Е. Полещук, А. П. Пичугин, И. Н. Шерстобитова // Всероссийская. науч. конф. на тему «Пути повышения качества и эффективности строительства, реконструкции, содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений на них». – Барнаул : АлтГТУ, 2001. – С. 155–157.

84 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: ЦРБ-756 / МПС РФ [Текст]. – М. : Транспорт, 2002. – 189 с.

85 Прибор для определения волнообразного износа рельсов [Текст] / В. В. Щербаков, В. М. Круглов, И. И. Козятник, А. В. Демура, И. Н. Шерстобитова // Путь и путевое хозяйство. – 2002. – № 3. – С. 14–15.

86 Приведение результатов спутниковых измерений к поверхности морского дна при ледовом промере [Текст] / В. Н. Баландин, М. Я. Брынь, И. В. Меньшиков, Ю. Г. Фирсов // Геодезия и картография. – 2010. – № 4. – С. 2–8.

87 Проблемы и перспективы развития активных спутниковых геодезических сетей в России и их интеграции в ITRF [Текст] / В. С. Вдовин, В. В. Дворкин, А. П. Карпик, Л. А. Липатников, С. Д. Сорокин, Г. М. Стеблов // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Вып. 1 (23). – С. 45–60.

88 Разработка портативных измерительных средств для определения ровности методом амплитуд [Текст] / В. В. Щербаков, М. Ю. Буланов, В. Н. Васеха, А. В. Смирнов // Инновации, качество, образование – перспектива развития дорожного комплекса России : материалы всерос. науч.-практ. конф. – Барнаул : АлтГТУ, 2007. – С. 110–113

89 Разработка систем автоматизированного управления выправкой пути на базе ГНСС [Текст] / В. В. Щербаков, А. И. Пименов, И. А. Бунцев, И. В. Шербаков, О. В. Ковалева // Транспортное строительство. – 2015. – № 9. С. 22– 27.

90 Разработка системы планирования ремонта и эксплуатации автомобильных дорог по результатам мониторинга с использованием GPS [Текст] / В. В. Щербаков, М. Ю. Буланов, А. В. Конкин, М. Н. Барсук // ГЕО-Сибирь-2006. II Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 26–28 апреля 2006 г.). – Новосибирск : СГГА, 2006. Т. 1. – С. 50–53.

91 Разработка средств и методов диагностики автомобильных дорог [Текст] / В. В. Щербаков, М. Ю. Буланов, А. В. Конкин, В. Н. Васеха // ГЕО-Сибирь-2005. Науч. конгр. : сб. материалов в 7 т. (Новосибирск, 25–29 апреля 2005 г.). – Новосибирск : СГГА, 2005. Т. 1, ч. 1. – С. 170–174.

92 Райкова, Л. С. Строительство автомобильных дорог на основе 3D-моделей [Текст] / Л. С. Райкова, Д. А. Петренко // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 2 (3). – С 81–85.

93 Розенберг, И. Н. Технологии мобильного лазерного сканирования для железнодорожной инфраструктуры [Текст] / И. Н. Розенберг, С. К. Дулин, Д. А. Якушев // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 8. – С. 32–35.

94 Сальников, В. Г. Совершенствование методики выполнения измерений по программе общего створа [Текст] / В. Г. Сальников // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Вып. 2 (24). – С. 66–75.

95 Сейсмические исследования грунтов при инженерных изысканиях [Текст] / В. В. Щербаков, Б. А. Канарейкин, А. Г. Прихода, О. М. Сагайдачная, Б. В. Пыринов // Вузы Сибири и Дальнего Востока – Транссибу: тез. докл. рег. науч.-практ. конф. – Новосибирск : СГУПС, 2002. – С. 236–243.

96 Системы автоматизированного управления строительной техникой (САУ-3D) [Текст] / В. В. Щербаков, И. А. Бунцев, И. В. Щербаков, В. Д. Астраханцев. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 57–63.

97 Скворцов, А. В. Нормативно-техническое обеспечение ВІМ автомобильных дорог [Текст] / А. В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 2. – С. 22–32.

98 СНиП 32-01–95. Железные дороги колеи 1520 мм. – М. : Госстрой России, 1995.

99 СП 126.13330.2012 Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01-84 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru>.

100 СП 233.1326000.2015 Инфраструктура железнодорожного транспорта. Высокоточная координатная система [Текст]. – М. : Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2015. – С. 25.

101 СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения (актуализированная редакция СНиП 11-02-96). – М., 2013.

102 Средства и методы паспортизации автомобильных дорог подразделениями ДРСУ [Текст] / В. В. Щербаков, Л. А. Хвоинский, С. В. Толстеньев, А. В. Демур, Р. И. Кунц // Всероссийская. науч. конф. на тему «Пути повышения качества и эффективности строительства, реконструкции, содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений на них». – Барнаул : АлтГТУ, 2001. – С. 69–71.

103 СТН Ц-01–95. Железные дороги колеи 1520 мм. – М. : Министерство путей сообщения Российской Федерации, 1995.

104 Столбов, Ю. В. Обоснование норм точности опорных разбивочных сетей на строительных площадках промышленных предприятий [Текст] / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, С. В. Ляшко // Материалы научно-практической конференции «Город и транспорт» – Омск. – 1998. – Ч. 2. – С. 55–56.

105 Столбов, Ю. В. Прикладная геодезия. Геодезические разбивочные работы при строительстве зданий и сооружений [Текст] / Ю. В. Столбов – Омск : СибАДИ, 2016.

106 Технология автоматизации геодезического обеспечения реконструкции автомобильных дорог [Текст] / В. В. Щербаков, В. М. Круглов, И. Н. Попов,

И. Н. Шерстобитова // Всероссийская. науч. конф. на тему «Пути повышения качества и эффективности строительства, реконструкции, содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений на них». – Барнаул : АлтГТУ, 2001. – С. 157 – 160.

107 Технология автоматизированной постановки железнодорожного пути в проектное положение с использованием бокового нивелирования [Текст] / В. В. Щербаков, И. В. Щербаков, А. А. Быков, А. А. Земерова, С. А. Комягин // Путь и путевое хозяйство. – № 8. – 2020. – С. 31–35.

108 Технология бокового нивелирования при постановке железнодорожного пути в проектное положение [Текст] / В. В. Щербаков, А. П. Карпик, И. В. Щербаков, М. Н. Барсук // Геодезия и картография. – 2020 – № 8. – С. 18–23. DOI: 10.22389/0016-7126-2020-962-8-18-23.

109 Форсайт, Дэвид. Компьютерное зрение. Современный подход = Computer Vision: A Modern Approach [Текст] / Дэвид Форсайт, Жан Понс. – М. : «Вильямс», 2004. – 928 с. – ISBN 5-8459-0542-7.

110 Шапиро, Л. Компьютерное зрение = Computer Vision [Текст] / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М. : Бинوم. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с. – ISBN 5-94774-384-1.

111 Щербаков, В. В. Автоматизированное измерение расстояний при геолого-геофизических исследованиях [Текст] / В. В. Щербаков // Автоматизация сейсмических и электромагнитных исследований земной коры : тематич. сб. науч. трудов. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1987. – С. 45–50.

112 Щербаков, В. В. Автономный навигационный прибор для производства геолого-геофизических работ [Текст] / В. В. Щербаков, И. Н. Кулаков // Методы и технические средства геодезического обеспечения геологоразведочных работ : сб. науч. трудов. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1990. – С. 86–89.

113 Щербаков, В. В. Анализ специальных реперных железнодорожных систем [Текст] / В. В. Щербаков, А. В. Андреев // Междунар. науч.-практ. конф. на тему «Современные проблемы инженерной геодезии». – СПб. : ПГУПС, 2010. – С. 73–80.

114 Щербаков, В. В. Анализ способов постановки железнодорожного пути в проектное положение при реконструкции (модернизации) и эксплуатационной

работе [Текст] / В. В. Щербаков, И. В. Щербаков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 87–92.

115 Щербаков, В. В. Выправка пути при реконструкции и ремонте железнодорожных путей с использованием ГИС-технологий и ГНСС [Текст] / В. В. Щербаков, А. С. Пикалов // Транспортное строительство. – 2012. – № 1. – С. 23–26.

116 Щербаков, В. В. Выправка пути при реконструкции и ремонте железнодорожных путей с использованием ГИС-технологий и ГНСС [Текст] / В. В. Щербаков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 14–20.

117 Щербаков, В. В. Геодезические методы определения геометрических параметров рельсовой колеи [Текст] / В. В. Щербаков // XLI Междунар. науч. конф. на тему «Инновационные технологии на транспорте : образование, наука, практика», 3–4 апр. 2017 г., Алматы : сб. материалов в 1 т. – Т. 1. – Алматы : КазАТК, 2017. – Т. 1. – С. 366–371.

118 Щербаков, В. В. Геодезические методы определения микропрофиля рельса [Текст] / В. В. Щербаков, В. Н. Васеха // ГЕО-Сибирь-2006. II Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 26 – 28 апреля 2006 г.). – Новосибирск : СГГА, 2006. Т. 4. – С. 230–234.

119 Щербаков, В. В. Глобальные навигационные спутниковые системы при реконструкции пути [Текст] / В. В. Щербаков, А. С. Пикалов, И. В. Щербаков // Путь и путевое хозяйство. – 2010. – № 5. – С. 25–27.

120 Щербаков, В. В. Диагностика автомобильных дорог по геометрическим параметрам с использованием ГНСС [Текст] / В. В. Щербаков, М. Н. Барсук // Геодезия и картография. – 2008. – № 6. – С. 55–57.

121 Щербаков, В. В. Динамический метод мониторинга состояния верхнего строения пути по геометрическим параметрам [Текст] / В. В. Щербаков, В. М. Круглов, Д. А. Попов // ГЕО-Сибирь-2006. II Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 26–28 апреля 2006 г.). – Новосибирск : СГГА, 2006. Т. 1. – С. 122–125.

122 Щербаков, В. В. Динамический метод оценки состояния рельсовой колеи по геометрическим параметрам [Текст] / В. В. Щербаков, Д. А. Попов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения, 2006. – Вып. 14. – С. 171–173.

123 Щербаков, В. В. Диффузионно-волновая электромагнитная диагностика подземных инженерных сооружений и грунтового основания транспортных магистралей [Текст] / В. В. Щербаков, В. М. Круглов, Г. М. Тригубович // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2000. – № 3. – С. 21–38.

124 Щербаков, В. В. Интенсификация получения навыков работы с геодезическими приборами [Текст] / В. В. Щербаков, А. В. Андреев // Междунар. науч.-практ. конф. на тему «Современные проблемы инженерной геодезии». – СПб. : ПГУПС, 2010. – С. 30–40.

125 Щербаков, В. В. Испытания СПИ А–724 М–01 на Новосибирском водохранилище и в заливе Петра Великого [Текст] / В. В. Щербаков, В. В. Харитонов, В. В. Колонцов // Применение отечественных и зарубежных спутниковых приемоиндикаторов в геологоразведочной отрасли : сб. науч. трудов . – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1993. – С. 24–28.

126 Щербаков, В. В. Исследование мобильного лазерного сканера «Сканпуть» при определении пространственного положения железнодорожного пути [Текст] / В. В. Щербаков // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 98–108.

127 Щербаков, В. В. Комплексная лаборатория диагностики автомобильных дорог: ровность, геометрия, электронное сканирование [Текст] / В. В. Щербаков //

Современные проблемы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) в дорожно-строительном комплексе Сибири : тез. докл. науч.-практ. семинара. – Новосибирск, 1998. – С. 61.

128 Щербаков, В. В. Конструктивные особенности комплексной дорожной лаборатории для диагностики автомобильных дорог [Текст] / В. В. Щербаков, И. Г. Шерстобитов // Проблемы и перспективы эксплуатации дорожной сети Сибири и Дальнего Востока : материалы науч.-практ. сем. 9–12 октября 2001. – Томск, 2001. – С. 68–71.

129 Щербаков, В. В. Координатные методы контроля геометрических параметров и выправки пути на базе глобальных спутниковых навигационных и инерциальных систем [Текст] / В. В. Щербаков, В. М. Круглов, А. С. Пикалов // Междунар. научно-практ. конф. на тему «Современные проблемы инженерной геодезии». – СПб. : ПГУПС, 2010. – С. 70–73.

130 Щербаков, В. В. Координатные методы контроля геометрических параметров и выправки пути на базе глобальных спутниковых навигационных и инерциальных систем [Текст] / В. В. Щербаков, А. С. Пикалов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2010. – Вып. 22. – С. 79–81.

131 Щербаков, В. В. Координатный способ определения геометрических параметров рельсовой колеи [Текст] / В. В. Щербаков, К. Л. Комаров, В. М. Круглов // Вузы Сибири и Дальнего Востока – Транссибу : тез. докл. рег. науч.-практ. конф. – Новосибирск : СГУПС, 2002. – С. 140–141.

132 Щербаков, В. В. Координатный способ определения геометрических параметров железных дорог [Текст] / В. В. Щербаков, О. В. Ковалева // Геодезия и картография. – 2007. – № 9. – С. 22–25.

133 Щербаков, В. В. Методика применения лазерных сканеров для геодезического обеспечения проектно-изыскательских работ на железной дороге [Текст] / В. В. Щербаков // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка – 2020. – Т. 64, № 3. – С. 289–297.

134 Щербаков, В. В. Методика создания цифровых проектов для автоматизированных систем управления строительной железнодорожной техники [Текст] / В. В. Щербаков // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 3. – С.127–139.

135 Щербаков, В. В. Моделирование инструментальных съемок [Текст] / В. В. Щербаков, А. В. Андреев // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2010. – Вып. 22. – С. 133–137.

136 Щербаков, В. В. Мониторинг контрольных участков железнодорожного пути для повышения безопасности движения на железных дорогах [Текст] / В. В. Щербаков, А. В. Конкин, Д. А. Попов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения, 2006. – Вып. 14. – С. 166–170.

137 Щербаков, В. В. Новое средство измерений волнистости рельсов [Текст] / В. В. Щербаков, Л. Н. Носов // Измерительная техника. – 2004. – № 8. – С. 40–41.

138 Щербаков, В. В. О точности определения координат точек местности топосвязкой [Текст] / В. В. Щербаков // Геодезия и картография. – 1987. – № 4. – С. 15–18.

139 Щербаков, В. В. Обзор разработок НИЛ «Диагностика дорожных одежд и земляного полотна» Сибирского государственного университета путей сообщения [Текст] / В. В. Щербаков, А. В. Конкин, А. А. Земерова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 144–154.

140 Щербаков, В. В. Опыт применения глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) для решения инженерных и навигационных задач на железных дорогах России [Текст] / В. В. Щербаков, В. Д. Верескун // Телекоммуникационные, информационные и логистические технологии на транспорте : сб. докладов. – Ростов н/Д., 2011. – С. 99–106.

141 Щербаков, В. В. Оценка надежности системы управления выправкой пути на базе глобальных навигационных спутниковых систем [Текст] / В. В. Щербаков,

В. Д. Верескун, В. С. Воробьев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2009. – № 4. – С. 53–56.

142 Щербаков, В. В. Прибор дорожного мастера (ПДМ) для контроля геометрии рельсовой колеи [Текст] / В. В. Щербаков, И. В. Щербаков, В. Д. Астраханцев // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 71–76.

143 Щербаков, В. В. Применение глобальных навигационных спутниковых систем ГНСС на скоростных железнодорожных магистралях [Текст] / В. В. Щербаков // Наука и транспорт. – 2008. – № 6. – С. 55–57.

144 Щербаков, В. В. Применение глобальных спутниковых навигационных систем для координатного обеспечения скоростных железнодорожных магистралей [Текст] / В. В. Щербаков, М. Н. Барсук, В. Н. Васеха // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск : СГГА, 2007. Т. 1. – С. 56–59.

145 Щербаков, В. В. Применение ГНСС и ГИС технологий в ОАО «РЖД» [Текст] / В. В. Щербаков, И. В. Щербаков, А. А. Земерова // Путь и путевое хозяйство. – 2017. – № 3. – С. 38–40.

146 Щербаков, В. В. Применение ГНСС оборудования при определении длины рельсов [Текст] / В. В. Щербаков, В. М. Жидов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 43–45.

147 Щербаков, В. В. Применение топопривязчиков для навигационного геодезического обеспечения наземных геофизических съемок [Текст] / В. В. Щербаков // Методы и технические средства геодезического обеспечения геологоразведочных работ : сб. науч. трудов. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1990. – С. 68–73. 131

148 Щербаков, В. В. Проведение испытаний объектов железнодорожного транспорта многопараметровым методом диагностики [Текст] / В. В. Щербаков, И. И. Козятник // Вузы Сибири и Дальнего Востока – Транссибу : тез. докл. рег. науч.-практ. конф. – Новосибирск : СГУПС, 2002. – С. 145–146.

149 Щербаков, В. В. Пространственно-временное и информационное обеспечение развития инфраструктуры на базе ГИС-технологий и глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) [Текст] / В. В. Щербаков // Роль путевого хозяйства в инфраструктуре железнодорожного транспорта : сб. трудов междунар. науч.-технич. конф. – М., 2012. – С. 285–289.

150 Щербаков, В. В. Развитие локальных реперных сетей для целей текущего содержания и ремонтов пути [Текст] / В. В. Щербаков, О. В. Ковалева // ГЕО-Сибирь-2006. II Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 26–28 апреля 2006 г.). – Новосибирск : СГГА, 2006. Т. 1. – С. 75–78.

151 Щербаков, В. В. Разработка геодезического обеспечения проектирования, строительства (ремонта) и эксплуатации железных дорог [Текст] / В. В. Щербаков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–19 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. – С. 121–124.

152 Щербаков, В. В. Разработка координатного способа диагностики рельсовой колеи по геометрическим параметрам [Текст] / В. В. Щербаков, О. В. Ковалева // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения, 2006. – Вып. 14. – С. 215–217. 136

153 Щербаков, В. В. Разработка средств измерения волнообразного износа рельсов [Текст] / В. В. Щербаков, И. И. Козятник, А. В. Демура // Вузы Сибири и Дальнего Востока – Транссибу : тез. докл. рег. науч.-практ. конф. – Новосибирск : СГУПС, 2002. – С. 144.

154 Щербаков, В. В. Результаты испытаний аппаратно-программного комплекса для определения координат и геометрических параметров рельсовой колеи [Текст] / В. В. Щербаков, В. Д. Овчаров, И. Н. Конкин // Вузы Сибири и Дальнего Востока – Транссибу : тез. докл. рег. науч.-практ. конф. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2002. – С. 142–143.

155 Щербаков, В. В. Совершенствование методики определения длины рельсовых плетей [Текст] / В. В. Щербаков // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 109–120.

156 Щербаков, В. В. Автоматизация геодезического обеспечения строительства и ремонта железных и автомобильных дорог: современное состояние и перспективы развития [Текст] // В. В. Щербаков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 42–46.

157 Щербаков, В. В. Современные средства и методика диагностики и паспортизация автомобильных дорог [Текст] / В. В. Щербаков, В. М. Круглов // Современные проблемы геодезии и оптики : тез. докл. междунар. Науч.-тех. конф., посвященной 65-летию СГГА – НИИГАиК. – Новосибирск : СГГА, 1998. – С. 126.

158 Щербаков, В. В. Современный уровень геодезического обеспечения капитального ремонта, модернизации и управления техническим состоянием железных дорог [Текст] / В. В. Щербаков // Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе : тез. междунаро. науч.-практ. конф. посвящен 80-летию СГУПСа. – Новосибирск : СГУПСа, 2012. – С. 122–124.

159 Щербаков, В. В. Создание координатных методов контроля геометрии и выправки пути на основе спутниковых навигационных и наземных измерений [Текст] / В. В. Щербаков, А. В. Конкин // Спутниковые технологии на службе железнодорожного транспорта : сб. докл. второй международной науч.-практ. конф. – М., 2008. – С. 73–74.

160 Щербаков, В. В. Специальная реперная железнодорожная система [Текст] / В. В. Щербаков, В. М. Жидов, М. В. Макушинская // Геодезия и картография. – 2010. – № 12. – С. 12–14.

161 Щербаков, В. В. Способ ориентирования топопривязчика [Текст] / В. В. Щербаков, А. Г. Прихода // Новые методы геофизических исследований Сибири : тематич. сб. науч. трудов. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1985. – С. 107–112.

162 Щербаков, В. В. Спутниковые технологии на съемке рельсовой колеи [Текст] / В. В. Щербаков, О. В. Ковалева // Транспортное строительство. – 2006. – № 10. – С. 16–17.

163 Щербаков, В. В. Технология постановки пути в проектное положение при реконструкции верхнего строения пути с использованием ГЛОНАСС/GPS [Текст] / В. В. Щербаков, А. С. Пикалов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2010. – Вып. 22. – С. 74–78.

164 Щербаков, В. В. Технология постановки пути в проектное положение с использованием ГЛОНАСС/GPS [Текст] / В. В. Щербаков, А. С. Пикалов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2010. – Вып. 22. – С. 74–78.

165 Щербаков, В. В. Усовершенствование способа определения координат пунктов топопривязчиком [Текст] / В. В. Щербаков, А. Г. Прихода // Геодезия и картография. – 1984. – № 7. – С. 15–17.

166 Щербаков, В. В. Цифровые модели пути – основа геодезического обеспечения проектирования, строительства (ремонта) и эксплуатации железных дорог [Текст] / В. В. Щербаков, О. В. Ковалева, И. В. Щербаков // Геодезия и картография. – 2016. – № 3. – С. 12–16.

167 Щербаков, В. В. Цифровые технологии при строительстве и эксплуатации железнодорожной инфраструктуры [Текст] / В. В. Щербаков, А. А. Земерова, С. А. Комягин // Транспортное строительство. – 2019. – № 2. – С. 9–12.

168 Щербаков, В. В. Экономические показатели внедрения координатного способа определения геометрических параметров рельсовой колеи [Текст] / В. В. Щербаков, С. С. Загибалова // Вузы Сибири и Дальнего Востока – Транссибу : тез. докл. рег. науч.-практ. конф. – Новосибирск : СГУПС, 2002. – С. 147–148.

169 Щербаков, И. В. Аппаратно-программный комплекс «Профиль-М» для определения пространственных и геометрических параметров рельсовой колеи [Текст] / И. В. Щербаков // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Вып. 3 (22). – С. 45–60.

170 Щербаков, И. В. Геодезические методы определения геометрических параметров рельсовой колеи [Текст] / И. В. Щербаков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 17–23.

171 Эффективность эксплуатации пути в едином координатном пространстве [Текст] / В. М. Ермаков, О. А. Янович, Т. В. Косарикова, Т. М. Шерокова // Путь и путевое хозяйство. – 2019. – № 12. – С 10–12.

172 Canny, John. A Computational Approach to Edge Detection [Text] / John Canny // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 1986. – Vol. 8, № 6. – P. 679–698.

173 Cloud Compare [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.cloudcompare.org>.

174 Fischler, M. A. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography [Text] / M. A. Fischler, R. C. Bolles // Communication of the ACM 24. – 1981. – Vol. 24. – P.381-395. doi 10.1145/358669.358692.

175 Metrological testing of road curvimeters and path – measuring devices [Text] / V. V. Kopytov, V. V. Shcherbakov, A. N. Nosov, S. A. Zagarskikh, T. V. Naboka // Measurement Techniques. – 2009. – № 11. – P. 1153–1158.

176 Shcherbakov, Vladimir. Automation of Railroad Construction Technology Using Surveying Methods [Text] / Vladimir Shcherbakov, Alexander Karpik, Marina

Barsuk // *Advances in Intelligent Systems and Computing, VIII International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia 2019, Volume 2.* – 2019. – Volume 1116 (2020). DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3.

177 Shcherbakov, Vladimir. Development of a control system for a ballast cleaning machine using GNSS [Text] / Vladimir Shcherbakov, Ivan Buntsev and Olga Kovalева // *E3S Web of Conferences, Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITESE-2019).* – 2019. – Volume 135 (2019). – 02003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913502003>.

178 Topcon Machine Control. 3D systems [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.topconpositioning.com/products/machinecontrol/3d>.

179 Trimble Heavy Civil Construction. Machine Control [Electronic resource]. – Mode of access: <http://construction.trimble.com/products/machine-control>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

ОТЗЫВ «РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
УПРАВЛЕНИЯ (САУ) НА БАЗЕ ГНСС (ГЛОНАСС/GNSS) НА СЕТИ
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ОАО «РЖД»»**О Т З Ы В****«РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ (САУ)
НА БАЗЕ ГНСС (ГЛОНАСС/GNSS) НА СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ОАО «РЖД»**

В соответствии с договорами № Д-210/ЦДРП от 29.08.2014г., № 1636074 от 06.10.2015г., Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС) с 2014 по 2016 гг. поставил в подразделения ЦДРП 8 систем автоматизированного управления постановкой пути в проектное положение на базе ГНСС, разработал методику создания ЦМП и на ее базе электронных проектов для ЭЛБ, ВПО, Доумат, ЩОМ, RM.

В 2014-2015 гг. СГУПС под руководством профессора Щербакова В.В. по заданию ОАО «РЖД» (ЦДРП), для сети ОАО «РЖД» разработана и в 2015 году утверждена вице-президентом Г.В.Верховых инструкция (см. распоряжение № 3214р от 31.12.2015г) «Геодезическое обеспечение ремонта (модернизации) железнодорожного пути с применением глобальных навигационных спутниковых систем и систем автоматизированного управления на их базе». Комплекс работ выполненный СГУПС, позволил использовать цифровые технологии при ремонтах (модернизации) железных дорог ОАО «РЖД». Что позволило повысить производительность и качество работ. Экономический эффект (прямой) складывается из сокращения затрат на геодезические разбивочные работы и повышения производительности непосредственно при выправке пути, кроме того экономический эффект, складывается за счет повышения качества ремонта железных дорог. С учетом затрат на разработку и создание САУ на базе ГНСС экономический эффект составляет 5 млн. рублей на 1 машину типа ЭЛБ. Потребность ЦДРП в САУ составляет не менее 300 комплексов.

Главный инженер
Центральной дирекции по ремонту пути



А.В. Запольский

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

ПАТЕНТ «СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ
РЕЛЬСОВОГО ПУТИ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2261302

**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ
ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ И УСТРОЙСТВО
ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

Патентообладатель(ли): *Сибирский государственный
университет путей сообщения (RU), Щербаков Владимир
Васильевич (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2003111110
Приоритет изобретения 17 апреля 2003 г.
Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации 27 сентября 2005 г.
Срок действия патента истекает 17 апреля 2023 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам




Б.П. Симонов

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

ПАТЕНТ «УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 116862

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ
ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирский государственный университет путей сообщения" (СГУПС) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2011150328

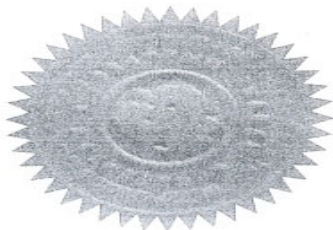
Приоритет полезной модели 09 декабря 2011 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 10 июня 2012 г.

Срок действия патента истекает 09 декабря 2021 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ


ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

об утверждении типа средств измерений

RU.E.27.007.A № 45843

Срок действия бессрочный

НАИМЕНОВАНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ
Комплекс аппаратно - программный "Сканпуть"

ЗАВОДСКОЙ НОМЕР 001

ИЗГОТОВИТЕЛЬ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирский государственный университет путей сообщения" (СГУПС), г. Новосибирск

РЕГИСТРАЦИОННЫЙ № 49350-12

ДОКУМЕНТ НА ПОВЕРКУ
ВМНИ.318692.003МП

ИНТЕРВАЛ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ 1 год

Тип средств измерений утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от **23 марта 2012 г. № 168**

Описание типа средств измерений является обязательным приложением к настоящему свидетельству.

Заместитель Руководителя
Федерального агентства



Е.Р.Петросян
"30" 03 2012 г.

Серия СИ

№ 003931