

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

На правах рукописи

Щербаков Иван Владимирович



Разработка автоматизированной системы геодезического обеспечения  
строительства, реконструкции и эксплуатации железных дорог

25.00.32 – Геодезия

Диссертация на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Научный руководитель –  
доктор технических наук, профессор  
Карпик Александр Петрович

Новосибирск – 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТАХ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ (РЕМОНТЕ) И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ .....	10
1.1 Анализ геодезического обеспечения при проектно-изыскательских работах в строительстве (ремонте) и эксплуатации железных дорог .....	10
1.2 Нормативная база геодезического обеспечения железных дорог для перехода на координатные (цифровые) технологии.....	18
1.3 Средства и методы измерений при геодезическом обеспечении проектно-изыскательских работ, строительстве и эксплуатации железных дорог .....	22
2 РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СОЗДАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ ПО ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫМ ДАННЫМ.....	26
2.1 Разработка принципиальной схемы автоматизированной системы определения пространственных данных и геометрических параметров рельсовой колеи.....	26
2.2 Исследования автоматизированной системы на экспериментальном участке 2–3 км железной дороги Новосибирск – Пашино.....	36
2.3 Технические требования к автоматизированной системе определения геометрических параметров рельсовой колеи .....	40
3 АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС (АПК «ПРОФИЛЬ-М»).....	46
3.1 Устройство назначение и область применения АПК «Профиль-М».....	46
3.2 Структура данных и отчетные форматы технической документации.....	57
4 МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПУТИ И ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОЕКТОВ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТЕХНИКОЙ (САУ-3D) НА БАЗЕ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ .....	67

4.1 Структурная схема геодезического обеспечения строительства (ремонта) железных дорог с использованием АПК «Профиль-М».....	67
4.2. Операционный контроль и исполнительные съемки при строительстве (ремонте) железных дорог.....	86
5 АДАПТАЦИЯ АПК «ПРОФИЛЬ-М» НА СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ОАО «РЖД» И ПОДЪЕЗДНЫЕ ПУТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА .....	94
5.1 Задачи внедрения АПК «Профиль-М» .....	94
5.2 Этапы внедрения АПК «Профиль-М».....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	107
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	109
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ «СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ».....	118
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) ТИПОВОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ПУТИ.....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) КАРТОЧКИ КРИВЫХ.....	123
ПРИЛОЖЕНИЕ Г (обязательное) КАРТОЧКА КРИВОЙ, ПОЛУЧЕННАЯ В ПРОЦЕССЕ ОПЕРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ.....	124
ПРИЛОЖЕНИЕ Д (обязательное) КАРТОЧКА КРИВОЙ, ПОЛУЧЕННАЯ В ПРОЦЕССЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СЪЕМКИ АПК «ПРОФИЛЬ-М».....	125

## ВВЕДЕНИЕ

*Актуальность темы исследования.* Железные дороги – сложнейшие инженерные сооружения, подверженные воздействию динамических нагрузок и природно-климатических факторов. Для обеспечения их функционирования и безопасности движения в соответствии с регламентами выполняется контроль технического состояния, ежегодно проводятся работы по текущему содержанию, различным видам ремонта и модернизации. Все виды работ от контроля состояния рельсовой колеи до модернизации предусматривают измерения геометрических параметров рельсовой колеи, габаритов приближения строений, состояния земляного полотна, инженерных сооружений [5, 38].

В связи с повышением скоростей движения [33], объемов перевозки грузов ужесточились требования к геометрии рельсовой колеи, в том числе к методам геодезического обеспечения проектирования, ремонтов (строительства) и содержания железных дорог.

Российские железные дороги (РЖД) в настоящее время осуществляют около 20 % грузооборота и 10 % пассажирооборота всех железных дорог мира. Для обеспечения эффективности железных дорог Российской Федерации (РФ) разработана стратегия развития до 2030 г. (распоряжение правительства № 877-р от 17.06.2008 г.) [45], в соответствии с которой необходимо провести модернизацию существующих объектов инфраструктуры. Одной из важнейших задач является переход на координатные (цифровые) методы проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог (распоряжение открытого акционерного общества (ОАО) «Российские железные дороги» № 2511 от 03.12.2010 г.). В основе перехода на координатные (цифровые) методы лежит автоматизация геодезических работ при проектировании, строительстве и эксплуатации железных дорог.

Для определения геометрических параметров в настоящее время используются путеизмерительные станции, диагностические лаборатории [6, 10, 12, 50], системы управления выправкой пути путевых машин, обеспечивающие «шаг» съемки (0,2–0,5 м), в основе работы которых лежит определение стрел изгиба и других

параметров с использованием линейных и угловых датчиков на ограниченной длиной вагона (17–22 м) измерительной базе. Кроме того, в процессе строительства и эксплуатации железных дорог широкое распространение получили различные шаблоны и специализированные приборы. Такие относительные системы измерений имеют функциональные ограничения, не позволяющие измерять длинные неровности пути в плане и профиле, особенно при повышении скоростей движения, когда необходимо измерять неровности на хорде длиной до 200 м [5, 14, 37], при этом геометрические параметры не связаны с геопространственными системами координат, что ограничивает применение цифровых технологий. При этом применение геодезических методов позволяет определять пространственные данные и геометрические параметры в одной системе координат с возможностью преобразования в другие системы координат и главное – получать в любой точке по пространственным данным геометрические параметры, в том числе, применяющиеся в 3D-системах автоматизированного управления выправкой пути [36, 37, 52]. При этом применение традиционных геодезических методов для съемки в сечениях пути с «шагом» 0,2–0,5 м неэффективно из-за высокой трудоемкости. Для использования геодезических данных при определении геометрических параметров необходимо автоматизировать процесс съемки и расчета геометрических параметров в стандартах ОАО «РЖД», что позволяет перейти на использование цифровых технологий. Кроме того, автоматизация расчета геометрических параметров дает возможность повысить производительность работ при выполнении операционного контроля, исполнительных съемок и контроля качества ремонтных работ, а также определения динамики изменения геометрических параметров в процессе эксплуатации железнодорожного пути. Поэтому тема диссертационного исследования «Разработка автоматизированной системы геодезического обеспечения строительства, реконструкции и эксплуатации железных дорог» является актуальной.

*Степень разработанности темы.* Важную роль в развитие теории и практики геопространственных данных внесли следующие деятели отечественной и зарубежной науки: Антонович К. М., Лисицкий Д. В., Карпик А. П., Уставич Г. А., Брынь М. Я., Хорошилов В. С., Gross P., Blewitt G., Langley R., Leick A.,

Teunissen P. В развитие теории и практики геодезического обеспечения железных дорог внесли существенный вклад отечественные ученые: Матвеев С. И., Круглов В. М., Каугия М. Я., Левин К. М., Оккерман Г. Л., Ермаков В. М., Никитин В. Г.

*Цели и задачи исследования.* Целью исследований является разработка автоматизированной системы геодезического обеспечения строительства, реконструкции и эксплуатации железных дорог.

*Основные задачи исследований:*

- выполнить анализ существующих методов геодезического обеспечения проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог;
- разработать автоматизированную систему определения геометрических параметров рельсового пути по геопространственным данным;
- разработать программно-аппаратный комплекс для обработки данных, определения пространственного положения и геометрических параметров рельсовой колеи;
- разработать методику создания цифровых моделей пути (ЦМП) и электронных проектов строительства и ремонта железных дорог с использованием систем автоматизированного управления строительной техникой на базе глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС);
- выполнить экспериментальные исследования автоматизированной системы и внедрить на сети железных дорог РФ.

*Объект и предмет исследования.* Объектом исследований являются средства и методы геодезического обеспечения железнодорожной инфраструктуры.

*Предметом* исследований являются технические и методические решения по геодезическому обеспечению строительства, реконструкции и эксплуатации железнодорожной инфраструктуры.

*Научная новизна* диссертационного исследования заключается в следующем:

- разработана система, обеспечивающая определение геометрических параметров рельсовой колеи в стандартах ОАО «РЖД», которая отличается от существующих тем, что исходными данными для расчета геометрических параметров

являются пространственные данные, полученные с использованием мультисистемных приемников ГНСС;

– разработана методика геодезического обеспечения реконструкции (строительства) железных дорог с применением автоматизированной системы определения геометрических параметров на базе ГНСС, отличающаяся от известных высоким уровнем автоматизации измерений и обработки данных в стандартах ОАО «РЖД».

*Теоретическая и практическая значимость работы.*

*Теоретическая* значимость исследований заключается в получении геометрических параметров рельсовой колеи по пространственным данным ГНСС в стандартах ОАО «РЖД».

*Практическая* значимость работы заключается в том, что разработанный аппаратно-программный комплекс (АПК) позволил автоматизировать процесс натурной съемки рельсовой колеи, заменить ранее применявшиеся на железной дороге традиционные инструментальные (электронные тахеометры, нивелиры, теодолиты) и гироскопические системы (аппаратно-программный комплекс) «Профиль», «Ручной путевой измеритель» (РПИ) (Россия) Amberg, Swisstrolleys (Швейцария) и др., требующие калибровки датчика пути, датчика ширины колеи, скорости ухода оси гироскопа, а при обработке – синхронизации гироскопических и спутниковых измерений.

*Методология и методы исследования.* Эмпирической базой исследования являются выполненные ранее исследования в области разработки методики измерений АПК «Профиль» геометрических параметров рельсовой колеи, опыт, полученный при разработке и эксплуатации данных приборов на сети железных дорог ОАО «РЖД». При выполнении исследований использованы методы математического анализа, теории вероятностей и математической статистики, математической обработки геодезических измерений и моделирования. В качестве программного обеспечения для расчета точности и обработки полученных результатов использовались программные продукты ArcView GIS, Microsoft Office Excel, Trimble Geomatic Office.

*Положения, выносимые на защиту:*

– технические решения по созданию аппаратно-программного комплекса для определения пространственного положения и геометрических параметров рельсовой колеи;

– методические решения для автоматизации геодезического обеспечения реконструкции (ремонта) железных дорог при создании цифровых моделей пути и электронных проектов для систем автоматизированного управления железнодорожными строительными машинами.

*Соответствие диссертации паспорту научной специальности.*

Диссертация соответствует области исследования: 5 – Методы, технические средства и технологии геодезического обеспечения строительно-монтажных, кадастровых, землеустроительных, проектно-изыскательских, маркшейдерских, геолого-разведочных и лесоустроительных работ; освоения шельфа; монтажа, юстировки и эксплуатации технологического оборудования паспорта научной специальности 25.00.32 – Геодезия, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки РФ по техническим наукам.

*Степень достоверности и апробация результатов.* Результаты диссертационной работы докладывались и представлялись на следующих конференциях:

– на VIII Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012» (17–19 апреля 2012 г., г. Новосибирск);

– на IX Международном научном конгрессе «ИнтерэкспоГЕО-Сибирь-2013» (24–26 апреля 2013 г., г. Новосибирск).

Исследования выполнялись в рамках выполнения контрактов № Д-210/ЦДРП от 29.08.2014 г. с ОАО «РЖД», № 1636074 от 06.10.2015 г., № 2112299 от 25.10.2016 г. с ОАО «РЖД» и т. д.

Результаты исследований внедрены в ОАО «РЖД», Центральной дирекции по ремонту пути (ЦДРП), структурных подразделениях ЦДРП ЗСЖД (ПМС-20, ПМС-22, ОПМС-19, ПМС-177), ВСЖД (ПМС-66), ЗабЖД (ПМС-11, ПМС247), а также в учебный процесс Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС) (кафедра «Инженерная геодезия», Институт перспективных

транспортных технологий и переподготовки кадров, кафедры «Путь и путевое хозяйство»), Московского государственного университета путей сообщения (МГУПС), Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУП) и в акционерное общество «Казахстан темиржолы» (КТЖ) (Республика Казахстан).

*Публикации по теме диссертации.* Основные теоретические положения и результаты исследований представлены в 13 научных работах, в том числе три статьи опубликованы в рецензируемых журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук. По результатам исследований получено четыре патента (три – на полезную модель, один – на изобретение).

*Структура диссертации.* Общий объем диссертации составляет 125 страниц машинописного текста. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы, включающего 73 наименования, содержит 11 таблиц, 54 рисунка, 5 приложений.

# 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТАХ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ (РЕМОНТЕ) И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

## 1.1 Анализ геодезического обеспечения при проектно-изыскательских работах в строительстве (ремонте) и эксплуатации железных дорог

Геодезическое обеспечение железных дорог включает широкий круг инженерных задач, связанных с проектированием, строительством, ремонтом и эксплуатацией [42]. Исторически сложилось так, что развитие железных дорог способствовало развитию инженерной геодезии, разработке новых средств и методов геодезического обеспечения железных дорог, внедрению новых технологий и подготовке специалистов высокого уровня. Инженерные задачи, решаемые на железных дорогах, связаны с обеспечением геометрических размеров, пространственных параметров сооружений и взаимного положения отдельных элементов конструкции и объекта в целом.

Особенности геодезического обеспечения железных дорог всегда были связаны со спецификой линейных объектов, находящихся под действием динамических нагрузок, и их влиянием на геометрические параметры верхнего строения пути. При увеличении скоростных режимов значительно увеличились требования к точности определения геометрических параметров и динамики их изменения.

Требования к точности измерений предусматривают широкий диапазон допусков: от 1 м до 1 мм. К специфике геодезического обеспечения железных дорог необходимо отнести наличие специализированных средств измерений (шаблонов различных типов), применяемых вместо геодезических приборов и инструментов.

В соответствии с широким кругом решаемых задач, требованиям к точности и диапазону измерений набор средств и методов геодезического обеспечения железных дорог разнообразен и включает десятки типов геодезических приборов, шаблонов, приборов для контроля и мониторинга состояния инженерных соору-

жений. Анализ показывает, что основными методами измерений и получения информации являются относительные методы (Гоникберга, хорд и т. д.) [36, 38, 42].

На современном этапе особенность геодезического обеспечения железных дорог заключается в применении, наряду с нивелирами и теодолитами, самых современных приборов, например мобильных лазерных сканеров. Главным фактором, влияющим на методы геодезического обеспечения, является применение относительных методов проектирования, контроля состояния рельсовой колеи, верхнего строения пути, технологии ремонтов и реконструкции. Так, съемка пути при натурных проверках и других видах работ выполняется относительным методом Гоникберга, контроль состояния рельсовой колеи – методом хорд по стрелам изгиба на хорде 20 м. При этом одним из главных критериев оценки является плавность хода. Отклонения пространственного положения оси пути от проектного до июля 2017 г. не контролировались, так как это не было предусмотрено регламентом. В настоящее время в нормативную базу внесены соответствующие изменения (распоряжение ОАО «РЖД» № 1376р от 17.08.2017 г.). В соответствии с данными изменениями положения оси пути в настоящее время регламентируются не только габаритами приближения строений, но и пространственным положением оси пути. Современные вагоны-путеизмерители, оснащенные лазерными измерительными системами, измеряют стрелы изгиба, продольные уклоны и другие относительные параметры [50]. Для обеспечения безопасности движения регулярно измеряются габариты приближения строений.

Для постановки пути в проектное положение заказчику передаются эшюры рихтовок, при наличии второго пути – от соседнего пути и продольный профиль. Пространственные данные не используются, даже если геодезическая съемка выполнялась в пространственных системах координат с использованием тахеометров. Это связано с тем, что в настоящее время в России на железных дорогах пока только на двух дорогах (ЗСЖД и Октябрьская железная дорога) применяются системы управления выправкой пути (СУВП), принцип работы которых основан на применении пространственных данных. У строителей основной способ постановки пути в проектное положение – это измерение расстояния от соседнего пути,

сравнение его с проектным расстоянием (по эпюре рихтовок) и сдвигка пути на соответствующую разность. Такой подход позволяет минимизировать затраты и время постановки пути в проектное положение, но при этом имеет недостатки принципиального характера. Главный недостаток – это изменения пространственного положения пути с течением времени. В силу различных причин при текущем ремонте пути, из-за динамических нагрузок и других факторов путь смещается в плане и профиле. Второй дорогостоящий и трудоемкий способ – разбивочные геодезические работы. Относительные методы не обеспечивают устранение длинных неровностей в плане и профиле, а также многорадиусных кривых. Плавность хода обеспечивается только для ограниченных скоростей. Развитие высокоскоростного движения требует принципиально новых подходов в использовании координатных методов и создания нормативно-правовой базы их внедрения.

Для решения инженерных задач одним из сдерживающих факторов внедрения современных геодезических методов и геоинформационных систем на железных дорогах России являлось отсутствие нормативно-правовых документов, регламентирующих использование пространственных данных, и соответственно применение ГИС-технологий. Президентом ОАО «РЖД» В. И. Якуниным 03.12.2010 г. подписано распоряжение № 2511 «О создании комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта», которое позволяет принципиально улучшить порядок геодезического обеспечения железных дорог для целей проектирования, ремонтов, эксплуатации, мониторинга искусственных сооружений (ИССО), земляного полотна, рельсовой колеи и безопасности движения.

Геодезическое обеспечение строительства и ремонта инженерных сооружений выполняется на всех этапах строительства (ремонта) [31, 29, 27], обеспечивая технологию строительства и качество работ. Традиционно выполняются подготовительные работы по восстановлению и созданию опорной геодезической сети, расчет и составление разбивочных чертежей, непосредственно разбивочные работы, операционный контроль. Кроме того, на заключительном этапе выполняются исполнительные съемки и геодезический мониторинг.

Для обеспечения максимальной эффективности геодезического обеспечения разрабатываются технологические схемы и методы выноса в натуру инженерных объектов, включая методику измерений, контроля качества строительно-монтажных работ и другие организационные и технические мероприятия. При этом максимальной эффективности геодезического обеспечения можно достигнуть при автоматизации геодезического обеспечения на всех этапах работ: от разбивочных и планировочных работ до управления процессом строительно-монтажных работ.

При строительстве линейных сооружений, таких как железные и автомобильные дороги, наиболее трудоемкие процессы геодезического обеспечения в настоящее время автоматизированы. Так, при строительстве автомобильных дорог планировочные работы по земляному полотну, устройству дорожных одежд выполняются с использованием систем автоматизированного управления (САУ-3D) на базе ГНСС, тахеометров, лазерных роторных нивелиров (построителей плоскости), на этапе укладки асфальтобетона применяется САУ с копир-струной. САУ оборудованы бульдозеры, автогрейдеры, уплотнители, асфальтоукладчики и другая техника [1, 2, 52, 57]. На этапе операционного контроля и исполнительных съемок геодезическое обеспечение выполняется с использованием специальной геодезической аппаратуры, например универсальный дорожный курвиметр (УДК) «Ровность» [56].

При строительстве и ремонте железных дорог уровень автоматизации геодезического обеспечения в настоящее время выше по сравнению со строительством (ремонтом) автомобильных дорог [34, 46].

Наибольший объем работ на железной дороге выполняется по ремонту и модернизации. Геодезическое обеспечение при выполнении данных видов работ трудоемкое и осложняется тем, что необходимо обеспечивать график движения поездов в ограниченные сроки [9], например в 6-часовое «окно». Поэтому требования к геодезическому обеспечению ремонта (модернизации) включают максимально возможное повышение производительности работ на всех этапах ремонта.

Сибирский государственный университет путей сообщения на протяжении последних 15 лет разрабатывает автоматизированные системы геодезического обеспечения ремонта и эксплуатации железных дорог, включая натурные съемки, разработку и создание систем автоматизированного управления тяжелой путевой (строительной) техникой: электробалластер (ЭЛБ), щебнеочистительные машины (ЩОМ), выправочно-рихтовочно-подбивочные машины (ВПО), комплексы машин для отделочных высокоточных работ (Доумат) и др. [59] .

Кроме того, учитывая специфику работ на железных дорогах строительной техники, включая подготовку проектной документации, электронных проектов, методы геодезической привязки и разбивочные работы, наличие ограничений на движение и работу по графику, для строительной техники (бульдозеров, автогрейдеров) в СГУПС также разработаны оригинальные САУ на базе ГНСС. Для обеспечения работы САУ на базе ГНСС при подготовке электронных проектов, операционном контроле, исполнительных съемках разработан АПК «Профиль» [62]. Одним из важнейших этапов внедрения автоматизированных методов геодезического обеспечения является разработка СГУПС инструкции по геодезическому обеспечению ремонта (модернизации) железнодорожного пути с применением ГНСС и систем автоматизированного управления на их базе, утвержденной ОАО «РЖД» (распоряжение ОАО «РЖД» № 3214 от 31.12.2015 г.).

Методика натурной съемки при проектировании, реконструкции, капитальном ремонте пути является традиционной [27, 29]:

- разбивочные работы;
- создание опорной геодезической сети;
- закрепление пикетов и других точек на местности;
- измерение координат и высот ( $X, Y, H$ );
- подготовка проектных данных.

Капитальный ремонт выполняется в шесть этапов:

- 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 третий и четвертый этапы, связанные с выправкой пути и выполнением большого объема работ по геодезическому обеспечению.

Третий этап (наиболее ответственный) предусматривает балластировку пути, постановку пути на балласт и в проектное положение в плане и профиле.

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 после 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. При этом контролируются габариты приближения строений, линейные координаты (привязка по пути) и длины рельсовых плетей с координатами их закрепления. Работы выполняются в режиме операционного геодезического контроля;
- окончательная выправка пути.

При выполнении основных работ по выправке пути используются выправочно-подбивочно-рихтовочная (ВПР) машина 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 используется рельсовозный состав, путеразборочный состав и другая техника. При окончательной выправке пути используется машина «Доуматик 09-32», динамический стабилизатор пути ДСПС. Технологическая схема выполнения работ в общем виде приведена на рисунке 1.

На всех этапах указанной структурной схемы выполняется операционный контроль, включая монтажно-строительные работы, контроль качества на каждом этапе, в том числе контроль параметров кривых. Большой объем геодезических работ в сжатые сроки, особенно, если работы выполняются «в 5-6-часовое окно» требует наличия самых современных приборов и оборудования, применения современных геодезических методов контроля геометрических параметров.



Рисунок 1 – Структурная схема технологии реконструкции верхнего строения пути (РВСП) и капитального ремонта

*Балластировка пути, отделочные работы и окончательная выправка пути.*

Работы по балластировке пути выполняются после укладки новой рельсошпальной решетки механизированным 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. После второй выгрузки щебня из хопер-дозаторов путь в плане и профиле рихтует машина ВПР-02. Оправку балластной призмы и формирование ее плеча шириной не менее 40 см производит быстроходный планировщик балласта ПБ. В местах нехватки щебеночного балласта из хопер-дозаторов выгружают щебеночный балласт для отделочных работ.

*Отделочные работы.*

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

Окончательная выправка пути производится машиной 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 навесным приспособлением производится 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».

### *Геодезическое обеспечение эксплуатационной работы на железных дорогах.*

Геодезическое обеспечение эксплуатационной работы (средний ремонт, планово-предупредительные выправки) на железных дорогах включает ремонтные работы, контроль геометрических параметров, габаритов приближения строений, при этом наиболее трудоемкой и объемной работой является инструментальная проверка станционных железнодорожных путей [32], которая выполняется один раз в 10 лет, а для горочных путей – 1 раз в 3 года. Работа выполняется в соответствии с нормативными требованиями [18, 19]. Состав работ включает:

- подготовительные работы;
- создание опорной геодезической сети;
- разбивочные работы;
- натурную съемку плана и профиля станционных путей;
- обработку данных;
- создание масштабных планов и продольных профилей.

Работы выполняются в соответствии с требованиями [48] с применением тахеометра и нивелира.

Данный вид геодезических работ составляет 80 % всего объема геодезических работ при эксплуатационной работе. Основными недостатками существующей методики геодезического обеспечения инструментальной проверки плана и профиля станционных путей и подготовки отчетных документов является наличие трудоемких методов работ (разбивочные работы, инструментальная съемка пути, привязка объектов инфраструктуры, определение габаритов приближения строений) и низкий уровень автоматизации при создании отчетных документов.

## 1.2 Нормативная база геодезического обеспечения железных дорог для перехода на координатные (цифровые) технологии

Проектно-изыскательские, ремонтные (строительство) и эксплуатационные работы на железных дорогах строго регламентированы, включая геодезическое обеспечение. Поэтому методики, измерительные средства, технические и строи-

тельные допуски должны соответствовать нормативным требованиям, технологическим картам, регламентам [32, 33].

Нормативные документы:

– Руководство по проведению полевых, обследовательских работ и проектированию капитального ремонта железнодорожного пути МПС СССР 18.01.1990. 3Ц проект-0-3. – М., 1990;

– ВСН 208-89. Инженерно-геодезические изыскания железных и автомобильных дорог;

– Пособие по производству геодезических работ в строительстве;

– Распоряжение № 75р от 18.01.2013. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути. – М., 2013;

– СНиП 32-01-95. Железные дороги колеи 1 520 мм;

– СТН Ц-01-95. Железные дороги колеи 1 520 мм;

– СП 32-104-98. Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1 520 мм;

– Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. Утверждены 21.12.2010. – М., 2012;

– ПОТ РО-32-ЦП-652-99. Правила по охране труда при содержании и ремонте железнодорожного пути и сооружений. – М., 1999;

– Положение о проведении реконструкции (модернизации) железнодорожного пути от 01.07.2009. – М. : ОАО РЖД, 2009;

– ГОСТ Р 51794-2008 Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек;

– ГОСТ Р 52928-2010 Система спутниковая навигационная глобальная. Термины и определения;

– ГОСТ Р 53864-2010 Глобальная навигационная спутниковая система. Сети геодезические спутниковые. Термины и определения;

– ГОСТ Р 54459-2011 Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы дифференциальной коррекции. Общие технические требования;

– ГОСТ Р 53907-2010 Глобальная навигационная спутниковая система. Подсистемы дифференциальные железнодорожные. Общие положения. Термины и определения;

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

– ГОСТ Р 54115-2010 Глобальная навигационная спутниковая система. Приемник железнодорожный общего пользования. Технические требования;

– СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения;

– ГОСТ Р 51794-01. Аппаратура радионавигационной глобальной спутниковой системы и глобальной системы позиционирования. Системы координат. Методы преобразования определяемых точек;

– РТМ 68-14-01 Спутниковая технология геодезических работ. Термины и определения;

– ГОСТ Р 52457-2005 Глобальная навигационная спутниковая система. Аппаратура потребителей. Классификация;

– ГКИНП (ОНТА)-01-271-03 Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS;

– ГКИНП (ГНТА)-17-004-99 Инструкция о порядке контроля и приемки геодезических, топографических и картографических работ;

– ГКИНП (ОНТА)-02-262-02 Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS;

– Специальная реперная система контроля состояния железнодорожного пути в профиле и плане от 26.03.1998. – М. : ВНИИЖТ, 1998;

– СП 126.13330.2012 Геодезические работы в строительстве;

– ГОСТ 21778-81 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения;

- СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства;
- Распоряжение ОАО «РЖД» № 1374 от 01.07.2009 г. Об объединении двух видов реконструкции железнодорожного пути и признании утратившим силу распоряжения ОАО «РЖД» от 8 июня 2007 г. № 1080р;
- Методические указания по составлению масштабных планов железнодорожных станций ЦПТ 54/27, утв. ОАО «РЖД» 17 декабря 2008 г.;
- Методические указания по составлению продольных профилей железнодорожных станций и перегонов. Утв. ОАО «РЖД» 17 декабря 2008 г.

При переходе на цифровые методы проектно-изыскательских работ, строительства (ремонта) и эксплуатации железных дорог создана специальная нормативная документация, включающая:

- распоряжение «О создании комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта» № 2511 от 03.12.2010 г.;
- СП 233.1326000.2015 Инфраструктура железнодорожного транспорта. Высокоточная координатная система. Распоряжение ОАО «РЖД» 3214 от 31.12.2015 г. «Инструкция по геодезическому обеспечению ремонтов железных дорог с применением ГНСС и систем управления на их базе».

*Изменения нормативных требований в связи с переходом на координатные методы при приемке железных дорог и по окончании ремонта (модернизации).*

Основные изменения при приемке железных дорог и по окончании ремонта (модернизации) при переходе на цифровые (координатные) методы внесены в технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути от 18.01.2013 № 75р распоряжением ОАО «РЖД» от 17 июля 2017 г. № 1376 г.

Автор диссертационной работы принял участие в создании новой нормативной базы, в частности в разработке «Инструкция по геодезическому обеспечению ремонтов железных дорог с применением ГНСС и систем управления на их базе» (распоряжение ОАО «РЖД» № 3214 от 31.12.2015 г.).

### 1.3 Средства и методы измерений при геодезическом обеспечении проектно-изыскательских работ, строительстве и эксплуатации железных дорог

История определения геометрических параметров железных дорог в России начинается с 1870 г. Первый путеизмеритель был создан И. Н. Ливчаком. С 50-х гг. XX в. определение геометрии пути выполняется регулярно с использованием путеизмерителей на базе вагона [50], различного типа тележек, шаблонов, геодезических инструментов и приборов, аэрофотосъемки.

Современные средства определения геометрических параметров представлены путеобследовательскими станциями КВЛПЗ.0, ЦНИИ-4, «Эра», «Интеграл», портативные средства измерений – ПТ-7МК на базе ходовой тележки. В основе работы данных путеизмерительных, путеобследовательских станций и передвижных лабораторий лежат относительные методы измерений.

Сущность определения геометрических параметров заключается в определении параметров с помощью угловых и линейных датчиков. С использованием датчиков измеряются стрелы изгиба на заданных длине измерительной хорды (17–20 м), ширине колеи и возвышении рельса. В настоящее время эти средства измерений в ОАО «РЖД» обеспечивают требования к геометрии рельсовой колеи при скоростях движения, ограниченных 140 км/ч. При увеличении допускаемых скоростей движения необходимо определять неровности в плане и в профиле на хорде до 100–200 м, что данные измерительные средства не обеспечивают в принципе из-за функциональных ограничений, связанных с длиной измерительной базы и применением относительного метода получения геометрических параметров.

Решением проблемы определения геометрии рельсовой колеи является применение координатных методов с использованием геодезических средств измерения, в основе которых лежат инерциальные системы, ГНСС, лазерное сканирование, современные методы аэрофотосъемки и комплексные системы измерений, включающие несколько измерительных средств.

Детальный анализ средств и методов измерений для определения пространственных данных и геометрических параметров на железной дороге основан на

применении традиционных методов, включающих разбивочные работы с использованием электронных тахеометров, нивелиров, теодолитов и различных шаблонов. Анализ контроля геометрии рельсовой колеи показал, что геодезические средства и методы широко представлены путеизмерительными тележками [8]:

- TachyRail фирмы «GEO-METRIKAG» (Германия);
- АПК «Профиль» – СГУПС (Россия, г. Новосибирск);
- Swiss trolleys фирмы «Terra Vermessungenag» (Швейцария);
- GRP System FX фирмы «Amberg Technologies» (Швейцария);
- РПИ (Россия, г. Самара, НПЦ ИН «Инфотранс»).

Результаты анализа показали общие недостатки аппаратно-программных комплексов, которые заключаются в использовании схемы комплексирования спутниковой и инерциальной систем, электронных тахеометров и инерциальных систем и других вариантов комплексирования. Такие системы из-за наличия калибровок и настроек, как до начала работ, так и в процессе натурных измерений, увеличивают непроизводительные простои, а при интенсивном движении поездов это особенно затрудняет работу. Измерительные системы иностранного производства, кроме указанных недостатков, не обеспечивают стандарты ОАО «РЖД». Наличие приводов, датчиков, систем синхронизации и коммутаций приводит к большому объему профилактических и регламентных работ.

Исследования показали актуальность создания системы измерения геометрических параметров рельсовой колеи по пространственным данным, полученным ГНСС [61, 62], когда в отличие от использования инерциальных систем обеспечивается единство координатной среды в исходных данных для геопространственных данных, геометрических параметров габаритов приближения строений, объектов инфраструктуры и что принципиально важно – преобразование геопространственных данных в геометрические параметры.

На рисунке 2 показана автоматизированная система TachyRail фирмы «GEO-METRIK AG», включающая инерциальную систему и ГНСС, позволяющую определять пространственное положение и геометрию рельсовой колеи.



Рисунок 2 – TachyRail фирмы «GEO-METRIK AG» (Германия)

На рисунке 3 показана система GRP System FX фирмы «Amberg Technologies».



Рисунок 3 – GRP System FX фирмы «Amberg Technologies» (Швейцария)

В основе работы лежат инерциальная система, роботизированный тахеометр, лазерный сканер, это позволяет определять пространственное положение и геометрию рельсовой колеи в стандартах ОАО «РЖД»

На рисунке 4 показана система АПК «Профиль».



Рисунок 4 – АПК «Профиль» – СГУПС (Россия, г. Новосибирск)

В основе работы АПК «Профиль» лежит инерциальная система с ГНСС, что позволяет определять пространственное положение и геометрию рельсовой колеи согласно стандартам ОАО «РЖД».

На рисунке 5 показана система Swiss trolleys фирмы «Terra Vermessungenag» (Швейцария).



Рисунок 5 – Система Swiss trolleys фирмы «Terra Vermessungenag» (Швейцария)

В основе работы автоматизированной системы лежит инерциальная система, лазерный сканер, что позволяет определять пространственное положение и геометрию рельсовой колеи.

## 2 РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СОЗДАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ ПО ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫМ ДАННЫМ

### 2.1 Разработка принципиальной схемы автоматизированной системы определения пространственных данных и геометрических параметров рельсовой колеи

Результаты анализа средств измерений, выполненные в 1.3, показали, что геодезические методы и средства измерений и соответственно приборы, в основе которых лежат геодезические методы, обеспечивают более широкие функциональные возможности и выполнение нормативных требований, предъявленных железными дорогами с учетом возрастающих скоростей движения и безопасности движения. При этом недостатки измерительных систем на базе ходовых тележек, представленных в 1.3, являются принципиальными, т. е. усовершенствовать или изменить эти системы нельзя.

Традиционные геодезические измерительные средства (электронный тахеометр, нивелир, теодолит) используются только для определения геопространственного положения инфраструктуры железных дорог и не применяются для определения геометрии рельсовой колеи в стандартах ОАО «РЖД» ЦП 515. Поэтому разработка автоматизированной системы на базе геодезических средств и методов измерения позволяет расширить функциональные возможности измерительных средств и минимизировать недостатки существующих автоматизированных средств для определения геометрии рельсовой колеи.

При решении задачи разработки системы получения геометрических параметров рельсового пути по геопространственным данным необходимо иметь возможность определения пространственной ориентации ходовой тележки в продольной и поперечной плоскости. Инерциальные системы, применяющиеся для

этих целей, требует периодических калибровок, сложны в эксплуатации и их стоимость составляет до 60 % стоимости всего оборудования.

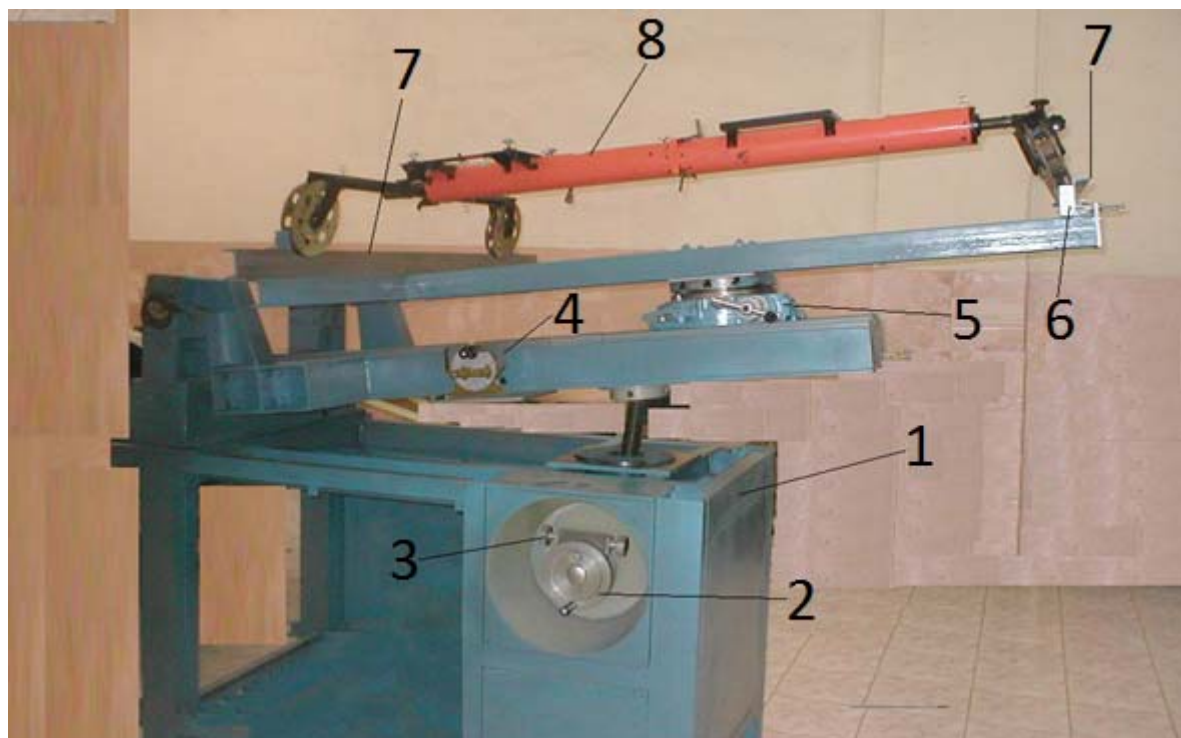
Применение тахеометров с автоматической следящей системой также связано с ограничениями и непроизводительными затратами времени на создание опорной геодезической сети, перестановкой тахеометра с одной опорной точки на другую, необходимостью использования дополнительных датчиков пространственного положения (инклинометров, акселерометров, энкодеров и т. д.) для определения ширины колеи и возвышения рельса.

Наиболее простым решением является использование координат в двух фиксированных точках ходовой тележки, жестко связанных с геометрией рельсовой колеи [62]. Поэтому появление мультисистемных двух-, трехантенных спутниковых приемников, ГНСС позволило начать исследования и разработку системы, альтернативной существующим автоматизированным системам.

При создании автоматизированной системы были решены несколько принципиальных технических задач, обеспечивающих возможность определения геометрических параметров рельсовой колеи:

- разработка системы углового согласования оси ходовой тележки и вектора движения;
- разработка системы углового согласования геометрической оси тележки и оси железнодорожного пути;
- разработка устройства ходовой тележки, с возможностью перемещения с сохранением ориентации осей относительно оси пути;
- исследования двух антенных спутниковых приемников позиционирования GNSS с измерительными системами различных разработчиков для выбора оптимального спутникового приемника разрабатываемой системы;
- разработка структурной схемы аппаратно-программного комплекса, включая работу со спутниковой референц-сетью и временными базовыми станциями;
- исследования точности измерений геометрических параметров, в RTK, на стенде, в полевых условиях, на эталонном участке железнодорожного пути.

Разработка, настройка и калибровка ходовой тележки, обеспечивающей угловое положение оси тележки относительно вектора движения, выполнялись на специально разработанном СГУПС совместно со СНИИМ стенде-имитаторе (рисунок 6) рельсовой колеи (рег. в Госреестре № 29465-05).



1 – рама; 2 – ручное управление механизма подъема; 3 – микроподача; 4 – квадрант;  
5 – поворотный стол; 6 – брусок; 7 – направляющая (имитирует головку рельса);  
8 – поверяемое СИ

Рисунок 6 – Общий вид стенда-имитатора рельсовой колеи (СИРК) для калибровки и настройки автоматизированных систем с целью определения геометрических параметров рельсовой колеи

#### *Устройство стенда-имитатора СИРК*

Все оборудование стенда с целью компактного размещения жестко закреплено на раме, органы ручного управления размещаются внутри тумбы основания, а поворотный стол (с ценой деления 1') на плите (основании-балке). На поворотном столе размещен имитатор участка пути из отшлифованного швеллера. Механизм подъема плиты (основания-балки) закрыт защитным кожухом. Система

подъема плиты (основания-балки) для задания угла наклона, которая расположена внутри, состоит из зубчатой передачи, пары «винт – гайка» и механизма микро-подачи. Углы наклона задаются и контролируются при помощи квадранта. Разворот имитационного участка пути осуществляется при помощи поворотного стола, на котором имеется лимб с нанесенными на нем градусами и минутами. Для изменения ширины колеи устанавливаются дополнительные меры (брусочки) с различной толщиной (15; 20; 40; 60 мм). Создание искусственных неровностей имитируется пластинами с толщиной 1; 1,5; 3 мм.

Основной задачей стенда является обеспечение юстировки ходовой тележки для угловой ориентации геометрической оси тележки и оси железнодорожного пути (рельсовой колеи). При этом ось тележки должна быть жестко связана с фазовыми центрами спутниковых антенн. Данная задача решается путем измерения эталонных значений курса (дирекционного угла оси тележки) и фактического значения курса из многократных (в RTK) измерений курса

$$\Delta_{\text{оси}} = \alpha_{\text{КЭ}} - \alpha_{\text{КФ}}, \quad (1)$$

$$\alpha_{\text{КФ}} = \frac{\sum_1^n \Delta Y}{\sum_1^n \Delta X} S'', \quad (2)$$

где  $\alpha_{\text{КЭ}}$  – курс эталонный;  $\alpha_{\text{КФ}}$  – курс фактический;  $\Delta Y$ ,  $\Delta X$  – приращения координат фазовых центров спутниковых антенн;  $n$  – число циклов измерений на стенде. Количество циклов измерений определяется точностью вычисления курса.

Выполнение согласования осей ходовой тележки и рельсовой колеи обеспечивает функциональные возможности определения геометрических параметров и исключения влияния продольных уклонов на поперечные и наоборот. Для обеспечения параллельности вектора движения и оси пути используется кинематическая схема с подвижной и неподвижной частями тележки, соединенными пружинной и специальными карданным узлом сопряжения, а также конструкцией ходовых опорных колес, создающих трехточечное опирание на рельсы.

Исследования двухантенных спутниковых приемников [61, 62] позиционирования GNSS с двумя синхронно работающими измерительными системами различных разработчиков для выбора оптимального спутникового приемника (разрабатываемого АПК) выполнялись в соответствии с критериями наличия доступных протоколов обмена данными, соответствующих работе с референц-сетью и временными базовыми станциями, синхронизации и точности измерений, надежности и функциональных возможностей аппаратуры (скорость обмена данными, частота и др.). Всего исследования были выполнены по четырем фирмам: Trimble (SPS855; SPS555H), Leica GNSS (ICON 80), Javad (Sigma), Topcon (OEM-1), имеющим двухантенную аппаратуру для взаимного определения положения. Антенный приемник Sigma (Javad) при исследовании из-за ограниченных функциональных возможностей и не соответствующего нашим требованиям протокола обмена был забракован, а из остальных по обозначенным критериям выбран приемник ICON 80. Применение для пространственного ориентирования двух приемников с антеннами, установленными на расстоянии 1–2 м относительно друг друга, не обеспечивает требуемой точности. При работе в дифференциальном режиме каждый приемник независимо друг от друга обеспечивает точность относительно базовой станции 1–3 см, поэтому взаимное положение составляет 2–4 см. Применение специальных приемников типа ICON 80 позволяет за счет того, что одна из антенн является базовой по отношению к другой, получать на расстоянии 1–2 м точность взаимного положения 1 мм, а пространственного положения 1–3 см, в зависимости от удаления от базовой станции.

Исследования мультисистемных спутниковых приемников выполнялось также на стенде СИРК. Основная задача после выбора в качестве измерительной системы Leica Icon 80 заключалась в точности определения пределов изменения пространственного положения и взаимного положения фазовых центров спутниковых антенн.

Измерения выполнялись в RTK в дифференциальном решении с использованием референц-станций СГУГиТ. Пространственное положение относительно опорной геодезической сети не исследовалось. В таблице 1 приведены данные

точности определения геопространственных координат и взаимного положения фазовых центров спутниковых антенн.

Таблица 1 – Данные определения точности геопространственных координат и взаимного положения фазовых центров спутниковых антенн

Курс оси СИРК	Средняя квадратическая ошибка (СКО) определения пространственного положения по внутренней сходимости в циклах измерений		СКО Курс	Расстояние между фазовыми центрами антенн, мм	Превышение между фазовыми центрами антенн, мм
	X, мм	Y, мм			
0	7	9	+0°,00'50	2	1
30	11	8	+0°,01'05	1	2
60	6	7	+0°,00'45	1	0
90	3	11	+0°,01'20	1	1
120	4	10	+0°,00'05	1	0
150	9	6	+0°,00'35	1	1
180	8	7	+0°,00'10	2	1

Из таблицы 1 видно, что СКО пространственного положения спутниковых антенн от 0° до 180° (с изменением в циклах измерений курса на 30 градусов) по внутренней сходимости составляет 10 мм, а взаимное положение фазовых центров по курсу (дирекционный угол оси путеизмерительной тележки) составляет 0,7', при этом расстояние и превышение между фазовыми центрами спутниковых антенн составляет 1 мм в статике (без учета динамики движения).

Всего при выполнении стендовых испытаний при оценке точности выполнено более 30 циклов с изменением курса ходовой тележки в каждом цикле на 30°. В результате исследований создана автоматизированная система для определения геопространственного положения оси пути и геометрических параметров железнодорожного пути, кинематическая схема которой приведена на рисунке 7.

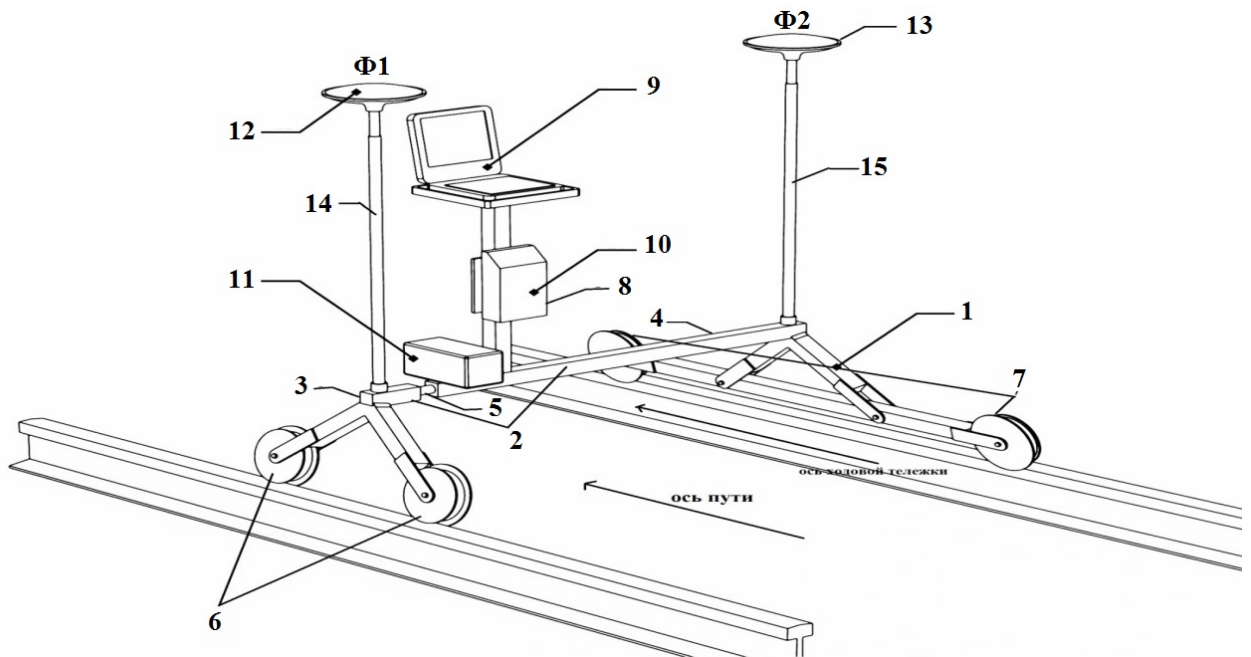


Рисунок 7 – Кинематическая схема АПК «Профиль-М»

Устройство [26] (приложение А), (рисунок 7) содержит ходовую тележку 1, выполненную в виде разборной рамы 2, состоящей из подвижной части 3 и неподвижной части 4, соединенных между собой с возможностью перемещения подвижной части относительно неподвижной в зависимости от ширины колеи – направляющей 5. На подвижной части 3 установлены колесная подвижная пара 6, опирающаяся на первую рельсовую нить. На неподвижной части рамы 4 ходовой тележки 1 установлена колесная неподвижная пара 7. Рама 2, опирающаяся с помощью колесных пар 6 и 7 на рельсы, установлена перпендикулярно (под углом  $90^\circ$ ) относительно направления движения по рельсовой колее. На раме 2 установлена платформа 8, на которой установлен бортовой компьютер 9, соединенный со спутниковым приемником 10, связанным с модемом 11. В оконечных частях указанной опорной рамы 2 над соответствующими рельсовыми нитями установлены первая и вторая спутниковые антенны 12 и 13, фазовые центры  $\Phi 1$  и  $\Phi 2$  которых лежат на одной прямой в плоскости, перпендикулярной направлению движения ходовой тележки. Спутниковые антенны 12 и 13 связаны соответственно с первым и вторым входами спутникового приемника 10, вход-выход которого связан с модемом 11, принимающим сигналы базовой спутниковой станции 16. Выход указанного спутникового приемни-

ка 10 соединен с бортовым компьютером 9. Спутниковые антенны 12 и 13 установлены в оконечных частях рамы 2 на стойках 14 и 15, соответственно. Структурная схема АПК «Профиль-М» приведена на рисунке 8. АПК «Профиль-М» с использованием радиомодемов и (или) GSM связан с базовой спутниковой референц-станцией 16 ГНСС, включающей спутниковый приемник 17, связанный с модемом 18 и антенной 19.

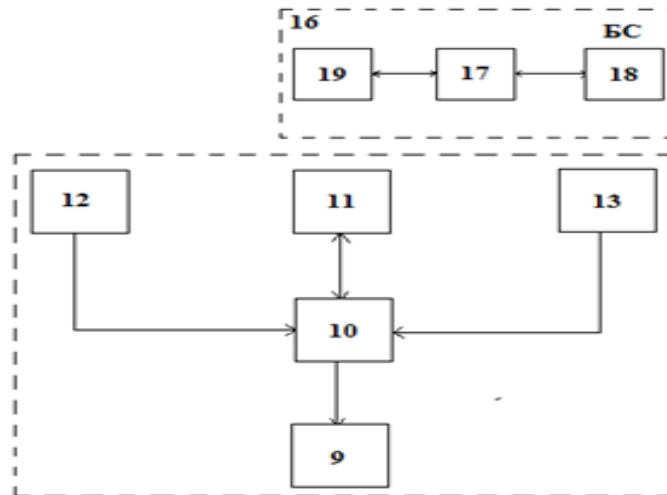


Рисунок 8 – Структурная схема АПК «Профиль-М»

Наличие двух и более антенн позволяет определять пространственную ориентацию осей ходовой тележки и соответственно вектора ее движения в двух плоскостях. Такой подход позволяет отказаться от гироскопов и акселерометров и, в конечном итоге, и от дорогостоящих инерциальных систем, работа с которыми требует калибровок и настроек как в процессе подготовки к измерениям, так и в процессе натуральных измерений.

В основе расчета геометрии рельсовой колеи лежат координаты правой и левой рельсовых нитей [26, 62], полученные мультисистемными приемниками ГНСС.

Геометрические параметры рельсовой колеи (ширина колеи, возвышение рельса, рихтовка, просадка) с использованием координатных методов определяются по соответствующим алгоритмам.

Ширина колеи (шаблон) определяется по формулам

$$\begin{cases} \Delta X = X_2 - X_1; \\ \Delta Y = Y_2 - Y_1, \end{cases} \quad (3)$$

$$l = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}, \quad (4)$$

Схема измерения показана на рисунке 9.



Рисунок 9 – Схема измерения ширины колеи

Возвышение рельса (уровень)  $\Delta H$  определяется по формуле

$$\Delta H = H_2 - H_1, \quad (5)$$

где  $X_1, Y_1, H_1, X_2, Y_2, H_2$  – координаты фазового центра первой и соответственно второй спутниковой антенны.

Схема определения приведена на рисунке 10.

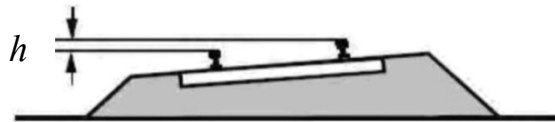


Рисунок 10 – Схема определения возвышения рельса

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

$$H_B = \frac{H_{i-1} + H_{i+1}}{2}, \quad (6)$$

$$\Delta H' = H_B - H_i, \quad (7)$$

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 фазового центра

спутниковой антенны в  $i$  точках пути;  $H_B$  – средняя высотная отметка на хорде  $(i-1) - (i+1)$ .

Схема определения приведена на рисунке 11.

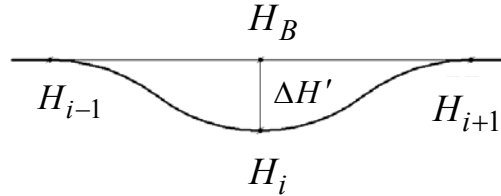


Рисунок 11 – Схема расчета неровностей рельсовой колеи в вертикальной плоскости (просадки в стандарте ЦП 515)

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

$$\begin{cases} X_B = \frac{X_{i-1} + X_{i+1}}{2}; \\ Y_B = \frac{Y_{i-1} + Y_{i+1}}{2}, \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \Delta X' = X_i - X_B; \\ \Delta Y' = Y_i - Y_B, \end{cases} \quad (9)$$

$$\delta = \sqrt{\Delta X'^2 + \Delta Y'^2}, \quad (10)$$

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

Схема определения рихтовки приведена на рисунке 12.

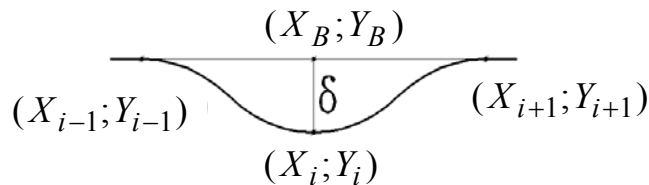


Рисунок 12 – Схема расчета неровностей рельсовой колеи в горизонтальной плоскости (рихтовка в стандарте ЦП 515)

Текущие координаты точек  $i$  фазовых центров спутниковых антенн, предварительно (до расчета геометрических параметров) редуцируются на головки рельсов и с учетом требований стандартов ОАО «РЖД», например, ширина колеи определяется на 13 мм ниже относительно верха головки рельса.

Стендовые испытания полностью подтвердили правильность выбора GNSS Leica ICON 80.

## 2.2 Исследования автоматизированной системы на экспериментальном участке 2–3 км железной дороги Новосибирск – Пашино

Для выполнения исследования создан эталонный участок с использованием нивелира, шаблона ЦУП-3, тахеометра, в сечениях пути через 10 м определены геометрические параметры рельсовой колеи по формулам (3)–(10), приведенным в 2.1.

Для определения работоспособности функциональных возможностей, соответствия стандартам ОАО «РЖД», а также надежности и оценки точности с использованием автоматизированной системы выполнено 24 цикла измерений по 200 сечениям экспериментального участка. Участок является типовым, с наличием дефектов и геометрией рельсовой колеи, соответствующей нормативным требованиям ЦП 515.

В качестве базовой спутниковой станции для дифференциальных измерений в RTK использовалась спутниковая станция СГУГиТ. Привязка инфраструктуры (опоры контактной сети, светофоры, изостыки и т. д.) выполнялись лазерным дальномером Sick DT50 (Германия). Оценка точности выполнялась в сравнении с данными АПК «Профиль» [20], путевой обследовательской станции ЦНИИ-4 и путевым шаблоном ЦУП-3. Данные оценки точности измерений геометрических параметров АПК приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные оценки точности измерений геометрических параметров АПК

Система контроля геометрических параметров	Положения рельсовых нитей в плане		Положения рельсовых нитей в верт. плоскости		Ширина колеи		Возвышение рельса	
	Циклы измерений	СКО, мм	Циклы измерений	СКО, мм	Циклы измерений	СКО, мм	Циклы измерений	СКО, мм
АПК «Профиль»*	24	2	24	2	24	2	24	2
ЦНИИ-4**	10	2	10	2	10	2	10	2
Путевой шаблон ЦУП-3***	-	-	-	-	16	1	16	2

\* АПК «Профиль» разработан в СГУПС в 2002 г. (патент № 2261302) и в настоящее время является наиболее высокоточным прибором (сертификат RU.E 27.007A № 45843) для определения геометрических параметров рельсовой колеи в стандарте ЦП 515.

\*\* ЦНИИ-4 – вагон-лаборатория, предназначенная для контроля геометрических параметров рельсовой колеи в стандарте ЦП 515 при приемке законченных ремонтных работ железных дорог в эксплуатацию в соответствии с регламентом ОАО «РЖД».

\*\*\*Путевой шаблон (ЦУП-3) – дорожный мастер, позволяет в статике измерять ширину колеи и возвышение рельса с погрешностью 1 мм, работа регламентирована ОАО «РЖД» при текущем содержании и ремонте железных дорог

Методика испытаний в полевых условиях заключалась в определении отклонений результатов съемки геометрических параметров автоматизированной системой АПК «Профиль-М» от результатов, полученных АПК «Профиль» в сечениях пути, созданных при подготовке экспериментального участка к испытаниям. Устройство и принцип работы АПК «Профиль-М» и АПК «Профиль» отличаются принципиально, включая алгоритмы получения пространственных данных и геометрии рельсовой колеи, поэтому результаты АПК «Профиль-М» по линейной координате приводились в соответствие с данными АПК «Профиль» и после данной процедуры выполнялось сравнение геометрических параметров рельсовой колеи.

Контроль геометрии пути с использованием путеобследовательской станции ЦНИИ-4 выполнялся по общим узловым точкам привязки, так как привязка к эксплуатационному пикетажу в ЦНИИ-4 выполняется «на глаз», т. е. вручную, фиксировались смещения показаний одометра ЦНИИ-4 и контрольной точки, в конечной точке определялась линейная невязка, когда вагон останавливался. Для

устранения неоднозначностей невязка линейно распределялась на весь экспериментальный участок.

Путевой шаблон позволяет определять только возвышение рельса (уровень) и ширину колеи (шаблон), при этом измерения можно выполнять непосредственно в сечениях пути с перестановкой оси чувствительности акселерометра (цилиндрического уровня) на  $180^\circ$ , получая максимально точные результаты в стандарте ОАО «РЖД» ЦП 515. Циклы измерений АПК «Профиль-М» и контрольных (эталонных) измерительных средств были совмещены, так как с течением времени геометрические параметры изменяются.

Наработка на отказ, уровень надежности и другие эксплуатационные параметры и характеристики определялись по циклам измерений. Для определения влияния расстояния до базовой спутниковой станции на точность определения геометрических параметров, кроме станции СГУГиТ, удаленной от участка на 8 км, использовалась временная базовая станция, которая устанавливалась в 2 км от участка испытаний. Анализ показал, что существенного влияния на точность определения геометрических параметров не выявлено, при этом пространственные координаты при использовании временной базовой станции в 2 км от участка испытаний улучшались в соответствии с теоретическими (паспортными) данными на спутниковый приемник ICON-80.

Фильтрация выполнена с использованием «скользящего среднего». Расчеты параметров фильтрации и сглаживания, а также алгоритмы их реализации не раскрываются и ранее также не публиковались в открытой печати.

Сущность фильтрации заключается в исключении из обработки данных, не соответствующих заданным критериям, в основе которых лежит геометрия рельсовой колеи с дефектами, отступлениями от норм содержания рельсовой колеи и параметрами кривизны в плане и профиле.

Фильтрация и сглаживание являются необходимой функцией обработки данных для расчета геометрии рельсовой колеи. Основным условием является выявление неровностей рельсовой нитки с учетом особенностей геометрии железнодорожного пути с ограничениями по величине приращения координат в

плане и профиле на участке определенной длины. Процесс обработки выполняется в два этапа. На первом этапе исключаются грубые ошибки, на втором этапе – фильтрация с использованием «скользящего среднего».

#### *Исключение грубых ошибок измерений*

Для того чтобы исключить грубые ошибки, используются избыточные данные, измеренные несколькими системами, в основе которых лежат разные принципы и методы работы. В данной разработке устройство не содержит гироскопы (инерциальные системы), поэтому в отличие от АПК «Профиль» использовать избыточную информацию нет функциональной возможности.

В качестве основы для разработки критериев и алгоритмов фильтрации выбраны особенности геометрии железнодорожного пути.

Критериями фильтрации на первом этапе являются:

- диапазон неровностей (геометрических отклонений в плане и профиле) рельсовой колеи;
- кривизна рельсовых нитей в плане и профиле с учетом минимальных значений радиусов, принятых на железных дорогах, в том числе ОАО «РЖД»;
- точность и диапазон измерения взаимного положения фазовых центров спутниковых антенн;
- дискретности измерений и определения геометрических параметров.

Расчеты величин, которые необходимо исключить из процесса расчета геометрических параметров, выполняются по стрелам изгиба на хорде заданной длины с учетом заданной точности. Например из-за кривизны в плане стрелы изгиба  $\delta$  на длине измерительной базы (хорды), составляющей около 6 м, и при минимальном радиусе, допустимом по нормам эксплуатации железных дорог [32], составляющем 300 м, максимальная стрела изгиба  $\delta$  на хорде до 6 м, полученная по формуле (11), теоретически не может превышать 12 мм. Аналогично стрелы изгиба рассчитываются для вертикальной плоскости и других ограничительных параметров. Итогом является интегральное значение предельной стрелы изгиба, которое (с учетом эмпирически полученного коэффициента) учитывается при обработке данных

$$\delta = L^2 / 8 R. \quad (11)$$

Для сглаживания данных использован сглаживающий фильтр Хэппинга скользящего среднего по трем точкам ряда

$$\bar{X}_i = (0,25 X_{i-1} + 0,5 X_i + 0,25 X_{i+1}). \quad (12)$$

С учетом практической реализации использовался фильтр с общим множителем

$$\bar{X}_i = \frac{1}{4} (X_{i-1} + 2 X_i + X_{i+1}), \quad (13)$$

где  $i$  – порядковый номер;  $\bar{X}_i$  – значение скользящего среднего для порядкового номера  $i$ ;

$X_i$  – фактическое значение в интервале сглаживания.

Применение фильтров Гаусса, Калмана (эффективно применяющихся в АПК «Профиль» при наличии гироскопов и спутниковой аппаратуры с разными частотными характеристиками) неэффективно для АПК «Профиль-М». Поэтому для предварительной отбраковки грубых отклонений на короткой базе использовались свойства рельсового пути с известными предельными значениями кривизны в плане и профиле.

### 2.3 Технические требования к автоматизированной системе определения геометрических параметров рельсовой колеи

В результате анализа нормативных требований, созданных для перехода на цифровые технологии, стендовых и полевых испытаний, были разработаны технические требования к автоматизированной системе для определения геометрии рельсовой колеи по геопространственным данным.

Технические требования к аппаратно-программному комплексу «Профиль» (далее – АПК) приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные параметры измерений

Наименование	Значение
<i>Диапазон измерения:</i>	
пространственного положения, не менее км	30
расстояния, не менее км	30
уровня, не менее мм	300
рихтовки на базе 20 м, не менее мм	300
просадки на базе 10 м, не менее мм	100
<i>Погрешность измерения:</i>	
пространственное положение, не более мм	30
рихтовка, не более мм	2
уровень, не более мм	2
шаблон, не более мм	2
просадки, не более мм	2
Примечание – Требования соответствуют также параметрам проверки электронного проекта до начала работ и его утверждения (получения разрешения для загрузки в САУ-3D ВПО)	

*Основные технические требования к эксплуатационным параметрам:*

- масса, не более кг 15
- рабочие температуры, °С от минус 20 до плюс 50
- скорость перемещения, до км/ч 10
- перемещение АПК вдоль железнодорожно колеи – ручное
- время непрерывной работы без зарядки аккумуляторной батареи, не менее часов 8

*Функциональные требования:*

– АПК должен обеспечивать измерения: плановых координат, высот, продольного профиля, расстояния, взаимного расположения одной рельсовой нити относительно другой (уровня), ширины рельсовой колеи (шаблона), положения рельсовых нитей в плане (рихтовка) и положения рельсовых нитей в вертикальной плоскости (просадка);

– АПК должен обеспечивать определение пространственных данных в системах координат WGS-84 (геоцентрической системе координат), МСК (местной системе координат), линейной (эксплуатационной) системе координат (Км + Пк + м), в реальном времени;

- АПК должен иметь возможность обеспечения информационной связи с другими изделиями;
- АПК должен обеспечивать контроль электронных проектов для САУ ЭЛБ по параметрам – сдвижка, подъемка, уровень, привязка к линейной координате;
- АПК должен обеспечивать привязку объектов инфраструктуры с использованием топокодов;
- при выполнении измерений должны отсутствовать процедуры калибровки.

*Требования к программному обеспечению для АПК:*

- программное обеспечение (ПО) для АПК должно быть выполнено в виде единого программного комплекса по работе с данными съемки АПК и цифровых моделей пути;
- ПО должно обеспечивать сохранение входящей (данные съемки АПК, ЦМП) и исходящей (результаты обработки и анализа, исполненная документация) информации в базе данных.

*Основные модули ПО*

*Модуль импорта данных.* Производит импорт: данных съемки АПК (файлы формата «.dc»), файлов ЦМП (файлы форматов «.txt», «.csv») как проектной организации, так и собственной конвертации проектных данных в ЦМП.

*Модуль создания ЦМП.* Цифровая модель пути строится на основе данных съемки АПК «Профиль-М» участка модернизации и проектных данных традиционных форматов (эпюры рихтовок, продольный профиль).

Загрузка и обработка данных, полученных с путевых машин после окончания их работы на участке ремонта, должны выполняться выбором пункта меню «Загрузить данные путевой машины» и «Результаты работы путевой машины» с указанием месторасположения файлов данных (набор файлов формата «.txt»).

*Программное обеспечение* должно выдавать результаты в текстовом и графическом виде (результаты работы путевых машин, отклонения от проекта в плане и профиле).

Все результаты обработки данных путевых машин должны быть сохранены в базе данных (БДПМ).

Требования к функциям и задачам, выполняемым программным комплексом:

– загрузка данных АПК в компьютер.

Загрузка данных съемки АПК должна выполняться простым выбором пункта меню «Загрузить данные съемки АПК» с указанием месторасположения файла данных (файл формата «.dc»);

– обработка данных АПК:

а) пользователь должен выбрать в меню пункт «Обработать», предварительно указав значение шага для «чистки пути» и направление съемки (по пикетажу либо против пикетажа);

б) пользователь выполняет привязку пикетажа к треку по одному из объектов ИССО. ПО должно отображать на экране результаты в табличном и графическом виде (аналогично интерфейсу ArcView GIS), а также сохранять в базу данных данные обработанного и упорядоченного по структуре пути с привязанным эксплуатационным пикетажем;

– выдача исполненной документации.

Пользователь должен иметь возможность построить продольный профиль выбором в меню пункта «Профиль», указав шаг 25, 50 либо 100 м и при необходимости распечатать его как на принтере А4 и А3 (с разбивкой на страницы), так и на плоттере.

При построении продольного профиля АС автоматически формирует файл формата AutoCAD .

Также при выборе пользователем пунктов меню «Карточки кривых», «Ведомость габаритов приближения строений», «План пути» АС автоматически формирует указанные данные.

Вся исполненная документация должна быть сохранена в базе данных проекта.

По результатам обработки данных должны формироваться продольный и поперечные профили, масштабный план, карточка кривой, геометрические параметры рельсовой колеи и габариты приближения строений;

– импорт электронных проектов (ЦМП).

Импорт данных должен выполняться простым выбором пункта меню «Импорт ЦМП» с указанием месторасположения файлов данных (набор файлов формата «.txt», «.csv»).

Структура и формат данных ЦМП должны соответствовать требованиям, установленным в ОАО «РЖД».

*Состав обо рудования автоматизированной системы определения геометрических параметров рельсовой колеи.*

Состав оборудования приведен (в спецификации) на полный комплект в таблице 4.

Таблица 4 – Комплектация аппаратно-программного комплекса «Профиль-М»

Наименование	Ед. изм.	Количество
Ходовая тележка	шт.	1
Портативный компьютер Panasonic CF-19 или его аналог	шт.	1
Программное обеспечение АПК «Профиль-М»	шт.	1
Лицензионная версия ArcGISArcView GIS или аналог	шт.	1
Спутниковый приемник геодезического класса точности (базовый комплект) TrimbleR5/R7 или его аналог	шт.	1
Спутниковый приемник геодезического класса точности (ровер) ICG82, ICON80 Dual GNSS или его аналог	шт.	1
Право на использование программного продукта Leica CSW 586 upgrade Entry to Ultimate on iCG82 или его аналог	шт.	1
Штатив LEICAGST05 (дерев., плоская головка) или его аналог	шт.	1
Треггер LEICACTB-102 (с центриром) или его аналог	шт.	1
Адаптер треггера LEICA GRT146 или его аналог	шт.	1
Кронштейн LEICAGRZ4-1 на штатив (рулетка) или его аналог	шт.	1
Кабель LEICAGEV97 питания (1200/GEB171) или его аналог	шт.	1
Блок питания LEICA GEB371 или его аналог	шт.	1
Кабель LEICAGEV108 антенный (1 200; 30 м) или его аналог	шт.	1
Кабель LEICA (Lemo/Open; 5 м) или его аналог	шт.	1
Радиоантенна LEICA GAT18 (GSM) или его аналог	шт.	1
Контроллер Trimble Tsc3 или его аналог	шт.	1
Аккумулятор LEICAALG7-08B (5.2Ач; Li-Ion) или его аналог	шт.	1
Зарядное устройство LEICAALG7 (CS25; 12A) или его аналог	шт.	1
Кабель LEICA EV120 антенный (1200; 2.8м) или его аналог	шт.	1

*Продолжение таблицы 4*

Наименование	Ед. изм.	Количество
Кабель LEICA GEV219 питания (TM30, TS30/внешняя батарея; 1,8 м) или его аналог	шт.	1
Радиомодем Pacific Crest/TDL 390-450MHz или его аналог	шт.	1
Внутренний Радиомодем Leica 390-450 MHz или его аналог	шт.	1
Радиоантенна ( Radio большого диапазона) или его аналог	шт.	1
Автономный генератор (бензин)	шт.	1
Лазерный дальномер Leica D210 или его аналог	шт.	1
Ноутбук для обработки данных HP Corei 5 vPro 4gbram или его аналог	шт.	1

### 3 АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС (АПК «ПРОФИЛЬ-М»)

#### 3.1 Устройство назначение и область применения АПК «Профиль-М»

Реализация технических решений (раздел 2) позволила создать аппаратно-программный комплекс [22, 24, 27, 62], включающий ходовую тележку 1; спутниковую аппаратуру (приемник 2, антенны 3), портативный компьютер 4, блок управления 5 (рисунок 13).



Рисунок 13 – АПК «Профиль-М»

Рабочее окно программы Profil-Duo компьютера 4 показано на рисунке 14. На мониторе приведены обозначения, управляющие режимы работы, калибровки, применяющиеся для натурной съемки и контроля качества работ. Координатная привязка объектов инфраструктуры выполняется также с использованием главного окна АПК «Профиль-М». В рабочем окне показаны системы координат: основная – линейная координата ( $K_m + P_k + m$ ) и плоская прямоугольная, как правило – местная система координат (МСК).

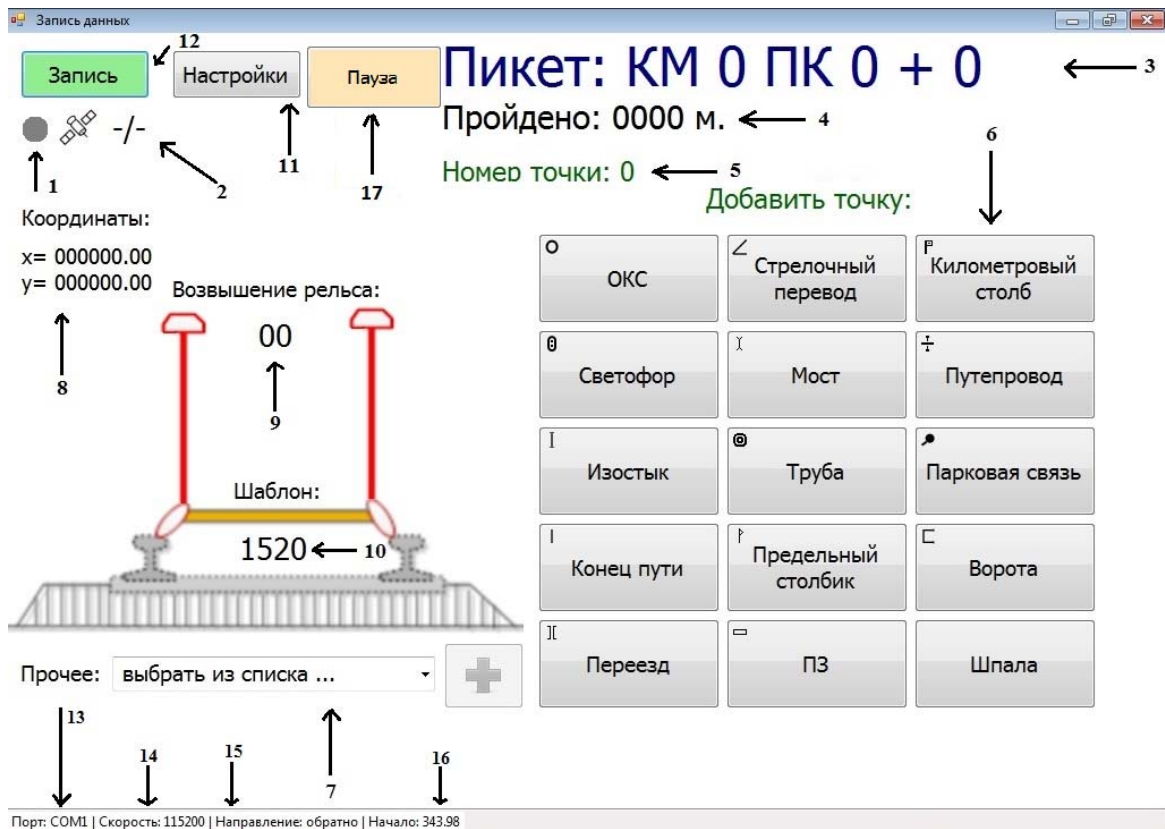


Рисунок 14 – Рабочее окно программы «Profil-Duo»

Обозначения в рабочем окне следующие: 1 – индикатор (зеленый – работает, красный – нет); 2 – количество спутников GPS/GLONASS; 3 – отображения текущего Км + Пк + м; 4 – отображения пройденного расстояния; 5 – номер точки; 6 – рабочее окно с топо-кодами; 7 – вкладка добавления прочих топо-кодов; 8 – координаты  $X$ ,  $Y$ ; 9 – возвышение; 10 – шаблон; 11 – окно «Настройки»; 12 – кнопка начало работы; 13 – номер порта подключения; 14 – скорость порта подключения; 15 – направления движения; 16 – начальное расстояние; 17 – пауза.

Кроме указанных цифрами обозначений, по запросу добавляется окно настроек, служебной информации, тестирование отказов и неисправностей. В результатах исследований подробно показаны элементы управления и сбора информации о инфраструктуре, так как в других аналогичных приборах таких решений нет, что позволяет минимизировать затраты на натурную съемку.

В комплект АПК «Профиль-М» входит также оборудование для организации работы в режиме RTK с временной базовой станцией (рисунок 15), вклю-

чающей спутниковый приемник 1 (ГНСС Trimble R7), антенну 2 (Zephyr Geodetic), контроллер 3 (Trimble TSC3), набор соединительных кабелей 4, штатив 5.

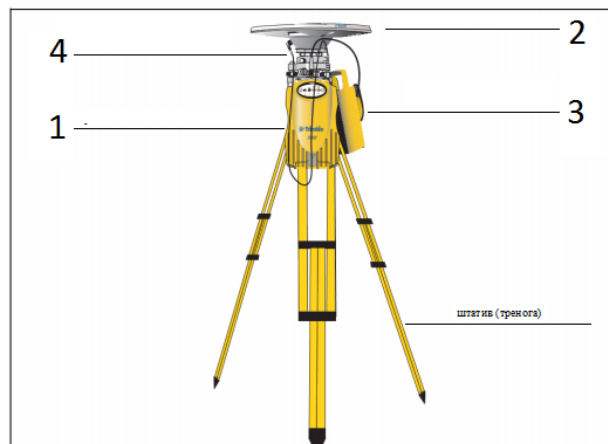


Рисунок 15 – Базовая станция Trimble R7

По защищенности от проникновения пыли, посторонних тел и воды относится к исполнению IP67 по ГОСТ 14254-2015 Степени защиты, обеспечиваемые оболочками.

По устойчивости к воздействию внешних климатических условий соответствует группе исполнения В4 по ГОСТ 12997. Изделия ГСП. Общие технические условия.

По устойчивости к механическим воздействиям соответствует группе исполнения № 2 по ГОСТ 12997. Изделия ГСП. Общие технические условия.

Комплекс может применяться как на оборудованных, так и не оборудованных автоблокировкой участках железной дороги с укладкой пути железнодорожными рельсами типа ГОСТ Р 51045. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. ГОСТ Р 51685. Рельсы железнодорожные типов РП50, РП65 и РП75 для путей промышленного железнодорожного транспорта.

#### *Техническая характеристика*

Диапазоны измерений и пределы относительных погрешностей комплекса при измерении параметров пути указаны в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики АПК «Профиль-М»

Наименование параметра	Значение параметра	
	диапазон измерения	погрешность измерения
Координаты	25 км	10 мм + 1 мм/км
Расстояние	25 км	±0,01 %
Высота	25 км	±20 мм + 1 мм/км
Ширина колеи	1 505–1 560 мм	±2 мм
Уровень	0–300 мм	± 2 мм
Рихтовка	±160 мм	± 2 мм
Просадка	±50	± 2 мм
Перемещение тележки вдоль железнодорожной колеи	ручное	
Скорость перемещения тележки в пределах, км/ч	10	

Функциональные возможности АПК «Профиль-М» обеспечивают определение пространственного положения оси железнодорожного пути в системе координат WGS-84, преобразование в СК-42, СК-95 и их преобразование в местные (локальные) системы координат, а также линейные системы координат, строительный и (или) эксплуатационный пикетаж, определение геометрических параметров рельсовой колеи по пространственным данным, формирование графической и технической информации по привязке объектов инфраструктуры железной дороги в линейной системе координат (Км + Пк + м).

Полученные данные в кодированном формате сохраняются в БД бортового компьютера. Выбор системы координат выполняется по желанию оператора. Геометрические параметры рельсовой колеи рассчитываются и отображаются в стандартах ОАО «РЖД», ЦП515 и ФП-5.

*Область применения АПК «Профиль-М»:*

- проектно-изыскательские работы для строительства, ремонта (реконструкции) железных дорог;
- разбивочные геодезические работы при выполнении строительства (ремонта) железных дорог, строительного-монтажных работ;
- оценка технического состояния рельсовой колеи по геометрическим параметрам для обеспечения безопасности движения поездов;
- паспортизация железных дорог;
- создание масштабных планов и продольных профилей станционных путей;

- создание электронных проектов для систем автоматизированного управления (САУ-3D) путевыми строительными машинами;
- операционный контроль при выполнении ремонта (реконструкции) железных дорог;
- исполнительные съемки по окончании ремонта (реконструкции) железных дорог;
- диагностика геометрии рельсовой колеи на малодеятельных участках железных дорог.

Разнообразные инженерно-технические задачи, которые решаются на железной дороге при проведении проектно-изыскательских работ, строительстве, ремонте, реконструкции, модернизации и эксплуатации накладывают определенные требования и к методике работ. При этом работа АПК «Профиль-М» при выполнении натурных съемок является уникальной и включает подготовительный этап, натурную съемку и экспорт данных.

#### *Подготовка к работе АПК «Профиль-М»*

Подготовительный этап и дальнейшие работы по натурной съемке при отработке методики оптимизированы. На рисунке 16 показаны функции главного меню спутникового приемника Leica Icon 80, применяющиеся при работе АПК «Профиль-М».



Рисунок 16 – Рабочее окно (фрагмент настройки) спутникового приемника

При подготовке к работе с АПК «Профиль-М» следует:

- включить GNSS приемник Leica Icon 80;
- убедиться в количестве наблюдаемых и используемых спутников (см. рисунок 16) (значок b).

*Выполнить контроль:*

- питание (значок e) должно быть полное;
- поправки от референц-станции приходят, как показано на рисунке 16 (значок c);
- тип решения должен быть фиксированный (см. рисунок 16) (значок a).

Чтобы начать работу, запускаем программу «Profil-Duo».

В процессе работы АПК «Профиль» используются значки, приведенные на рисунке 17.

**Дополнительная информация о значках**

Значки меню на мониторе дают дополнительную информацию об основных функциях.













Значок	Описание
	Прибор не сориентирован.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Навигационное позиционирование достигнуто.</li> <li>• Погрешность <math>\leq 10</math> м.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Плавающее позиционирование достигнуто.</li> <li>• Погрешность <math>\leq 0,5</math> м.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• xRTK достигнуто.</li> <li>• Погрешность &lt; от 0,05 до 0,10 м.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RTK фиксированное позиционирование достигнуто.</li> <li>• Погрешность <math>\leq 0,05</math> м.</li> </ul>
	Заданное позиционирование и высокая точность ориентирования достигнуты.
	Плавающее позиционирование и высокая точность ориентирования достигнуты.
	xRTK позиционирование и высокая точность ориентирования достигнуты.
	Высокая точность позиционирования и ориентирования достигнуты.
	<b>iCON gps 80 выполняет функции базовой станции.</b>
	Производится установка базовой станции.
	Не удалось произвести установку базовой станции.

Рисунок 17 – Значки функций АПК «Профиль-М»

До начала работ выполняются настройки с использованием меню в главном окне «Оператор» с использованием «Режима настройки». Настройки АПК «Про-

филь-М» приведены в меню программного обеспечения «Profil-Duo», фрагмент показан на рисунке 18.

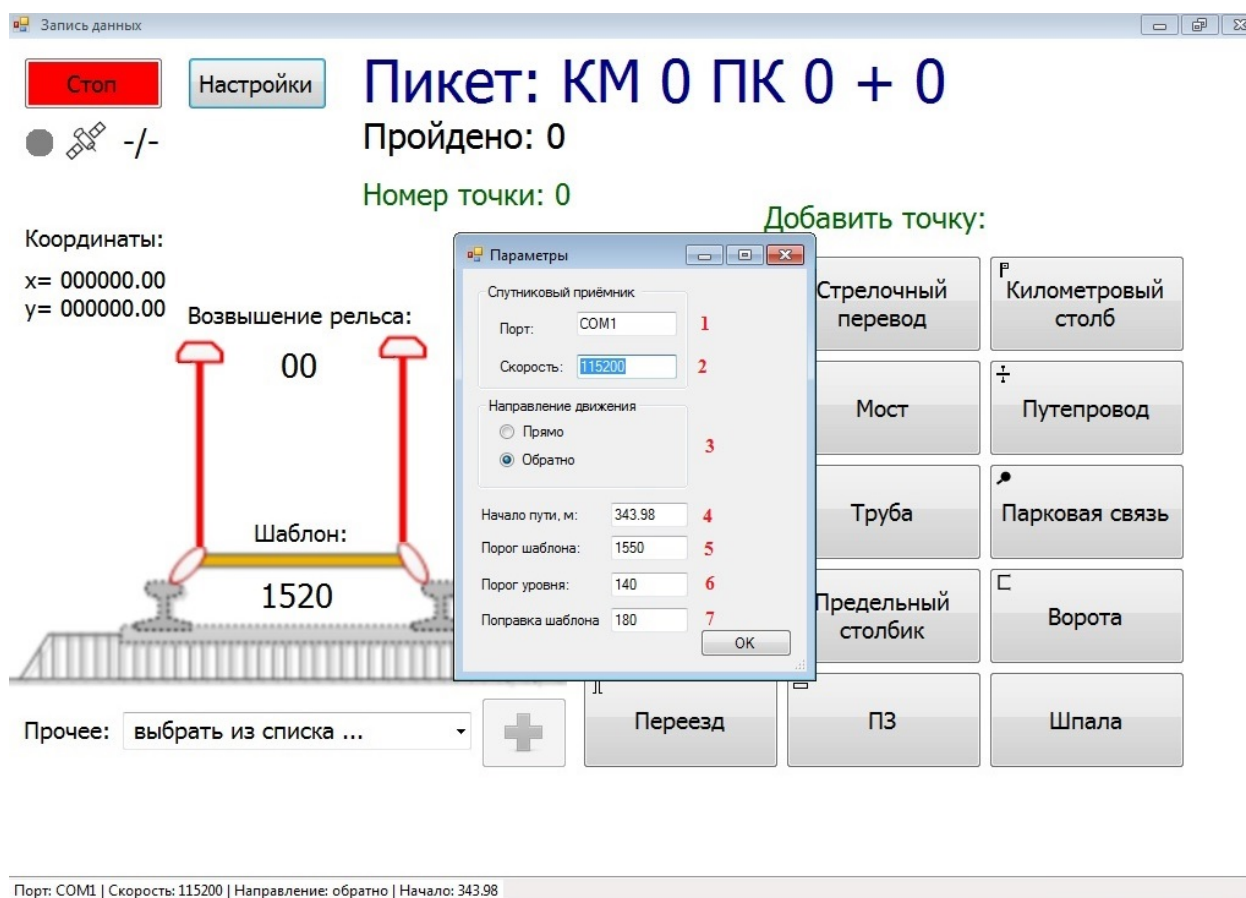


Рисунок 18 – Настройки программы «Profil-Duo»

#### *Требования к настройке и установкам на базовой станции.*

Для запуска режима работы одиночной базовой станции рекомендуется установить следующие настройки аппаратуры:

- тип съемки: RTK;
- маска (угол) возвышения:  $10^\circ$ ;
- формат поправок: RTCM;
- указать тип антенны в зависимости от оборудования;
- указать способ измерения высоты антенны над центром пункта: до низа крепления или до специальной метки на корпусе антенны;
- подключить использование всех возможных спутниковых систем ГНСС;

- настроить параметры передающего модема: скорость передачи данных, мощность сигнала и т. д.;
- внести сведения о системе координат;
- внести сведения об имени пункта и его координаты;
- измерить (с точностью до 2 мм) высоту антенны и внести данные;
- запустить процесс съемки.

### *Работа в сети базовых референц-станций*

Постоянно действующая сеть референц-станций (рисунок 19) представляют собой комплекс, состоящий из спутниковых приемников, антенн, общего управляющего (вычислительного) центра, специализированного программного обеспечения, устройств коммуникации, каналов связи и инфраструктуры.

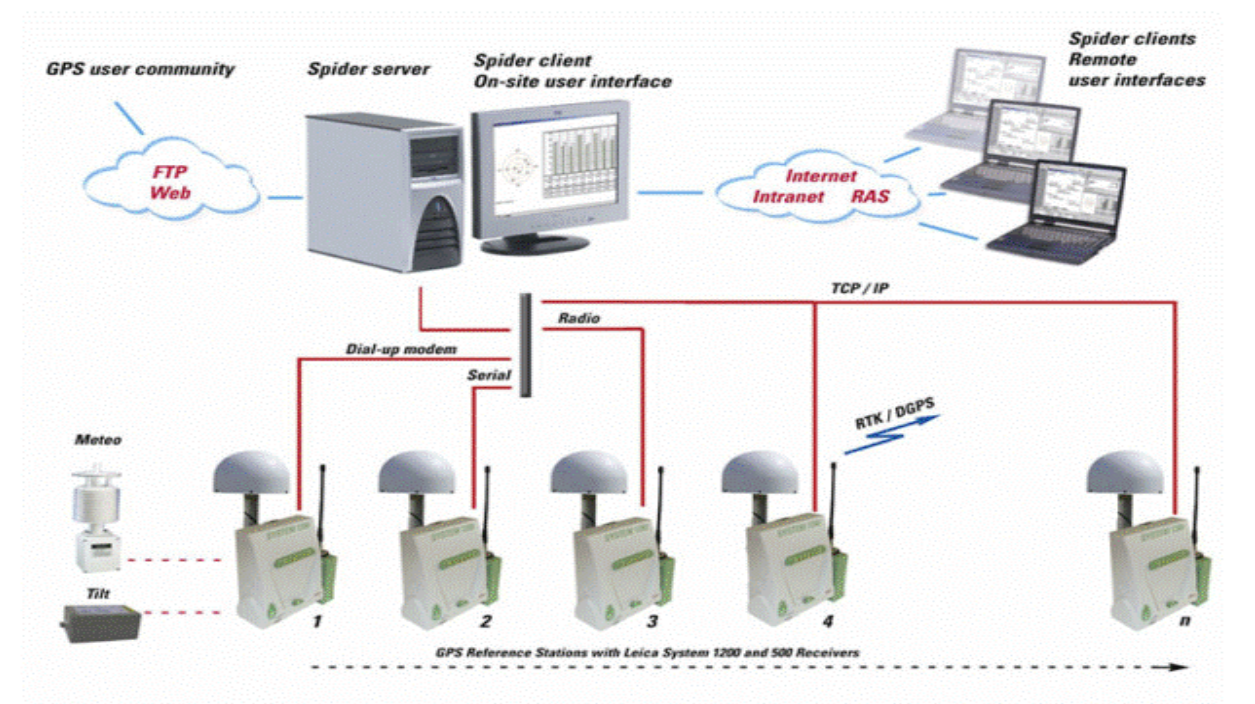


Рисунок 19 – Схема постоянно действующих базовых станций (референц-сеть)

Основные принципы работы системы «Процедура дифференциальной коррекции местоположения потребителя по технологии VRS» включает следующие основные этапы (рисунок 20):

- данные с референчных станций сети непрерывно передаются в вычислительный центр;
- разрешаются фазовые неоднозначности для базовых линий сети;
- сравниваются координаты мгновенного решения с известными координатами и формируется невязка;
- на основе вычисленных невязок строятся линейные или более сложные (например, на основе фильтра Калмана) модели ошибок, на основе которых определяется возможная ошибка положения пользователя;
- пользователь отправляет навигационные координаты своего местоположения в вычислительный центр системы (например, с помощью GSM-сети, по протоколу NMEA (строка GGA), поддерживаемому большинством производителей GPS-приемников);
- по данным о местоположении пользователя и реальным измерениям, поступающим с базовых станций, создается виртуальная референчная станция. Расстояние от пользователя до виртуальной станции намного меньше любого расстояния до реальной GPS-станции. Приемник интерпретирует данные виртуальной станции как данные реально существующей физической станции;
- по стандартным протоколам и форматам (например, RTCM) данные VRS передаются пользователю, чем и достигается коррекция его местоположения. Эта технология создания «сырых» базовых данных от новой, невидимой, несуществующей станции называется «Виртуальная Базовая Станция» (Virtual Reference Station, VRS). Использование рассмотренной технологии дает возможность применения улучшенного режима RTK в пределах всей сети базовых станций. При этом среднее расстояние между реальными станциями сети связано с их числом и размещением нелинейной зависимостью и может достигать семидесяти и более километров.

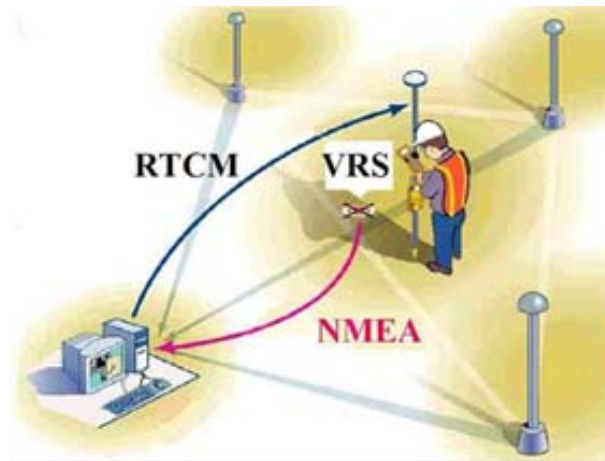


Рисунок 20 – Схема дифференциальной коррекции и спутниковых измерений

На рисунке 21 показаны самые распространенные референц-сети, которые используются при выполнении натурных съемок АПК «Профиль-М».

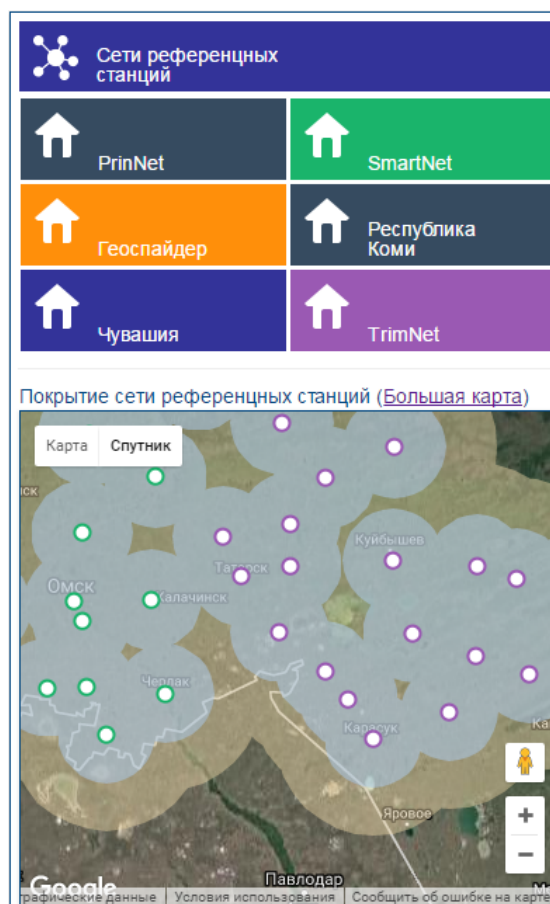


Рисунок 21 – Основные операторы референц-сетей

Для выбора нужно найти место предполагаемых работ и узнать по цвету на карте, какой оператор покрывает данную зону.

В интернете на сайте поставщика услуг есть все настройки:

- ip;
- port;
- Login;
- Pass.

Тарифы и условия оплаты так же указаны на сайте поставщика услуг.

Приведем примеры постоянно действующих базовых станций.

В Новосибирской области расположена сеть постоянно действующих GNSS базовых станций (рисунок 22) (для зарегистрированных пользователей). На рисунке 23 показан фрагмент карты для Европейской части Российской Федерации.

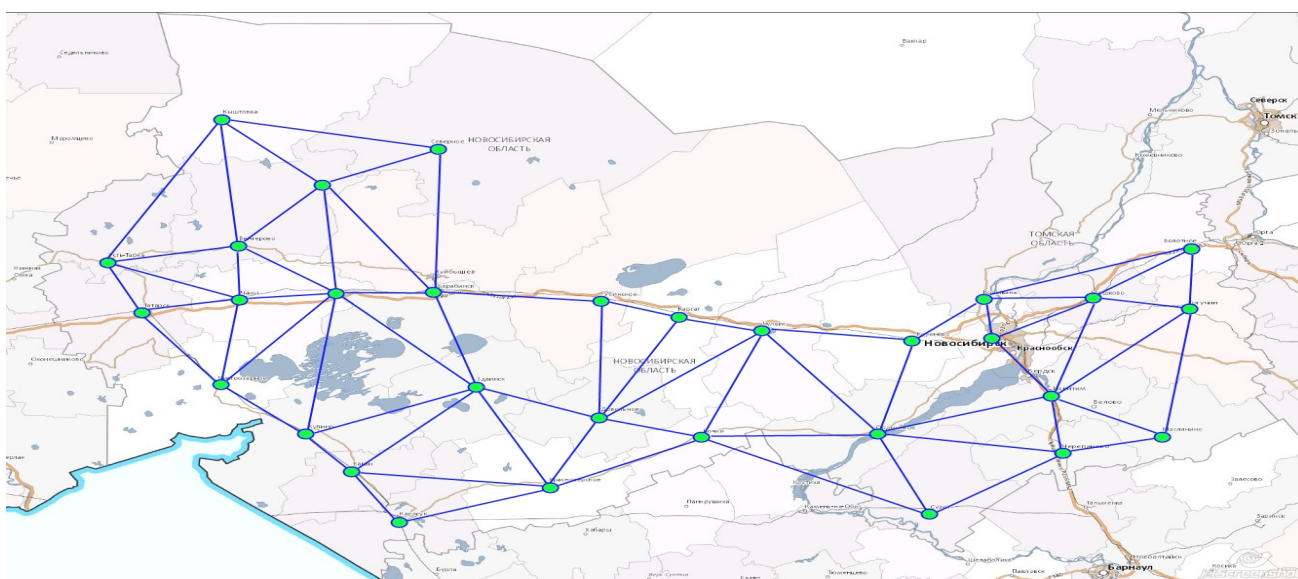


Рисунок 22 – Сеть постоянно действующих базовых станций  
в Новосибирской области

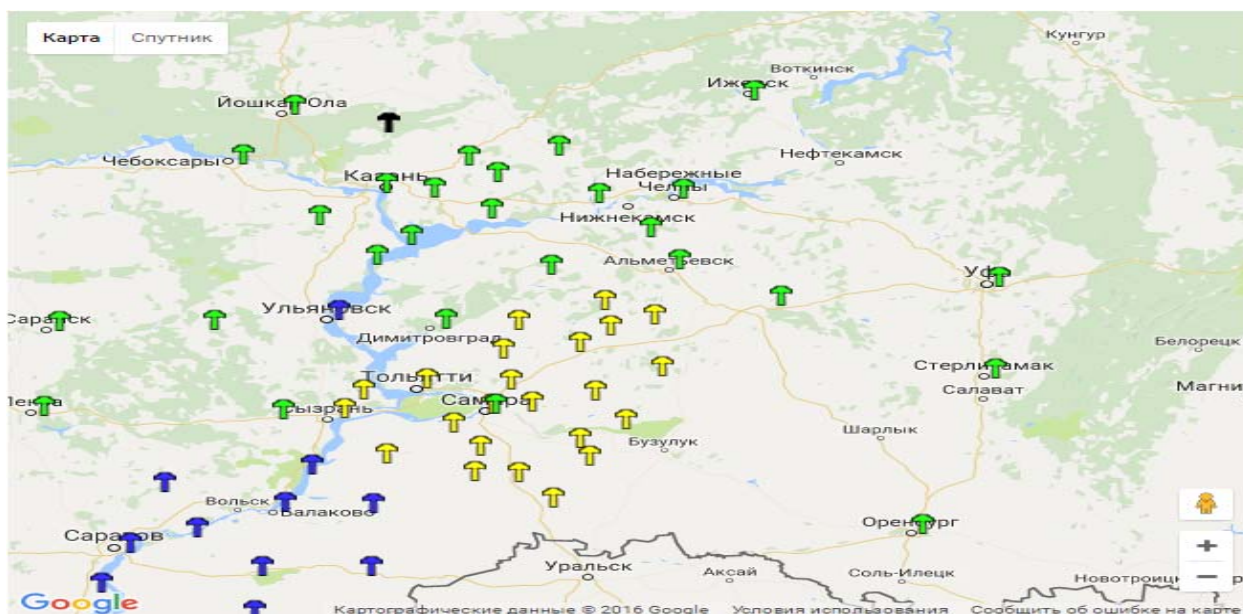


Рисунок 23 – Фрагмент карты сети постоянно действующих базовых станций по всей России и СНГ SmartNet

Доступ к постоянно действующим базовым станциям (для зарегистрированных пользователей) предоставляет обслуживающая организация.

Инструкции по настройке референц-сетей можно найти на сайте представителя данных услуг.

### 3.2 Структура данных и отчетные форматы технической документации

Данные, полученные в процессе натурной съемки АПК «Профиль-М», обрабатываются в два этапа:

- первый этап – фильтрация и сглаживание;
- второй этап – создание отчетных документов.

На первом этапе в программе расчета и визуализации геометрических параметров «Duo» выполняется обработка данных, преобразование координат, расчет и визуализация. Программа «Duo» (рисунок 24) позволяет представить полученную информацию в графическом и табличном видах, распечатать графики на принтере и сохранить результаты для возможной дальнейшей обработки.

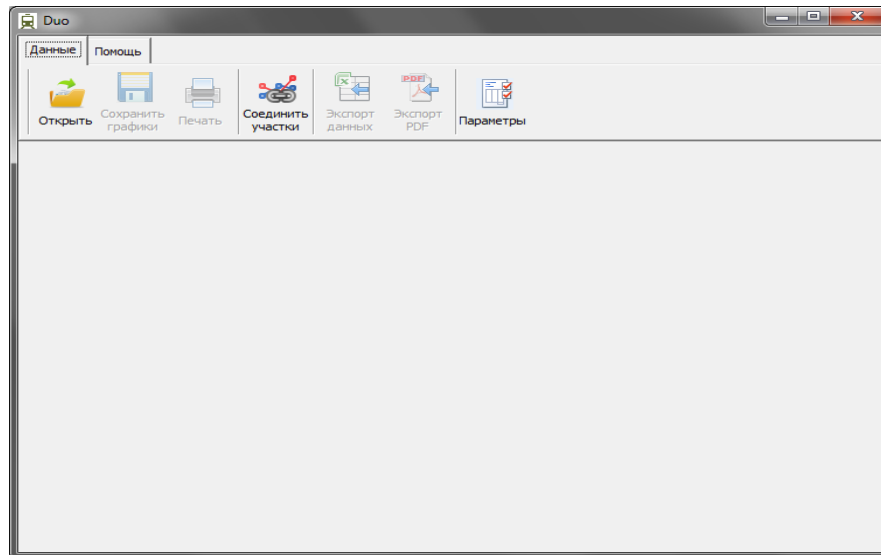


Рисунок 24 – Главное окно программы «Duo»

В программе доступны следующие операции:

- открытие исходных данных и запуск процесса обработки;
- печать полученных графиков;
- сохранение графиков;
- сохранение полученных данных;
- соединение нескольких участков один сплошной.

Окно настроек приведено на рисунке 25.

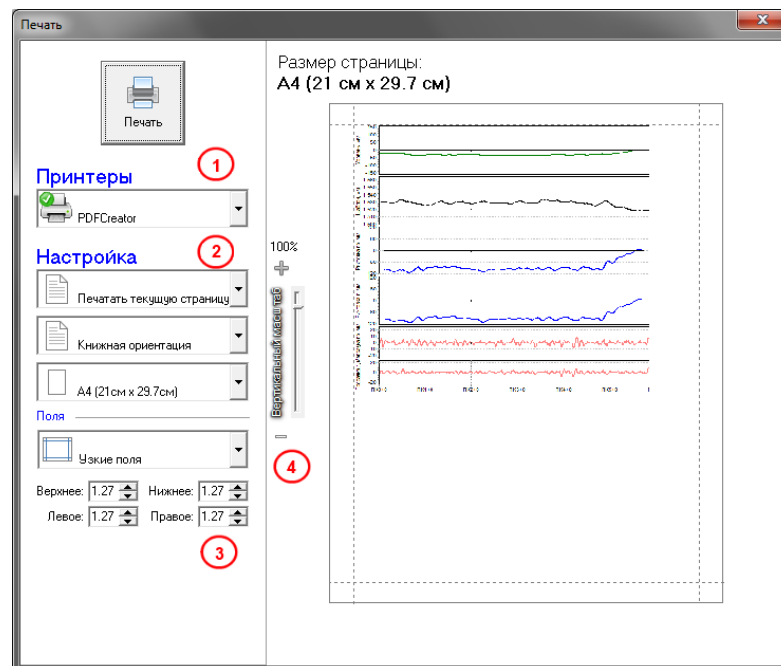


Рисунок 25 – Окно настроек ПО «Duo»

В окне настройки печати можно выбрать:

- тип принтера (1);
- ориентацию и размеры страницы (2);
- величину отступа (3);
- вертикальный масштаб изображения (4).

С использованием настроек можно запустить печать страницы с указанными настройками. Параметры расчета можно настроить в окне «Параметры» (рисунок 26).

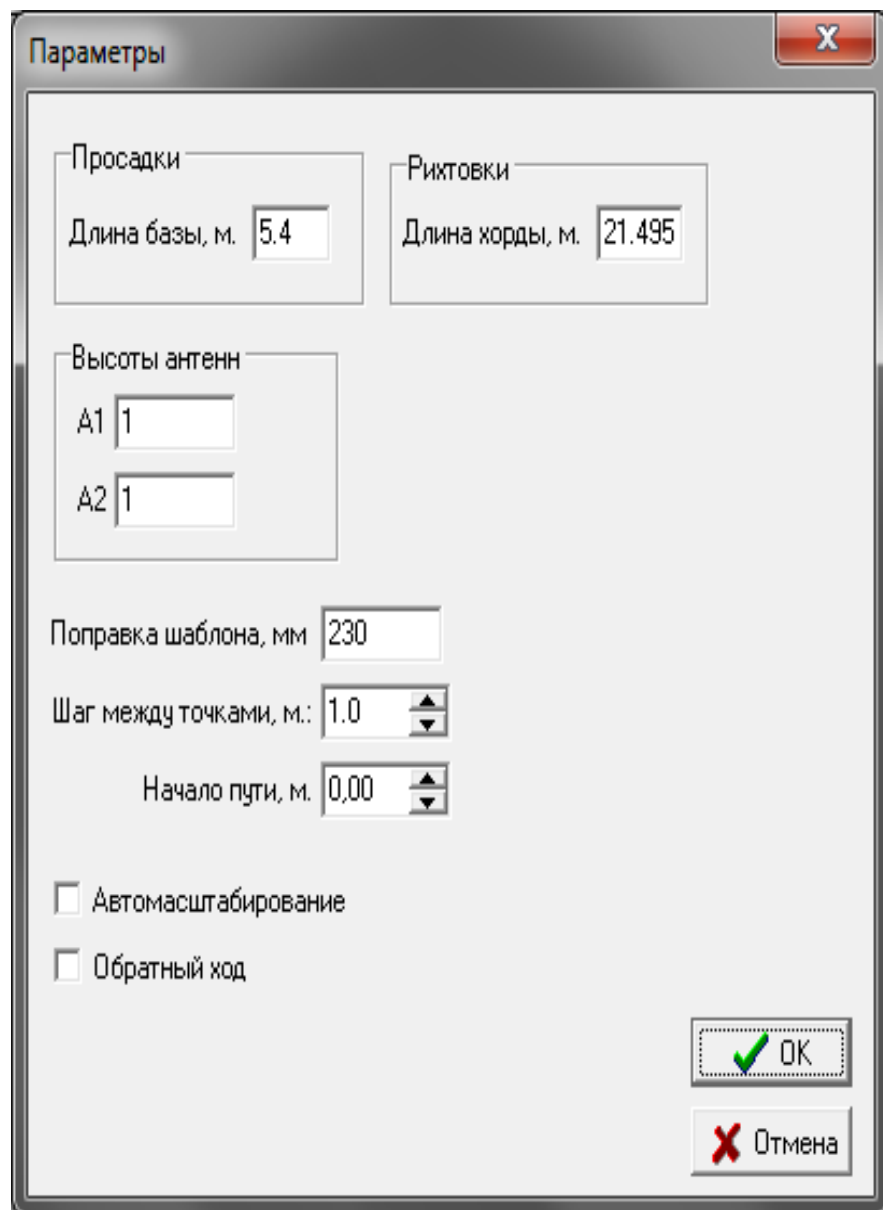


Рисунок 26 – Окно «Параметры»

После выполнения команды «Открыть» производится расчет и в окне программы будут показаны графики, отображающие геометрические параметры рельсовой колеи (рисунок 27).

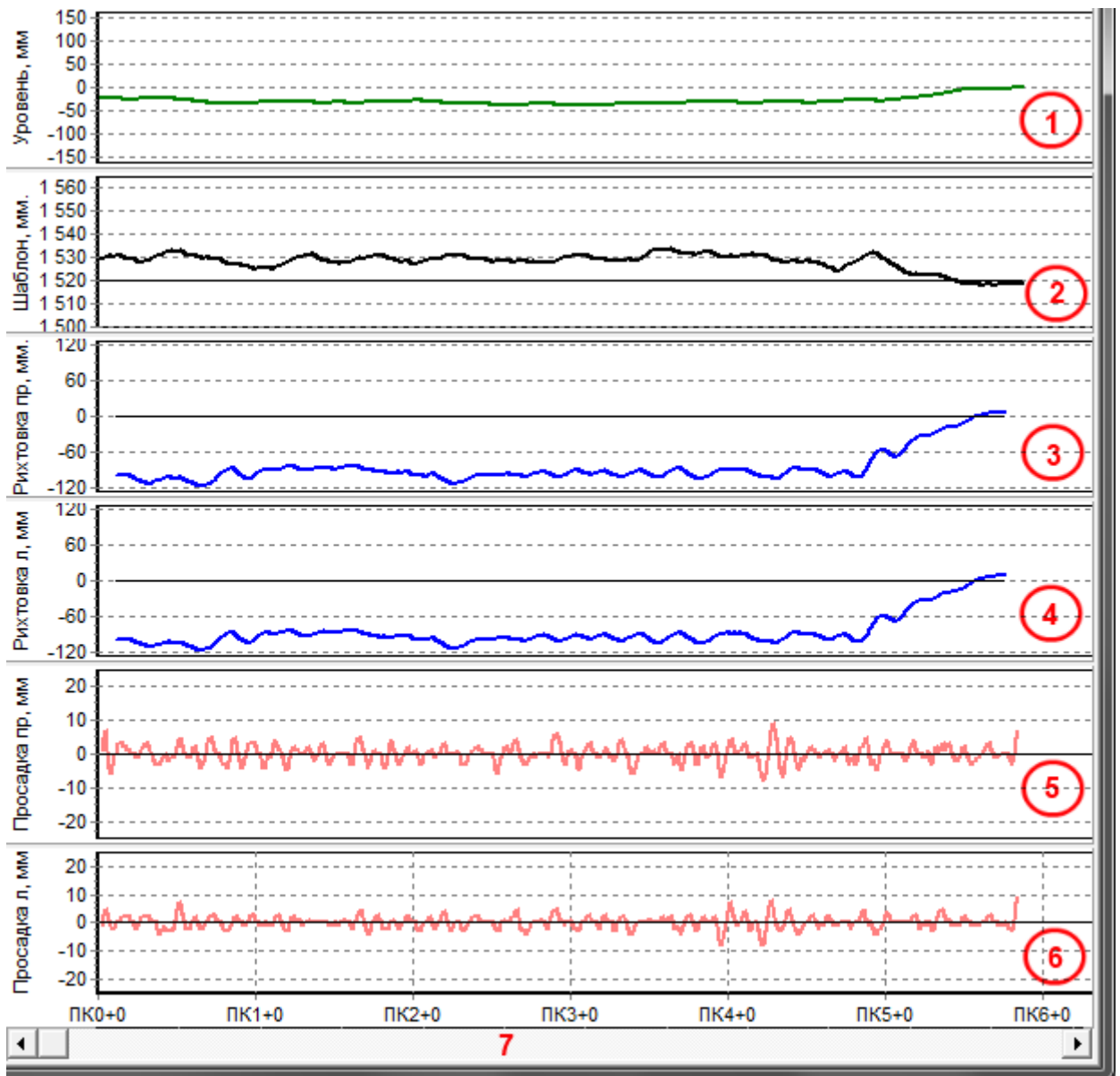


Рисунок 27 – Графическое отображение параметров рельсовой колеи

В окне располагаются несколько панелей для отображения графиков геометрических параметров пути:

- уровень (1) – (возвышение рельса);

- шаблон (2) – (ширина колеи);
- рихтовка правая (3) – (положение рельсовой нити в плане (правой));
- рихтовка левая (4) – (положение рельсовой нити в плане (левой));
- просадка правая (5) – (положение рельсовой нити в профиле (правой));
- просадка левая (6) – (положение рельсовой нити в профиле (левой)).

Важной функцией ПО является возможность «сшивки» нескольких участков в один файл (рисунок 28).

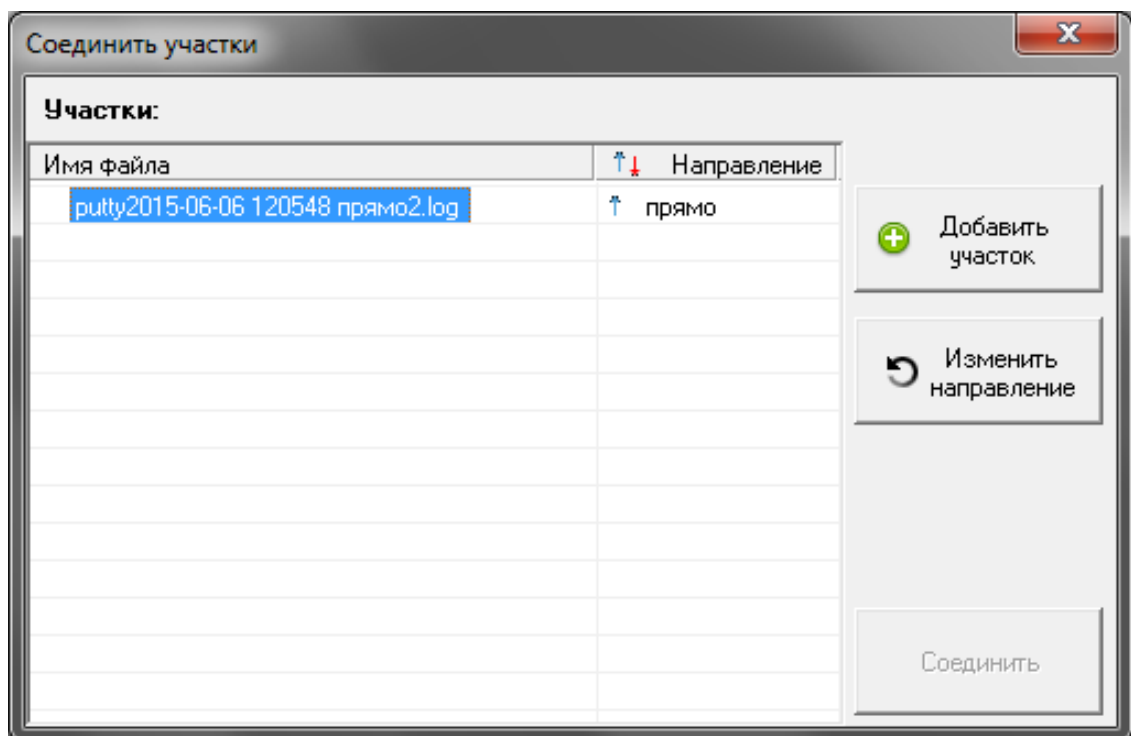


Рисунок 28 – Окно «Сшивка участков»

Нажатие на кнопку «Добавить участок» вызывает окно выбора файла с данными и добавляет файл к списку соединения. Если нужно изменить направление полученных, из списка выбирается нужный участок и нажимается кнопка «Изменить направление». Процесс соединения выбранных файлов в одно целое осуществляется после нажатия на кнопку «Соединить».

*Программа расчета параметров кривой Curves.*

Программа Curves предназначена для расчета и отображения фактического состояния параметров кривой по данным АПК «Профиль».

Карточка кривой содержит следующую информацию:

- координаты начала и конца кривой (точки начала переходной кривой (НПК));
- смещение начала отвода возвышения относительно НПК;
- координаты начала и конца круговой кривой (точки конца переходной кривой (КПК));
- смещение конца отвода возвышения относительно КПК;
- длина кривой;
- длина круговой кривой;
- длины 1-й и 2-й переходных кривых;
- угол поворота кривой;
- максимальные и средние значения крутизны отвода в плане и по уровню переходных кривых;
- минимальное, максимальное и среднее значение радиуса и уровня в пределах круговой кривой;
- непогашенное ускорение;
- скорость изменения непогашенного ускорения;
- расчетная скорость движения в кривой.

*Работа с программой:*

– в пункте меню «*Настройки*» (рисунок 29) задаем начальные условия расчета кривой. В данном окне необходимо задать начальные условия расчета параметров кривой:

- 1) шаг разбиения кривой, м;
- 2) длина хорды для вычисления стрел изгиба, м;
- 3) длина отрезка усреднения кривизны и возвышения, м. Усреднение задается с целью исключения местных (коротких) неровностей. Рекомендуется устанавливать интервал скользящего отрезка кривизны – 50 м, а уровня – 40 м, что превысит длину штрафуемых согласно Инструкции

ЦП-515 неровностей пути (до 40 м – для неровности в плане и до 30 м – для неровностей по уровню);

- 4) координата начальной точки по километражу, м. В данном пункте указывается пикетаж начала измерения АПК «Профиль». Если начальный пикетаж был введен при измерениях, вводим «0»;
- 5) направление движения. Устанавливаем *прямое*, если измерения проводились по ходу пикетажа, *обратное* – если против;
- 6)  $V_{пз}$  пассажирских и грузовых поездов – скорость установленная по приказу, км/ч;
- 7) база отвода кривизны и возвышения, м – скользящий отрезок, на котором рассчитываются значения отводов в плане и по уровню переходных кривых. Согласно «Методике автоматической расшифровки и оценки результатов измерения геометрических параметров рельсовой колеи путеизмерителями» ЦПТ-55/15, данный скользящий отрезок составляет 30 м;
- 8) база скорости изменения непогашенного ускорения, м – скользящий отрезок, по которому рассчитывается разность значений непогашенного ускорения. Согласно ЦПТ 55/15, база 30 м;

– после установки начальных условий необходимо выполнить команду программы – «Загрузить и рассчитать». В окне рисунка 30 указывается исходный файл АПК «Профиль»;

– в пункте меню «кривые» корректируем, при необходимости, точки начала – конца переходной и круговой кривых (рисунок 31).

В левой части окна находится список кривых. Выбрав из списка кривую, оцениваем точность определения точки начала-конца переходной и круговой кривых. Если необходимо сместить какую-либо из точек, наводим курсор в соответствующем графике на место установки и правой кнопкой мыши перемещаем точку, указав ее имя во всплывающем окне.

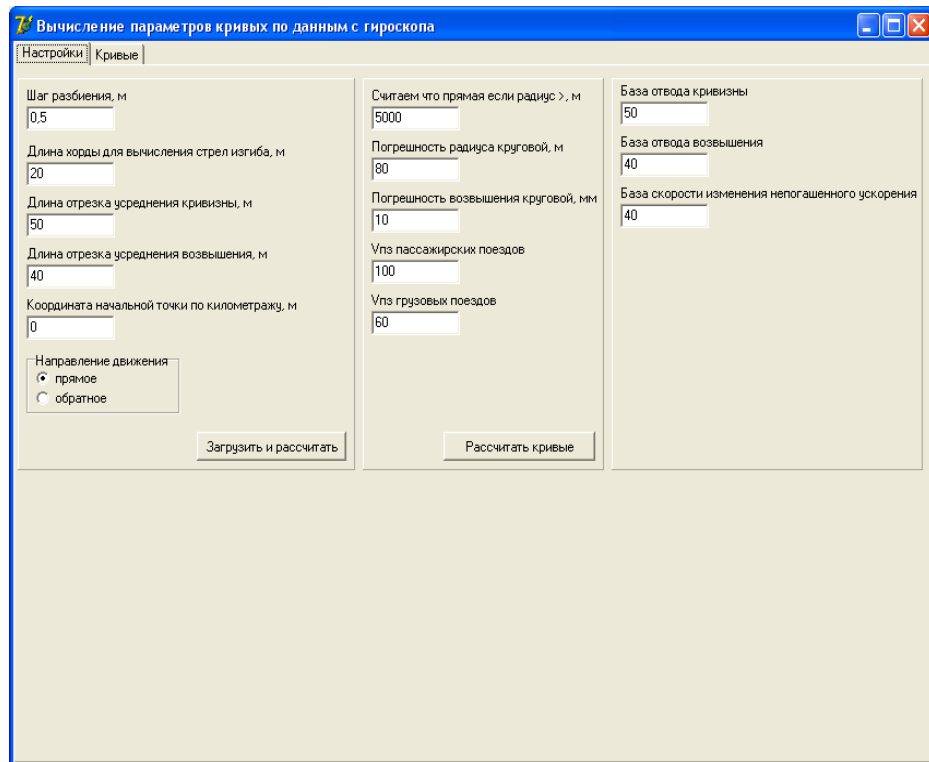


Рисунок 29 – Меню «Настройки»

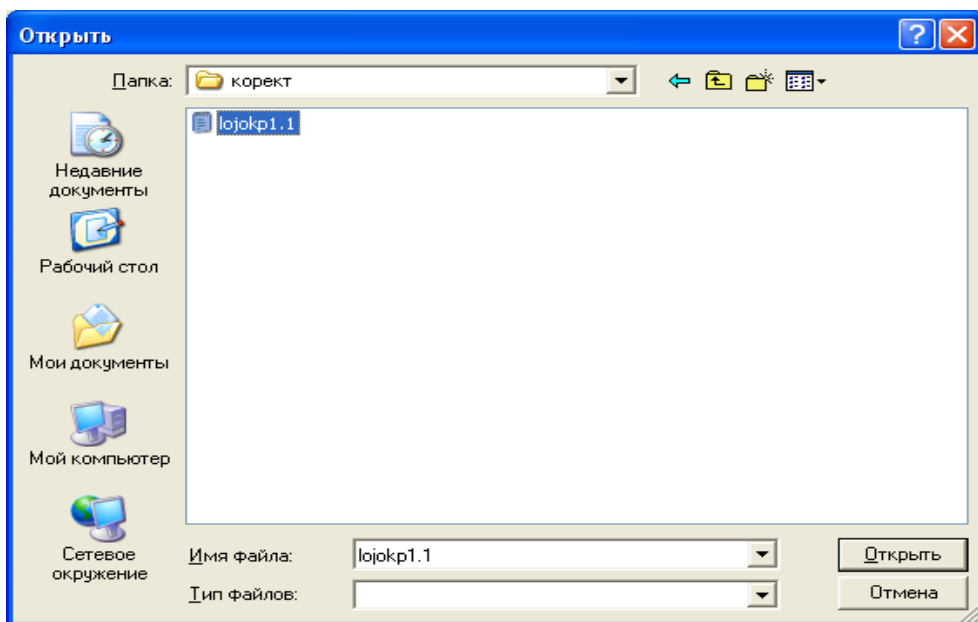


Рисунок 30 – Задание исходного файла для расчета кривой

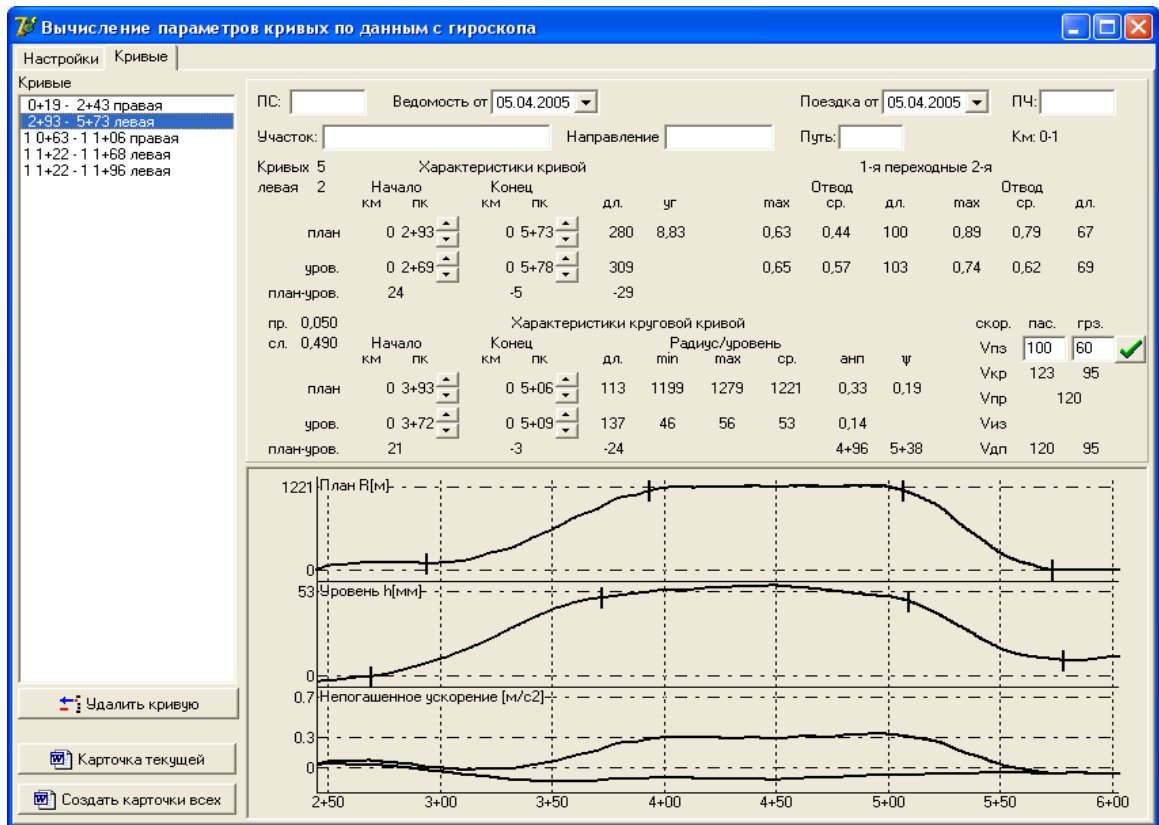


Рисунок 31 – Карточка кривой в формате ФП-5

В данном окне также указывается: участок измерения, направление движения, номер пути, дистанция пути (ПЧ) и дата измерения.

Для сохранения текущей карточки кривой необходимо выполнить команду «карточка текущей», для сохранения всех карточек кривых – «создать карточки всех», для удаления кривой из списка – «удалить кривую».

Карточка кривой сохраняется в формате документа Microsoft Word.

На рисунке 31 показана карточка кривой в формате ФП-5, полученная АПК «Профиль-М».

Одним из эффективных методов контроля эффективности работы в процессе ремонта (модернизации) железных дорог являются ГИС-технологии. АПК «Профиль-М» обеспечивает передачу информации удаленно в диспетчерский центр и (или) руководителю работ на объекте строительства (ремонта) железной дороги. Для этого используется цифровая модель пути (ЦМП) и электронная карта на участок строительства (ремонта). Данные передаются с использованием мо-

демов и разработанного программного модуля в АПК «Профиль-М». Контроль качества выполняется в процессе постановки пути в проектное положение с использованием log-файлов, хранящихся в БД АПК «Профиль-М».

На рисунке 32 показан фрагмент электронной карты и информация о параметрах постановки пути в проектное положение в текущий момент времени. Вся информация соответствует параметрам выправки пути, хранящимся в БД АПК «Профиль-М».

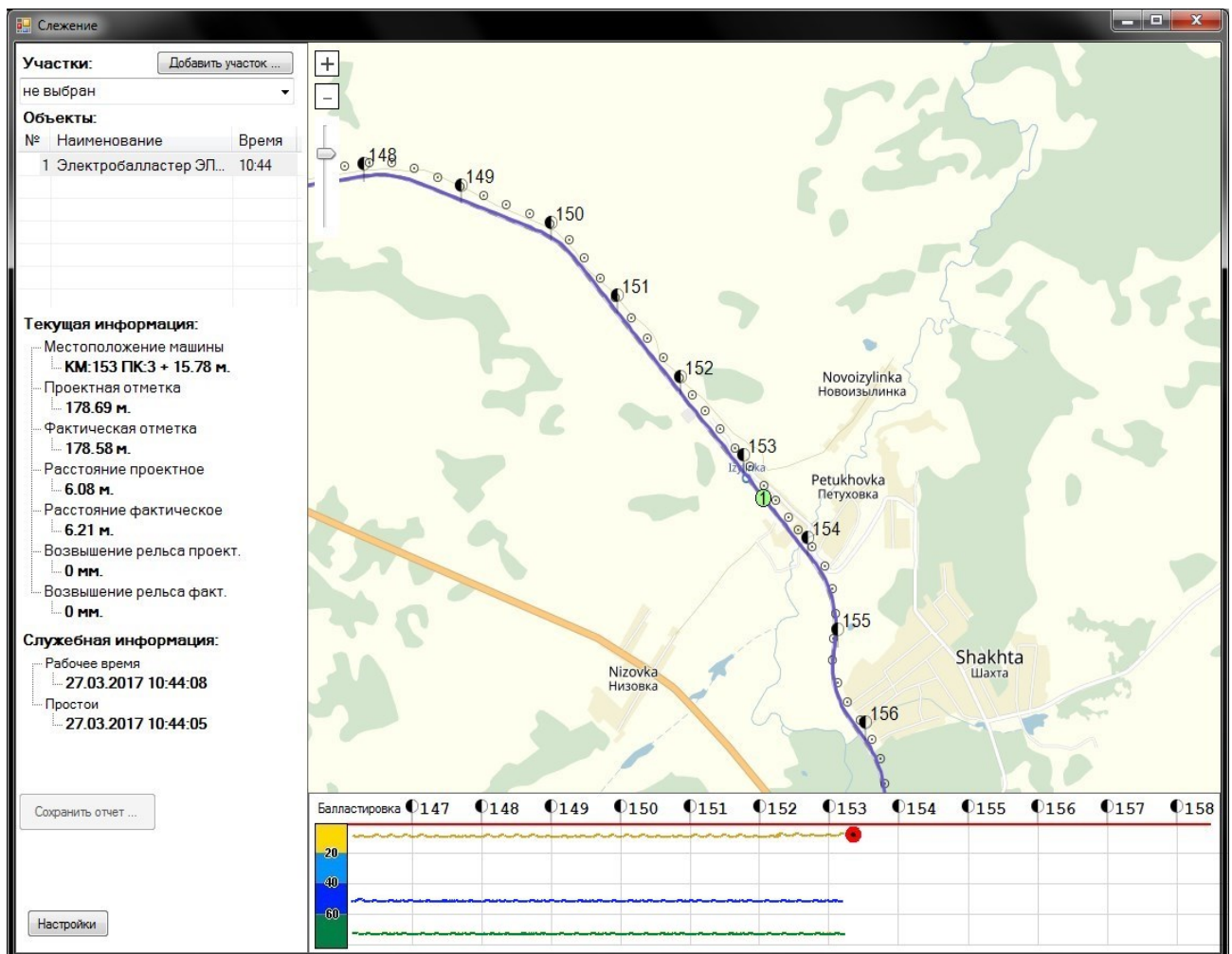


Рисунок 32 – ГИС-технологии контроля качества работ

#### 4 МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПУТИ И ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОЕКТОВ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТЕХНИКОЙ (САУ-3D) НА БАЗЕ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

##### 4.1 Структурная схема геодезического обеспечения строительства (ремонта) железных дорог с использованием АПК «Профиль-М»

Относительные методы, применяющиеся в настоящее время на сети железных дорог ОАО «РЖД», не обеспечивают устранение длинных неровностей в плане и профиле, а также многорадиусных кривых. Плавность хода обеспечивается только для ограниченных скоростей. Развитие скоростного и высокоскоростного движения требует принципиально новых подходов в использовании координатных методов и создания нормативно-правовой базы их внедрения.

Распоряжение ОАО «РЖД» № 2511 от 03.12.2010 г. «О создании комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта» позволяет принципиально улучшить порядок геодезического обеспечения железных дорог для целей проектирования, ремонта, эксплуатации, мониторинга ИССО, земляного полотна, рельсовой колеи и безопасности движения.

В развитие распоряжения № 2511 от 03.12.2010 г. создана нормативная база, включающая стандарты организаций (СТО), государственные стандарты, (ГОСТ), инструкции. Так, распоряжением ОАО «РЖД» от 13.02.2015 г. № 375 введена в действие технологическая инструкция для оператора комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта (КСПД И ЖТ). При участии автора данной работы создана инструкция «Геодезическое обеспечение ремонта (модернизации) железнодорожного пути с применением ГНСС и систем автоматизированного управления на их базе», которая была утверждена и введена в действие распоряжением № 3214р ОАО «РЖД» от 31.12.2015 г.

Нормативная база позволяет создавать цифровые модели пути на железных дорогах, обеспечивающие:

- создание единой координатной среды для всех потребителей информации на железной дороге;
- единство измерений для различных средств и методов измерений;
- создание БД с широкими информационными возможностями по трансформации данных, их преобразованию и формированию заданий (проектов), контролю их исполнения, включая режим реального времени, в удобной для работы системе координат;
- представление и пересчет данных в новые системы координат с использованием ключей перехода (преобразований);
- внесение изменений в БД инфраструктуры после завершения ремонтов, паспортизации, инвентаризации;
- решение инженерных задач (продольный профиль, габариты приближения строений, тяговые нагрузки, непогашенное ускорение и т. д.).

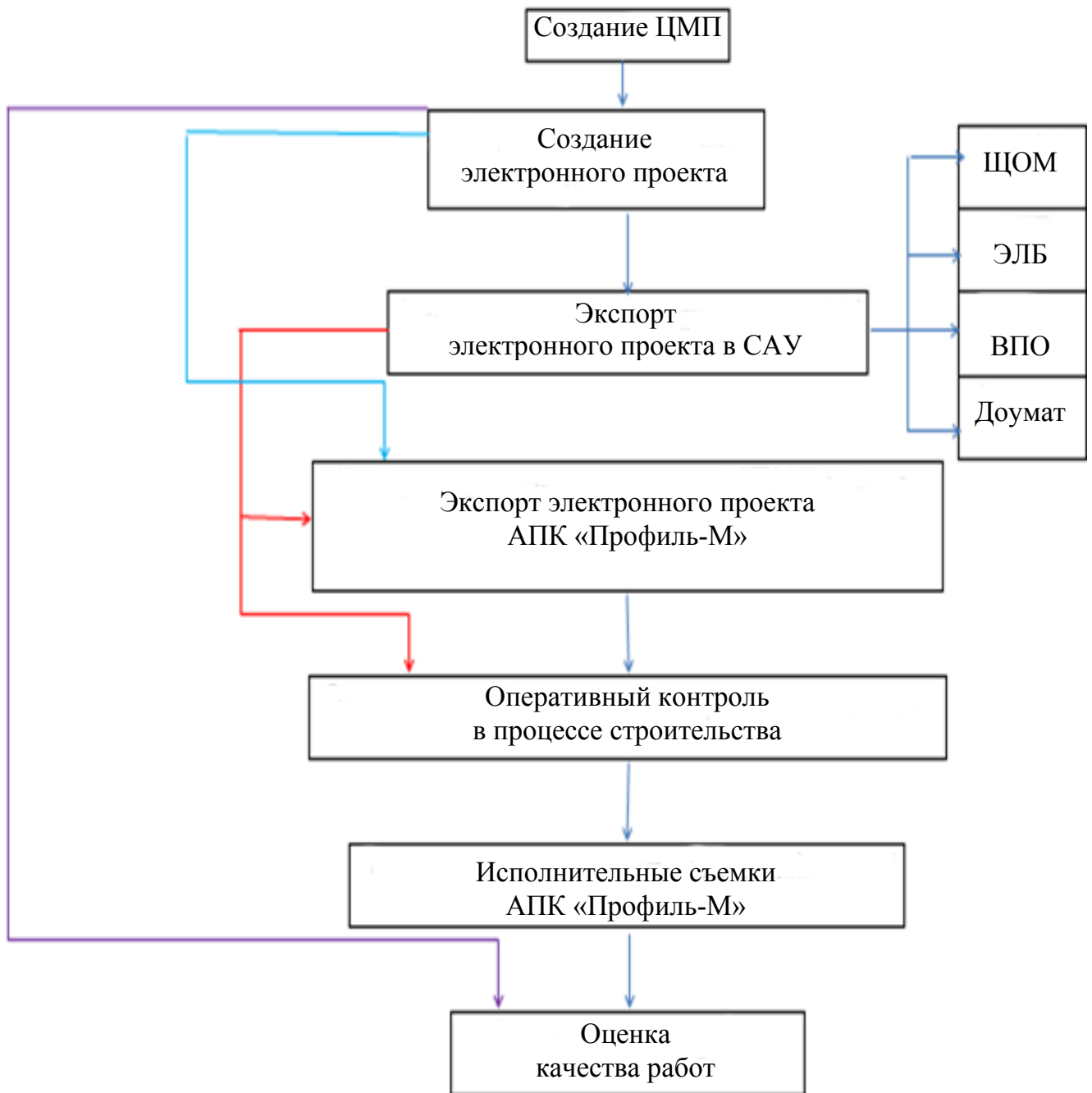
В основе методики создания ЦМП и электронных проектов для САУ на базе ГНСС лежит структура геодезического обеспечения ремонта (модернизации) железных дорог с использованием САУ на базе ГНСС, включающая девять основных этапов (рисунок 33).

Подготовительный этап и создание опорной геодезической сети выполняются по традиционной схеме и включает сбор и анализ проектных решений, согласование использования спутниковых референц-сетей, оплату за их пользование, создание проекта геодезических работ на объекте [27, 28].

Выполнение натурных съемок является основным этапом и включает натурную съемку пространственного положения оси пути и геометрических параметров рельсовой колеи с использованием АПК «Профиль-М», натурную геодезическую съемку инфраструктуры – опоры контактной сети, платформы, светофоры, линии связи (рисунок 34) [29, 30].

В процессе натурной съемки выполняется привязка стрелочных переводов других объектов инфраструктуры с использованием кодов в диапазоне 01-99. По данным натурной съемки формируются отчетные документы, включая ведомости

пространственных данных и геометрических параметров, расчеты данных геометрических параметров в стандарте ЦП515 и их визуализацию в виде графиков геометрических параметров (см. рисунки 35, 36) [32, 33, 10].



ЩОМ – щебнеочистительные машины типа ЩОМ-1200, RM-2002;

ЭЛБ – Электробалластер типа ЭЛБ-4С; ВПО – выправочно-рихтовочно-подбивочная машина типа ВПО-3000, Доумат 09-32-CSM

Рисунок 33 – Структурная схема геодезического обеспечения (строительства) ремонта участков железных дорог с применением АПК «Профиль-М»

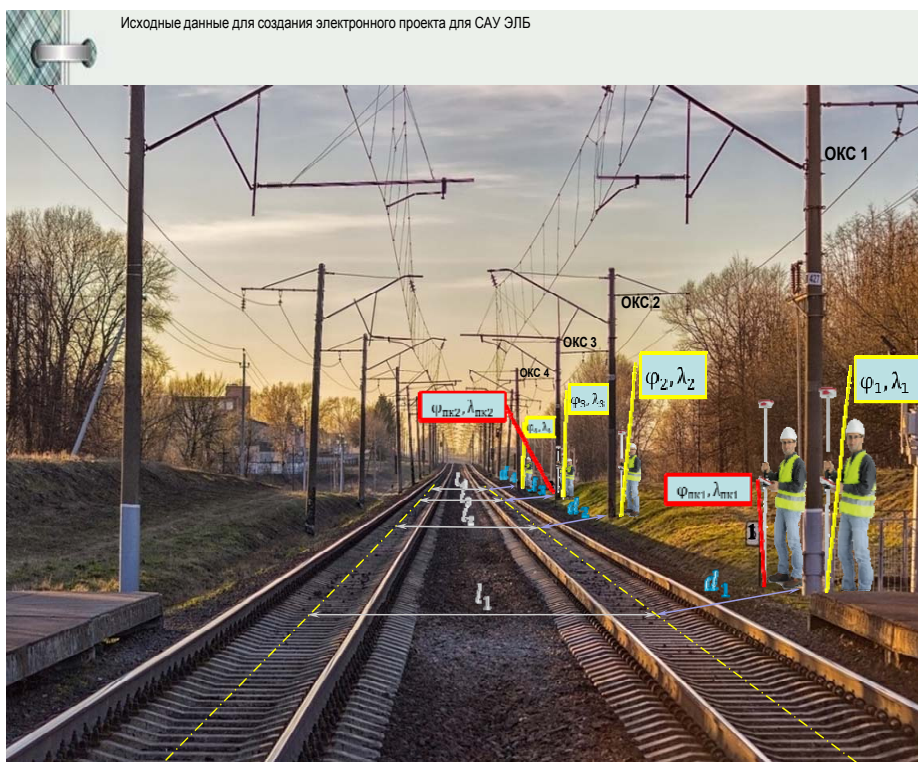


Рисунок 34 – Подготовка электронного проекта для САУ на базе ГНСС

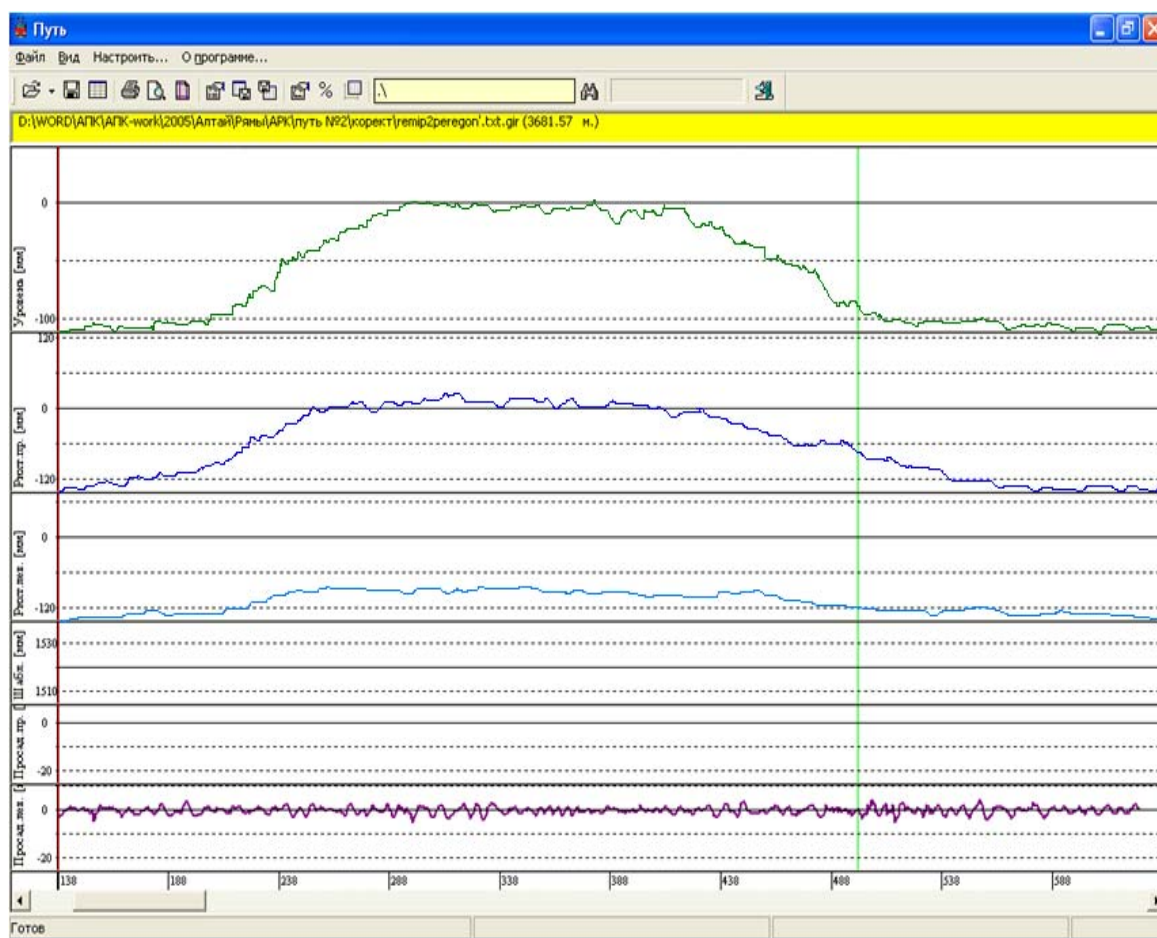


Рисунок 35 – Геометрия рельсовой колеи в стандарте ОАО «РЖД» ЦП 515

Карточка (паспорт) кривой, формат ФП-5, представлена на рисунке 36.

### Карточка кривой ФП-5

ПС:		Ведомость от 05.08.2017					Поездка: 05.08.2017			ПЧ:				
Участок:		Направление					Путь:			Км: 8-11				
Кривых правая	4	Характеристики кривой					1-я переходные 2-я							
	1	Начало		Конец			Отвод			Отвод				
		км	пк	км	пк	дл.	уг	max	ср.	дл.	max	ср.	дл.	
план		8	5+70	9	0+74	504	35.95	1.57	0.69	132	1.26	0.80	115	
уров.		8	6+05	8	6+05	0		0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	
план-уров.		-35		469			504							
пр.	Характеристики круговой кривой											скор.	пас.	грз.
сл. 1.021	Начало		Конец			Радиус/уровень								
	км	пк	км	пк	дл.	min	max	ср.	анп	ψ				
план	8	7+02	8	9+59	257	577	644	594	1.34	0.35	Vпз	100	60	
уров.	8	6+05	8	6+05	0	0	0	0	0.48		Vкр	72	47	
план-уров.	97		354			257						Vпр	140	
											Vиз			
											Vдп	70	45	

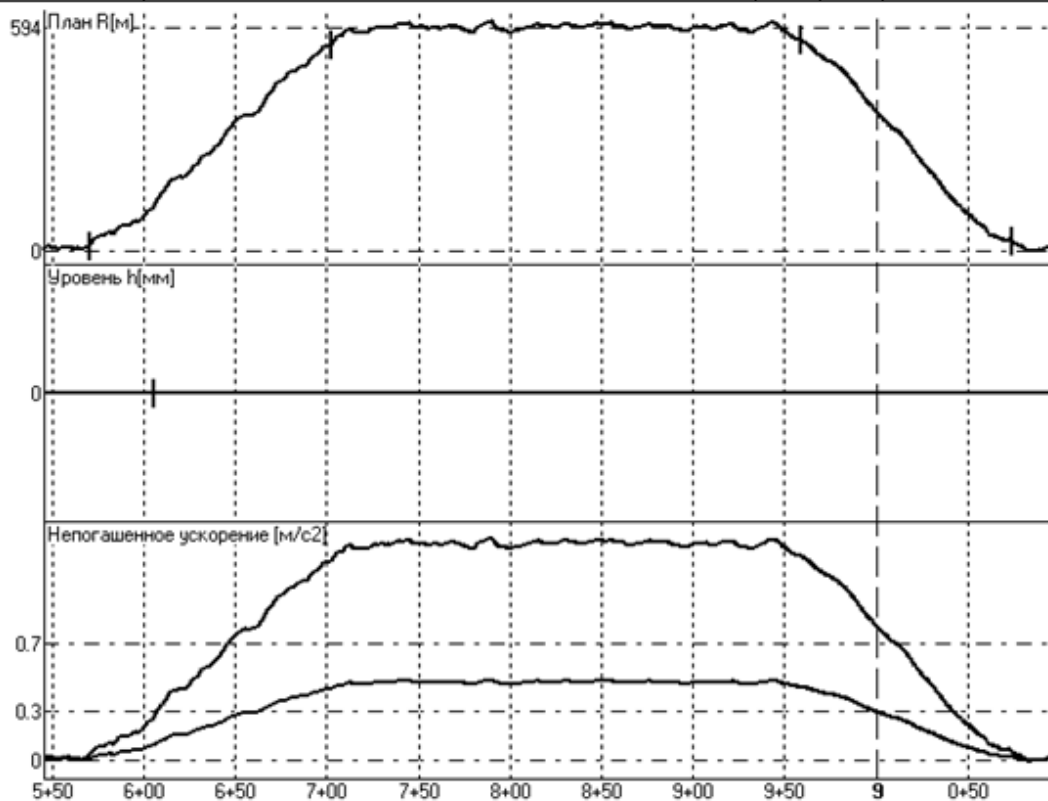


Рисунок 36 – Карточка (паспорт) кривой в стандарте ОАО «РЖД» ФП-5

Камеральные работы выполняются с применением программных продуктов: ArcViewGis13, Trimble Business Centre, AutoCAD, Microsoft Office, а также ПО, разработанного в НИЛ «Диагностика дорожных одежд и земляного полотна» СГУПС «Карточка кривой», Way, Duo, Profile Duo и др.

Для обеспечения обработки данных с использованием программных продуктов разработана структура и форматы отчетных данных АПК «Профиль-М», а также последовательность обработки данных и формирование отчетов.

Сущность обработки данных заключается в расчете геометрических параметров рельсовой колеи по пространственным данным (алгоритм приведен в разделе 2) в стандарте ОАО «РЖД» ЦП515. Преимуществом данной методики является жесткая привязка геометрических параметров к пространственным данным. Данное преимущество обеспечивает возможность использовать пространственные данные и геометрические параметры, полученные АПК «Профиль-М» для создания электронных проектов САУ-3D.

*Цифровая модель пути* предназначена для цифрового описания пространственного положения железнодорожного пути, отдельных объектов инфраструктуры и обеспечения единой координатной среды для всех измерительных средств и мониторинга инфраструктуры, включая рельсовую колею в строгом соответствии с разработанными структурами и форматами данных.

На первом этапе работ по формированию ЦМП создается опорная геодезическая сеть из расчета 25 км между опорными базовыми станциями (БС), координаты которых определяются последовательно от одной БС к другой. В процессе натурной съемки на опорной геодезической сети устанавливается БС, при удалении от нее БС перемещается на вторую опорную точку и т. д. Оцифровка оси пути выполняется с «шагом» съемки в 1 м. Средняя квадратическая ошибка (СКО) определения пространственного положения объектов железной дороги не должна превышать 3 см (распоряжение ОАО «РЖД» № 75р от 18.01.2013 г. и с изменениями от 17.07.2017 г. распоряжение № 1376р).

*Выполняется натурная съемка следующих объектов инфраструктуры:* ось и возвышение рельсовой колеи, опоры контактной сети, междупутье, светофоры, платформы, стрелочные переводы, переезды, ось пассажирского здания (ПЗ) в геометрических параметрах, пространственных данных.

Преобразование координат из системы WGS-84 в МСК и линейную систему координат (Км + Пк + м) выполняется с использованием ГОСТ Р 51794–2008 Гло-

бальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Координаты заказчику передаются в двух системах WGS-84 в МСК с линейной системой координат (Км + Пк + м), жестко связанной с МСК и WGS-84, а также эксплуатационным пикетажем.

Тестирование ЦМП должно выполняться по функционалу и точности получения (привязки) линейной координаты в любой точке участка ЦМП.

Погрешность СКО привязки в линейной системе координат (Км + Пк + м) не должна превышать 1 м при использовании автономного режима позиционирования и 10 см – в дифференциальном режиме RTK в любой  $i$ -й точке железной дороги.

Основной задачей при переходе на цифровые технологии при проектировании, строительстве (ремонте), эксплуатации железных дорог является внедрение новых цифровых методов проектирования, системы автоматизированного управления инфраструктурой с использованием ГИС-технологий, мониторинга состояний рельсовой колеи, железнодорожного пути, искусственных сооружений, хранения и корректировки информации в БД.

Для решения данных задач необходимо обеспечить единую координатную среду, универсальные формулы и структуры данных для цифрового описания пространственного положения объектов, возможность трансформирования данных в новые или специальные форматы данных, например, для создания электронных проектов ремонта.

Наиболее универсальным и функциональным способом для решения инженерных и управленческих задач при переходе на цифровые технологии является создание цифровых моделей пути.

Цифровые модели пути обеспечивают [58–60]:

- цифровое представление пространственного положения железнодорожного пути;
- жесткую связь пространственного положения пути в глобальных координатах, например WGS-84 с государственными, локальными или ведомственными системами координат, включая линейные системы координат (Км + Пк + м);
- создание единой координатной среды для всех потребителей информации;

- обеспечение единства измерений;
- создание БД с широкими информационными возможностями по трансформации данных, их преобразованиях и формировании заданий (проектов), контроля их исполнения, включая режим реального времени в удобной системе координат;
- представление и пересчет данных в новые системы координат с использованием ключей перехода (преобразований);
- внесение изменений в БД инфраструктуры после завершения ремонтов;
- паспортизации, инвентаризации, изменений системы координат и т. д.;
- решение инженерных задач (продольный профиль, габариты приближения строений, тяговые нагрузки, непогашенное ускорение и т. д.).

*Практическое значение ЦМП:*

а) ЦМП является основой высокоточной привязки инфраструктуры железных дорог и одной из необходимых составляющих ГИС;

б) ЦМП обеспечивает единство координатной среды, что позволяет различным структурам (потребителям информации), в не зависимости от используемой системы координат обеспечивать единство измерений. Например, специалисты, работающие с ГИС, используют глобальную систему координат WGS-84 при решении конкретных инженерных задач, проектировщики используют плоскую прямоугольную систему координат Гаусса – Крюгера, а дорожные мастера – линейную систему координат (Км + Пк + м).

При этом любая точка инфраструктуры железной дороги однозначно определяется в трех системах координат, при необходимости – одновременно. Это одно из наиболее важных преимуществ ЦМП, так как дорожному мастеру задание выдается в привязке к удобной и понятной для него линейной системе координат (Км + Пк + м). Если задание выдавать в глобальной системе координат WGS-84 (широта и долгота), то это приведет к непониманию, точно так же, как у проектировщиков, работающих в плоской прямоугольной системе координат ( $X, Y, H$ ): с использованием расстояний и дирекционных углов не пользоваться широтой

и долготой при непосредственных измерениях в полевых условиях и расчетах геометрических параметров;

в) ЦМП является основой мониторинга, обеспечивая однозначное определение местоположения любой точкой инфраструктуры не зависимо от измерительных средств (вагон-дефектоскоп, тележка-дефектоскоп, вагон-путеизмеритель), отрезка времени и количества циклов измерения. В зависимости от требуемой точности контроля использование ЦМП обеспечивает контроль динамики измерения геодезических параметров, дефектов и т. д. за счет высокой точности привязки ( $\pm 0,1 - 1$  м). В настоящее время вагоны-дефектоскопы, вагоны-путеизмерители обеспечивают точность привязки  $\pm 25$  м, что не дает возможности их наложения на результаты измерения из предыдущих циклов (они не совпадут), поэтому ЦМП – основа мониторинга;

г) ЦМП обеспечивает геодезическую привязку и позиционирование в любой точке железной дороги при измерении  $i$ -й точки в глобальных координатах ( $\lambda$ ,  $\varphi$ ) и их преобразование в другие системы координат, например прямоугольные системы координат МСК ( $X$ ,  $Y$ ,  $H$ ) или линейные системы ( $K_m + P_k + m$ ).

Эта универсальная функция ЦМП является одной из важнейших, так как позволяет выполнять измерения спутниковой аппаратурой в системе координат WGS-84 и трансформировать точку позиционирования в системе координат, например, проекта на ремонт, что обеспечивает возможность использовать ГНСС при создании систем автоматизированного управления выправкой пути, вырезкой балласта, а также для железнодорожных навигаторов дорожного мастера и т. д.;

д) ЦМП является основой электронных проектов, которая выполняется путем корректировки ЦМП с использованием проектных данных (рихтовки и подъемки). Преимуществом ЦМП является возможность использовать электронные проекты в течение длительного периода (от капитального ремонта до дополнительного), что позволяет сохранять пространственное положение оси пути в проектом положении в течение межремонтного срока.

Таким образом, технический эффект заключается в практическом использовании ЦМП по пунктам а) – д), приведенным в данном подразделе.

Экономический эффект складывается из повышения производительности при использовании цифровых технологий при проектировании, принятии управленческих решений, решений инженерных задач, включая выправку пути, расширении функциональных возможностей существующих БД, измерительных систем, систем управления и прогнозирования по результатам мониторинга.

Повышение качества содержания инфраструктуры осуществляется за счет высокой степени информационного обеспечения при принятии управленческих решений, качества ремонта и оценки состояния инфраструктуры. Основой интегрирования ЦМП является ГИС. Цифровая модель пути в структуре ГИС является функционалом по пространственному и визуальному представлению инфраструктуры, основой привязки различных БД, преобразованию измеряемых параметров позиционирования (WGS-84) в стандартные форматы данных в зависимости от потребителя информации.

Методика интеграции и форматирования лежит в структурах формирования ГИС, приложений ГИС, в зависимости от функционала ГИС она структурируется и в согласованных форматах предоставляется конкретному потребителю.

ЦМП позволяет для заданного диапазона в линейной системе координат (Км + ПК + м) и типа выбираемой информации (все точки или точки только определенного типа) производить выборку данных и отображать ее в таблице на экране компьютера (рисунок 37).

В качестве программной основы для хранения информации выступает формат системы управления реляционными базами данных (СУБД) Microsoft Access. База данных целиком хранится в одном accdb-файле, что существенно упрощает создание и распространение. Данный формат является удобным вариантом для хранения большого объема информации с возможностью быстрого перемещения по ее структуре. Формирование базы выполнено путем ее создания в среде Microsoft Access, добавления полей и импорта сформированных данных из внешнего файла. Данный процесс осуществлён с использованием встроенных средств конструирования СУБД Microsoft Access (рисунок 38).

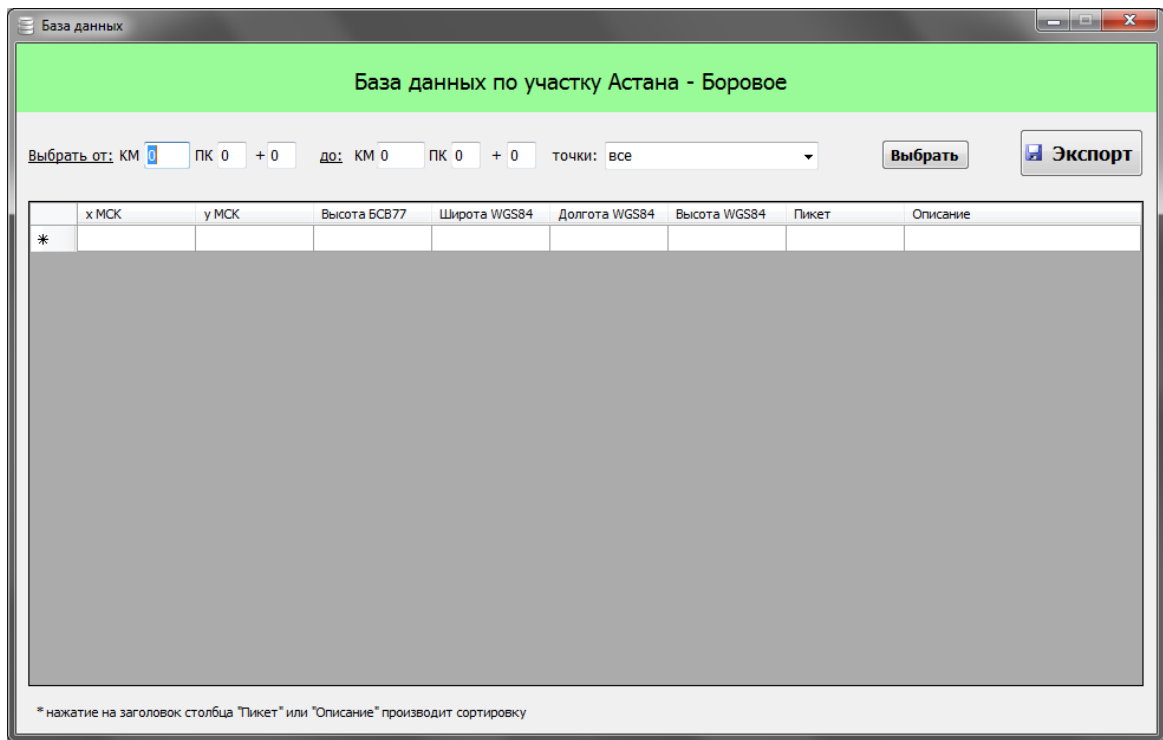


Рисунок 37 – Внешний вид окна базы данных

Код	x_MCK	y_MCK	Elevation	lat_WGS84	lon_WGS84	Height_WGS84	Piket	Topokod	Topokod_info
471967	5 777 693.72	617 564.71	347.71	52.11600068	70.71538183	347.71	363884.01		
471968	5 777 692.19	617 565.34	347.72	52.11598681	70.71539050	347.72	363885.66		
471969	5 777 690.67	617 565.98	347.72	52.11597302	70.71539931	347.72	363887.31		
471970	5 777 689.17	617 566.61	347.73	52.11595941	70.71540799	347.73	363888.94		
471971	5 777 687.75	617 567.21	347.73	52.11594652	70.71541625	347.73	363890.48		
471972	5 777 685.95	617 567.97	347.74	52.11593019	70.71542672	347.74	363892.43		
471973	5 777 683.78	617 568.87	347.74	52.11591051	70.71543911	347.74	363894.77	90 ОК №952	
471974	5 777 681.87	617 569.69	347.75	52.11589318	70.71545041	347.75	363896.85		
471975	5 777 680.39	617 570.30	347.75	52.11587975	70.71545881	347.75	363898.45		
471976	5 777 678.91	617 570.90	347.76	52.11586633	70.71546705	347.76	363900.05		
471977	5 777 677.42	617 571.55	347.76	52.11585281	70.71547602	347.76	363901.67		
471978	5 777 675.93	617 572.17	347.77	52.11583929	70.71548455	347.77	363903.28		
471979	5 777 674.44	617 572.79	347.77	52.11582577	70.71549309	347.77	363904.89		
471980	5 777 672.93	617 573.42	347.78	52.11581207	70.71550176	347.78	363906.53		
471981	5 777 671.44	617 574.04	347.78	52.11579856	70.71551029	347.78	363908.14		
471982	5 777 669.89	617 574.68	347.79	52.11578450	70.71551910	347.79	363909.81		
471983	5 777 668.35	617 575.34	347.79	52.11577052	70.71552820	347.79	363911.49		
471984	5 777 666.81	617 575.97	347.79	52.11575656	70.71553686	347.79	363913.15		
471985	5 777 665.31	617 576.60	347.80	52.11574295	70.71554553	347.80	363914.78		
471986	5 777 663.82	617 577.22	347.80	52.11572943	70.71555407	347.80	363916.39		
471987	5 777 662.33	617 577.84	347.81	52.11571591	70.71556260	347.81	363918		
471988	5 777 660.90	617 578.44	347.81	52.11570294	70.71557086	347.81	363919.55		
471989	5 777 659.43	617 579.06	347.82	52.11568960	70.71557940	347.82	363921.14		
471990	5 777 657.94	617 579.68	347.82	52.11567609	70.71558794	347.82	363922.75		
471991	5 777 656.50	617 580.27	347.83	52.11566303	70.71559605	347.83	363924.31		
471992	5 777 655.14	617 580.84	347.83	52.11565069	70.71560390	347.83	363925.78		
471993	5 777 653.82	617 581.40	347.84	52.11563871	70.71561161	347.84	363927.22		
471994	5 777 652.66	617 581.90	347.85	52.11562818	70.71561851	347.85	363928.48		
471995	5 777 651.52	617 582.36	347.85	52.11561785	70.71562483	347.85	363929.7		
471996	5 777 650.36	617 582.84	347.86	52.11560732	70.71563143	347.86	363930.96		
471997	5 777 649.16	617 583.34	347.87	52.11559644	70.71563831	347.87	363932.26		
471998	5 777 647.91	617 583.86	347.87	52.11558510	70.71564547	347.87	363933.61		
471999	5 777 646.76	617 584.36	347.88	52.11557466	70.71565237	347.88	363934.86		
472000	5 777 645.74	617 584.78	347.88	52.11556541	70.71565815	347.88	363935.96	90 ОК №954 с переключателе	
472001	5 777 644.87	617 585.14	347.89	52.11555752	70.71566310	347.89	363936.9		
472002	5 777 643.55	617 585.70	347.89	52.11554554	70.71567082	347.89	363938.34		
472003	5 777 642.05	617 586.31	347.90	52.11553194	70.71567920	347.90	363939.95		
472004	5 777 640.47	617 586.98	347.90	52.11551760	70.71568843	347.90	363941.67		
472005	5 777 638.86	617 587.65	347.90	52.11550300	70.71569765	347.90	363943.41		

Рисунок 38 – База данных, открытая в среде Microsoft Access

СУБД обеспечивает создание и многоаспектный доступ к данным. Реляционная модель обеспечивает возможность использования операций обработки данных и универсального языка структурных запросов. В базе данных основной логической единицей манипулирования данными выступает строка таблицы – запись.

Данный формат удобен для быстрой фильтрации данных по выбранному полю. Например, нажатием на поле «Пикет» или «Описание» можно осуществить прямую или обратную сортировку.

Выборка информации из базы данных осуществляется путем построения запросов с использованием SQL (Structured Query Language – язык структурированных запросов). В качестве основных элементов, передаваемых в запросе к базе данных, выступают диапазон выборки, определяющий объем и тип запрашиваемой информации. Система доступа к данным построена на основе Access Database Engine. Она выполняет загрузку, сохранение и извлечение данных, а также поддерживает двухбайтовое представление символов – Unicode, позволяя использовать символы нескольких национальных алфавитов. Данный формат хранения информации позволяет разместить базу данных на отдельном компьютере и организовать многопользовательский режим доступа к информации. Microsoft Access автоматически обеспечивает защиту данных от одновременной корректировки несколькими пользователями. Для этого предусматривается блокировка на уровне страниц и на уровне записи. Блокирование не допускает изменения другими пользователями.

Столбцами таблицы являются координаты точек пути в трех системах: местной системе координат, спутниковой (WGS-84) и линейной (Км + Пк + м).

Выбор типа точек производится после указания диапазона выборки.

Доступны следующие виды:

- все точки (с любым топокодом);
- опоры контактной сети (ОКС);
- мачтовые светофоры;
- карликовые светофоры;

- изостыки;
- стрелочные переводы;
- стыки;
- предельные столбики;
- трубы;
- километровые столбы;
- мосты;
- переезды;
- платформы и станции;
- путепроводы.

Сформированный запрос к базе данных с указанием необходимых запрашиваемых полей (интервал выборки и тип выбираемых точек) будет следующим:

```
SELECT  x_MCK,   y_MCK,   Elevation,   lat_WGS84,   lon_WGS84,
Height_WGS84, Piket, Topokod, Topokod_info
FROM AstanaDB
WHERE (Piket >= Piket1) AND (Piket <= Piket2) AND (Topokod = Kod)
```

Экспорт выбранных данных производится соответственно при нажатии на кнопку «Экспорт». После указания имени выходного файла производится сохранение выбранных данных в текстовом формате с разделителем. Процедура экспорта происходит путем сохранения данных выполненного запроса. После сохранения файла на экране появляется информационное окно об окончании экспорта.

Файл, содержащий данные, состоит из нескольких столбцов, разделенных знаком «;» : *координата x; координата y; высота (БСВ77); пикетное положение; наименование точки (пустое поле для простой точки пути); 0; широта WGS84; долгота WGS84; код точки; проектное расстояние до соседнего пути; проектное расстояние до точки; проектная высота; 0; 0; 0; 0.*

Первая строка файла – заголовок с названиями столбцов.

Пример файла:

```
x_ck42;y_ck42;h_ck42;Расстояние;d1;d2;wgs84_lat;wgs84_lon;Код;L_проект_путь;
L_проект_иссо;H;d5;d6;d7;d8
5680425.63;665171.12;321.97;486494.48;;0;51.23037113;71.36389837;0;0;0;0;0;0;0
5680425.63;665171.12;321.97;486495.48;стр№3;0;51.23037113;71.36389837;22;0;0;0;0;0;0
5680424.71;665171.52;321.97;486496.48;;0;51.23036276;71.36390367;0;0;0;0;0;0;0
5680423.80;665171.93;321.99;486497.48;;0;51.23035446;71.36390911;0;0;0;0;0;0;0
5680422.89;665172.34;322.01;486498.48;;0;51.23034617;71.36391456;0;0;0;0;0;0;0
5680421.97;665172.75;322.02;486499.48;;0;51.23033779;71.36392;0;0;0.00;0;0;0;0;0
```

На рисунке 39 показан фрагмент данных в БД Астана – Боровое.

x МСК	y МСК	Высота БСВ77	Широта WGS84	Долгота WGS84	Высота WGS84	Пикет	Описание
5 830 984.65	596 109.76	389.26	52.59891261	70.41750998	389.26	305 931.87	
5 830 981.32	596 110.20	389.27	52.59888262	70.41751551	389.27	305 935.22	ОКС №126
5 830 979.83	596 110.39	389.27	52.59886920	70.41751788	389.27	305 936.73	
5 830 976.67	596 110.81	389.29	52.59884074	70.41752316	389.29	305 939.91	
5 830 973.41	596 111.24	389.30	52.59881138	70.41752856	389.30	305 943.20	
5 830 970.15	596 111.66	389.31	52.59878201	70.41753381	389.31	305 946.49	
5 830 966.81	596 112.10	389.32	52.59875193	70.41753933	389.32	305 949.85	
5 830 963.38	596 112.55	389.33	52.59872104	70.41754498	389.33	305 953.31	
5 830 959.98	596 112.99	389.35	52.59869042	70.41755048	389.35	305 956.74	
5 830 956.69	596 113.42	389.36	52.59866078	70.41755587	389.36	305 960.05	
5 830 953.46	596 113.84	389.38	52.59863169	70.41756113	389.38	305 963.31	
5 830 950.15	596 114.27	389.39	52.59860188	70.41756652	389.39	305 966.65	
5 830 946.80	596 114.71	389.41	52.59857171	70.41757204	389.41	305 970.02	
5 830 943.36	596 115.16	389.42	52.59854072	70.41757768	389.42	305 973.49	
5 830 940.56	596 115.54	389.44	52.59851550	70.41758247	389.44	305 976.32	ОКС №128
5 830 937.46	596 115.93	389.45	52.59848758	70.41758733	389.45	305 979.44	
5 830 934.11	596 116.37	389.47	52.59845741	70.41759285	389.47	305 982.82	

Рисунок 39 – Результат выборки из базы данных

Код точки, используемой для закрепления, выбирается согласно таблице 6.

Точки фиксируются по оси пути напротив нужного объекта. На рисунке 40 показано местоположение, где производится запись точки при расположении различных объектов как по левую, так и по правую сторону (например, при привязке контактной сети).

Таблица 6 – Код точки, используемой для закрепления объектов

Код	Расшифровка
1	Станция внеклассная левая
2	Станция внеклассная правая
3	Станция 1-го класса левая
4	Станция 1-го класса правая
5	Станция 2-го класса левая
6	Станция 2-го класса правая
7	Станция 3-го класса левая
8	Станция 3-го класса правая
9	Станция 4-го класса левая
10	Станция 4-го класса правая
11	Станция 5-го класса левая
12	Станция 5-го класса правая
13	Разъезд левый
14	Разъезд правый
15	Остановочный пункт левый
16	Остановочный пункт правый
17	Переезд охраняемый левый
18	Переезд охраняемый правый
19	Переезд неохраняемый
20	Стрелочный перевод левый
21	Стрелочный перевод правый
22	Стрелочный перевод 1
23	Стрелочный перевод 2
24	Стрелочный перевод перекрёстный
25	Светофор линзовый 1
26	Светофор линзовый 2
27	Светофор заградительный
28	Светофор прожекторный 1
29	Светофор прожекторный 2
30	Путепровод над железной дорогой
31	Путепровод под железной дорогой
32	Мост пешеходный

## Продолжение таблицы 6

Код	Расшифровка
33	Мост железобетонный
34	Мост металлический 1
35	Мост металлический 2
36	Мост виадук
37	Труба овоидальная железобетонная
38	Труба прямоугольная железобетонная
39	Труба круглая железобетонная
40	Пересечение с ЛЭП
41	Пересечение с линией связи
42	Пересечение с эстакадой
43	Блок пост левый
44	Блок пост правый
45	Репер
46	Остановочный пункт без платформы
47	Светофор карликовый
48	Изостык
49	Предельный столбик
50	Упор
51	Конец пути
52	Выноска
53	Свисток
54	Остановка локомотива
55	Стрелочный перевод симметричный 1
56	Стрелочный перевод симметричный 2
90	Опора
91	Стык
92	Километровый столб
100	Скачок
101	Пикет
102	Кривая
103	Дефект
104	Маячная шпала
105	Мачта освещения

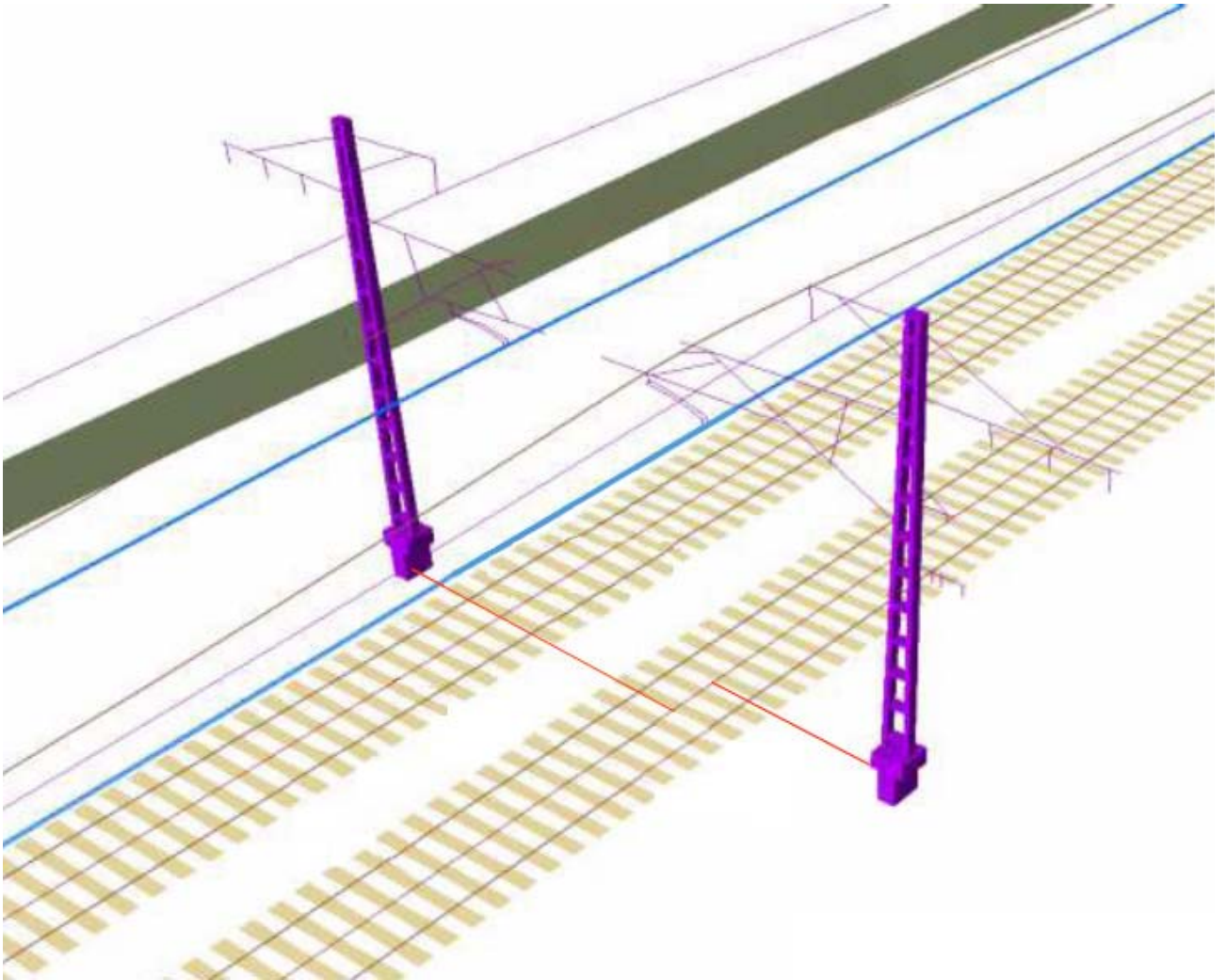


Рисунок 40 – Пример расположения объектов вдоль пути

*Программный комплекс «Конвертор».* Позволяет выполнять преобразование глобальных координат WGS-84 в линейные.

Программа преобразования выполняет пересчет исходных координат, представленных в виде трех столбцов: имя точки, широта, преобразование долготы в системе координат WGS-84 в линейную координату Км + Пк + м плюс.

Окно программы представлено на рисунке 41.

Перед запуском процесса преобразования координат необходимо указать файл, содержащий имя, широту и долготу преобразуемых точек. Это производится путем нажатия на кнопку «Загрузить путь» и выбора необходимого файла.

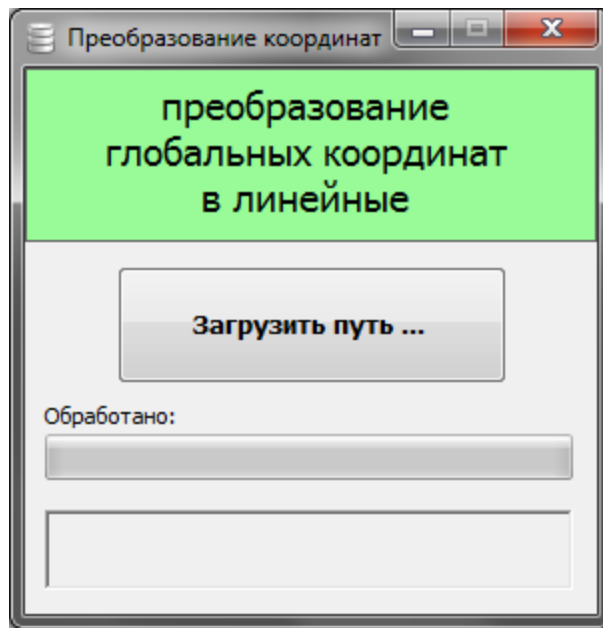


Рисунок 41 – Программа преобразования координат

Формат исходных данных:

```
0;51.2335383;71.3615817
10;51.2334550;71.3616361
20;51.2333717;71.3616900
30;51.2332879;71.3617441
40;51.2332046;71.3617979
```

В качестве разделителя столбцов используется символ «;». Первый столбец – имя точки, второй – широта, третий – долгота.

Запуск преобразования координат начинается автоматически после загрузки пути и отображается в виде заполняющейся полоски с надписью: «Обработано» (рисунок 42).

В процессе преобразования происходит загрузка исходной таблицы координат. Затем производится ее трансформирование в систему цифровой модели пути участка, например, Астана – курорт Боровое, хранящейся в базе данных, и, в случае нахождения точек на соседнем пути, проецирование исходных данных на ЦМП.

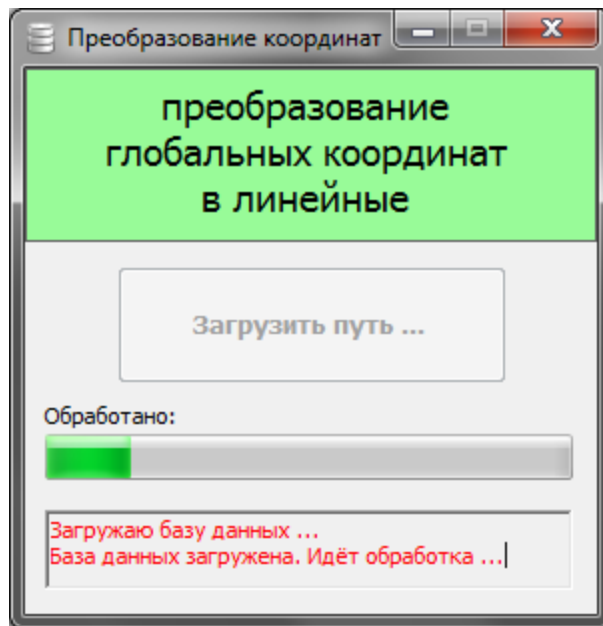


Рисунок 42 – Окно программы в работе

По данным, полученным в процессе трансформирования координат, и данным ЦМП, хранящимся в базе данных, происходит вычисление линейной координаты исходных точек в системе эксплуатационного пикетажа железной дороги с адресом (Км + Пк + м), что важно для проектировщиков, строителей и эксплуатирующей организации, которые работают с эксплуатационным пикетажем в линейной (одномерной) системе координат.

Все основные шаги расчета – загрузка базы данных в память компьютера, процесс обработки и информация об окончании – дополнительно отображаются красным текстом в окне под полоской «Обработано».

По окончании работы программа выдаст сообщение «Обработка завершена» (рисунок 43) и создаст файл с исходными данными и дополнительным полем «пикет точки».

Формат выходного файла:

```
0 ; 51.23353830 ; 71.3615817 ; 485144.10
10 ; 51.2334550 ; 71.3616361 ; 485154.08
20 ; 51.2333717 ; 71.3616900 ; 485164.17
30 ; 51.2332879 ; 71.3617441 ; 485174.26
```

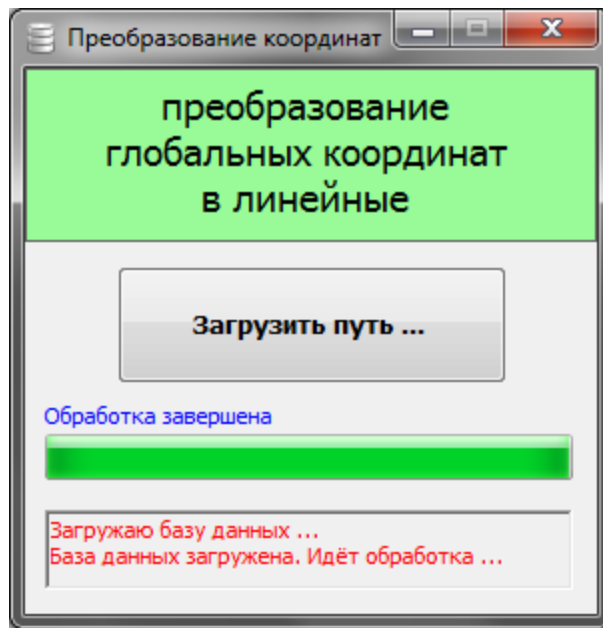


Рисунок 43 – Вид программы по окончании расчета

В качестве разделителя столбцов используется символ «;». Первый столбец – имя точки, второй – широта, третий – долгота, четвертый – пикет. Для удобства использования полученных данных в дальнейших расчетах, пикет представлен не в виде  $K_m + P_k + m$ , а в виде одного числа – расстояния в метрах. Например, 485144.10 – это  $K_m485 + P_k1 + 44.10$ .

Типовое техническое задание (ТЗ) на создание цифровой модели пути в соответствии с предлагаемой методикой показано в приложении Б.

#### 4.2 Операционный контроль и исполнительные съемки при строительстве (ремонте) железных дорог

*Система автоматизированного управления строительной техникой (САУ-3D) ГНСС для постановки пути в проектное положение.*

Постановка пути в проектное положение принципиально отличается от сглаживания и проектных решений во внутренней системе координат, например таких, как система Магистраль, ВПИ Навигатор, тем, что его пространственное положение и взаимное положение объектов и точек на пути соответствует после

выправки проектным значениям внешней (пространственной) системы координат, принятой в проекте, например, СК-63, МСК. На рисунке 44 показано, что после сглаживания линия 1 перемещается в сечениях с заданным «шагом» из положения 1 в положение 2, а при постановке в проектное положение – в положение 3.

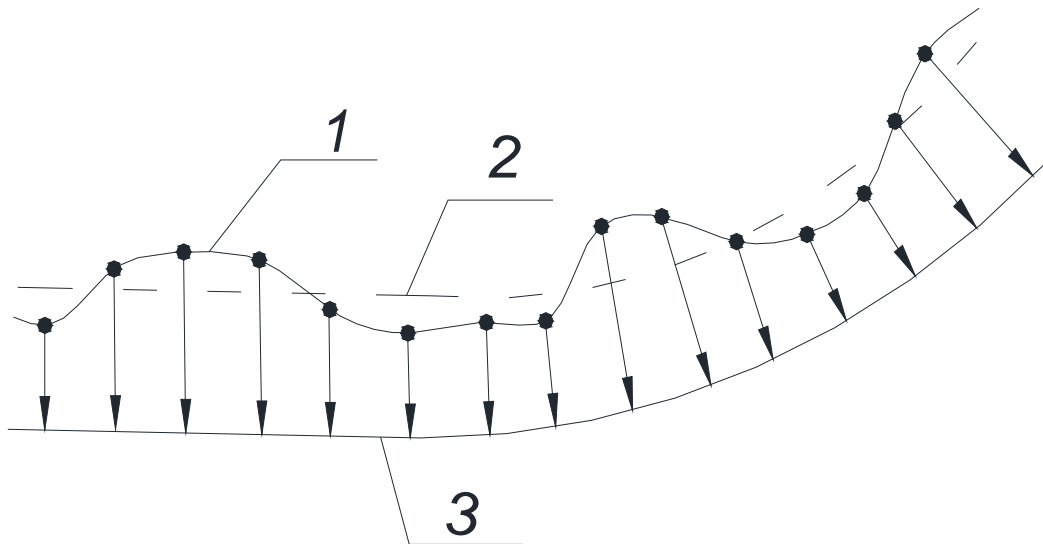


Рисунок 44 – Схема выправки пути

Сущность постановки пути в проектное положение с использованием САУ-3D (ГНСС) и электронных проектов, созданных по ЦМП, заключается в сравнении фактических и проектных координат [36].

На рисунке 45 в общем виде показано, каким образом определяется величина сдвижки пути по разности фактического и проектного положения оси железнодорожного пути. В данной диссертационной работе не рассматривается принцип реализации системы выправки и постановки в проектное положение при строительстве (ремонте) железных дорог, поэтому мы рассматриваем только схему реализации проектных решений, полученных АПК «Профиль-М».

Внешний вид выправочно-рихтовочно-подбивочной машины оборудованной САУ-3D, представлен на рисунке 46.

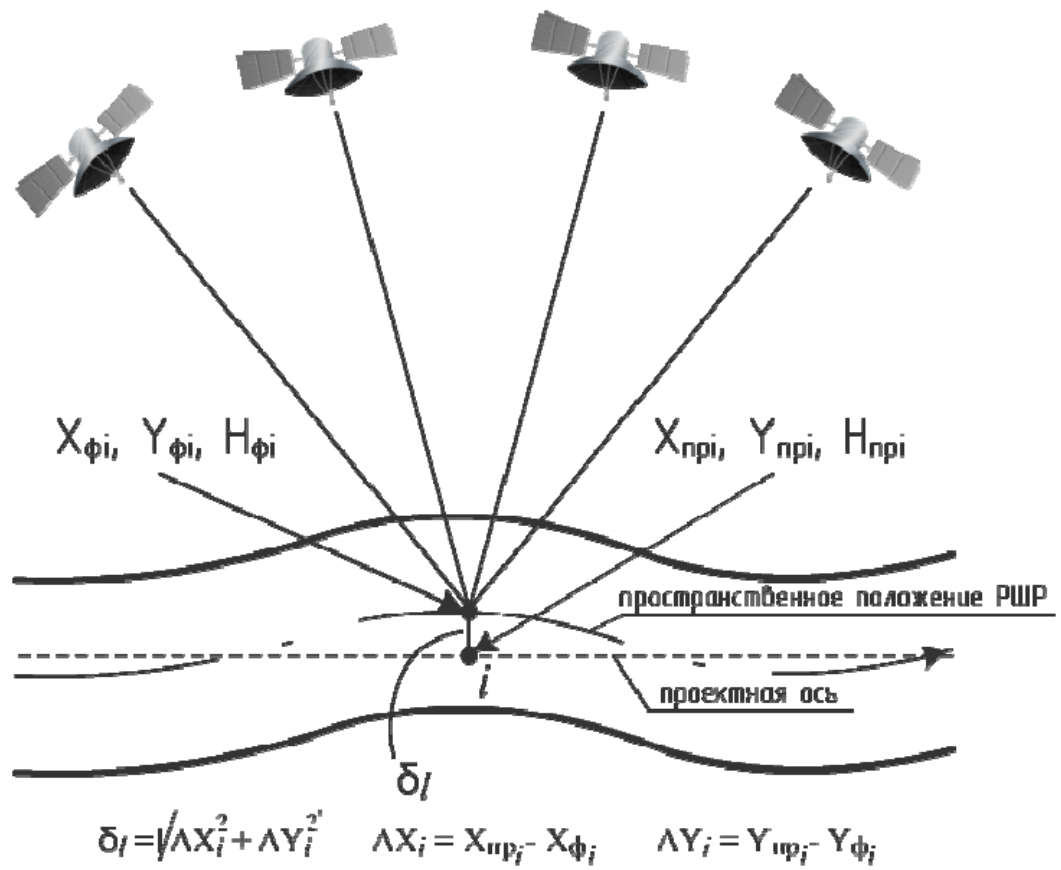


Рисунок 45 – Принципиальная схема определения смещения с использованием ГНСС



Рисунок 46 – Выправочно-рихтовочно-подбивочная машина, оборудованная САУ-3D (ГНСС)

Аппаратно-программная реализация проектных решений с использованием ЦМП, созданных АПК «Профиль-М», включая оборудование САУ-3D (ГНСС), представлена на рисунке 47.



Рисунок 47 – Система автоматизированного управления САУ-3D (ГНСС)

Для управления машиной САУ-3D используется программное обеспечение, структура и формат данных ПО соответствует данным АПК «Профиль-М», согласование и утверждение структуры и форматов выполняется дирекцией по ремонту пути (ДРП).

Программное обеспечение системы управления выправкой пути (САУ-3D) предназначено для расчета величины параметров выправки, визуализации проектного и текущего положения, автоматизированного управления выправкой.

Главное диалоговое окно программы изображено на рисунке 48.

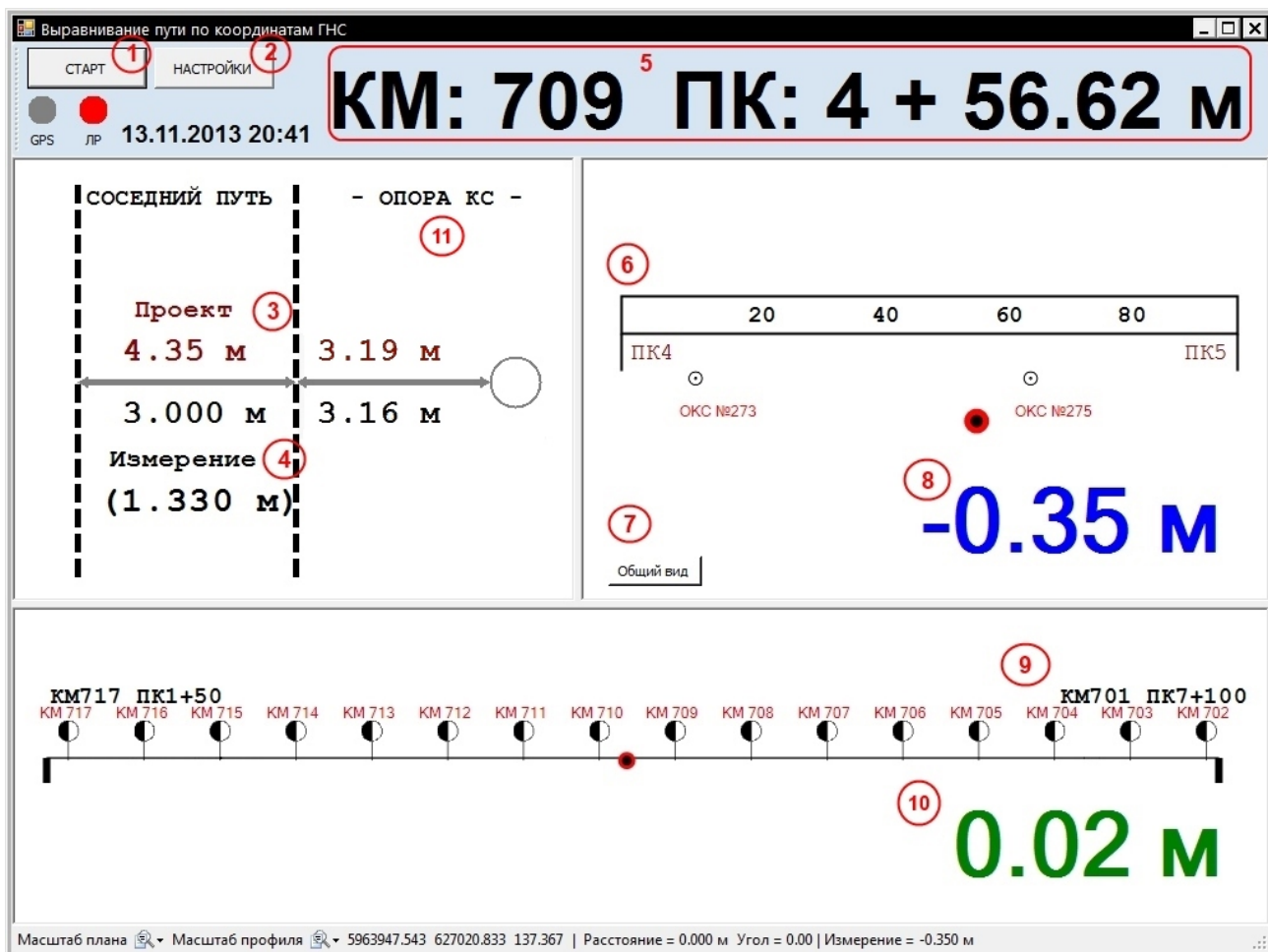



Рисунок 48 – Главное диалоговое окно программы

На рисунке 48 приведены обозначения, которые используются в процессе работы: 1 – кнопка запуска и остановки процесса осуществления выправки; 2 – кнопка выбора настроек параметров программы; 3 – проектное расстояние до оси соседнего пути; 4 – измеренное расстояния до оси соседнего пути и до соседнего рельса (значение в скобках); 5 – пикет текущего положения; 6 – интервал пути длиной в 100 м (один пикет), с вынесением из проекта всех характерных точек данного участка, их обозначением и точным местоположением. красная точка – текущее положение; 7 – выбор режима отображения «пикет» – показ каждого отдельного пикета, «общий вид» – вид всего участка пути; 8 – величина рихтовки; 9 – текущее положения на всем участке работ в процессе выправки относительно начального пикета. Пикет начала и окончания участка работ отображается чер-

ным цветом в начале и в конце линии. Символом  и надписью красным цветом обозначаются километры; 10 – величина просадки; 11 – расстояние до характерной точки (в метрах). Красным цветом обозначено проектное расстояние, черным – измеренное; 12 – выбор режимов работы: регулировка в плане – разрешить управление сдвижкой; регулировка по высоте – разрешить управление подъемкой; регулировка превышения – разрешить управление превышением; 13 – возвышение рельса в миллиметрах.

На рисунках 49, 50 представлен фрагмент пути после постановки в проектное положение САУ-3D ЭЛБ (ГНСС).

Из рисунка 49 видно, что на участке работ не выполнялись разбивочные работы, при этом качество постановки в проектное положение высокое, что можно определить по данным, результаты которых показаны на графиках геометрических параметров в стандарте ЦП 515.



Рисунок 49 – Фрагмент пути после постановки  
в проектное положение САУ-3D ЭЛБ

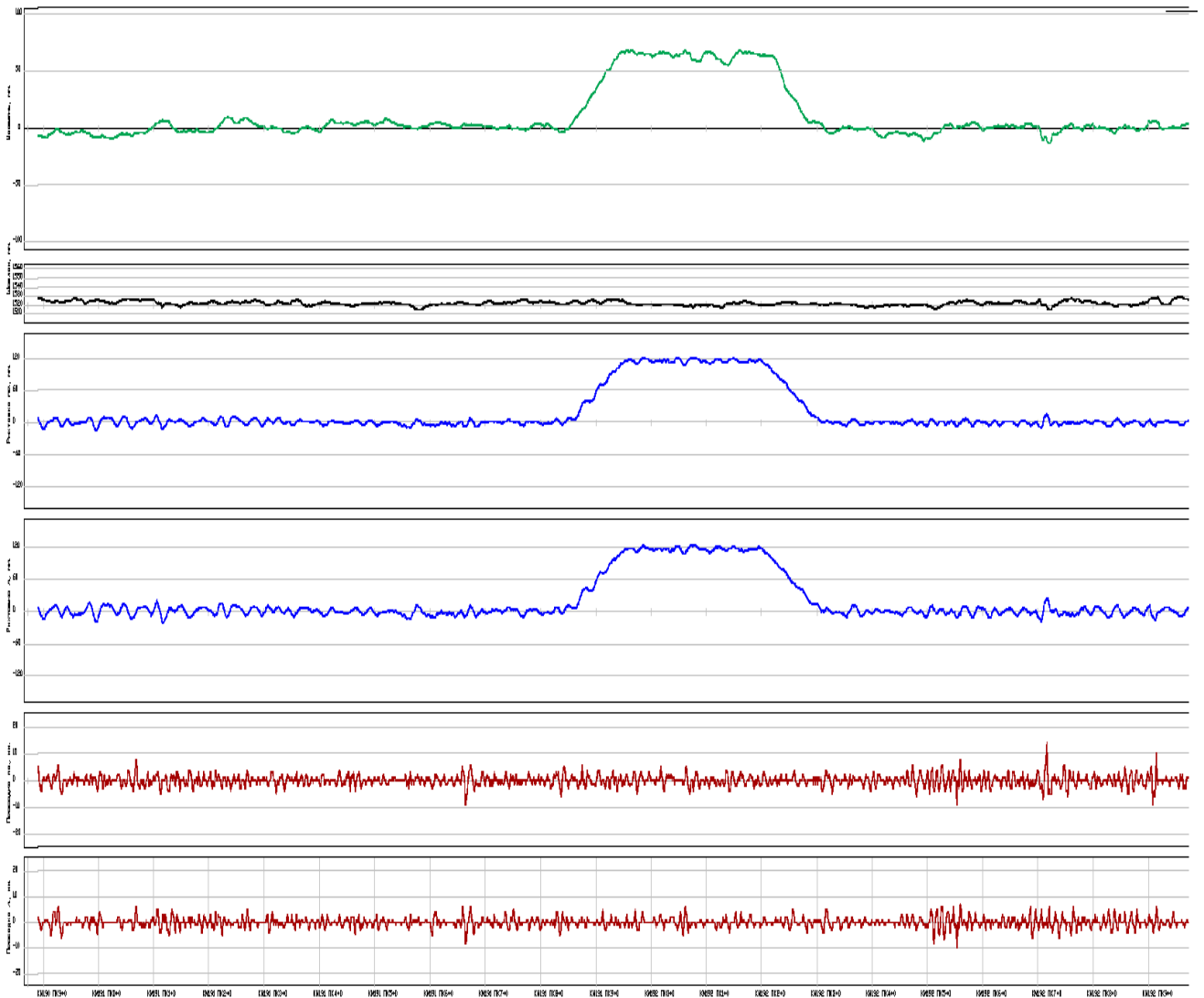


Рисунок 50 – Фрагмент пути (геометрические параметры в стандарте ЦП 515, полученные АПК «Профиль-М») после постановки в проектное положение САУ-3D ЭЛБ

Методика контроля качества работ, включая постановку пути (по ЦМП) в проектное положение, выполняется с использованием АПК «Профиль-М». В приложении В показана карточка кривой, полученная по результатам операционного контроля на первом этапе балластрировки пути. Оценка качества выполняется путем сравнения фактического и проектного положения пути, а также проверки на соответствие нормативным требованиям (распоряжение ОАО «РЖД» № 75р «Об утверждении и введении в действие откорректированной редакции

технических условий на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути» от 18.01.2013 г.). В приложении Г показана карточка кривой, геометрические параметры которой не соответствуют нормативным требованиям, когда необходимо по результатам исполнительной съемки повторно выправить путь и обеспечить нормативные требования технических условий (ТУ) по распоряжению ОАО «РЖД» № 75р от 18.01.2013 г. В приложении Д приведена карточка кривой, параметры которой соответствуют нормативным требованиям. В приложениях В, Г, Д показаны отклонения от проектных значений габаритов приближения строений, которые соответствуют нормативным требованиям (распоряжение ОАО «РЖД» от 17 июля 2017 г. № 1376р). Таким образом, предлагаемая методика и АПК «Профиль-М» обеспечивают выполнение нормативных требований и высокое качество ремонта (строительства) железных дорог.

## 5 АДАПТАЦИЯ АПК «ПРОФИЛЬ-М» НА СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ОАО «РЖД» И ПОДЪЕЗДНЫЕ ПУТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

### 5.1 Задачи внедрения АПК «Профиль-М»

Внедрение новых образцов оборудования и методики работы на сети железных дорог – одна из наиболее сложных задач с учетом существующих регламентов, ограничений по условиям безопасности, а также жестких стандартов по структуре и формату отчетных документов.

Область применения АПК «Профиль-М» с учетом функциональных возможностей, технических характеристик и эффективности применения для конкретных видов работ приведена в разделе 3.

Функциональные возможности и технические характеристики обеспечили применение АПК «Профиль-М» при подготовке электронных проектов на объектах строительства (ремонта) для самых современных систем автоматизированного управления САУ-3D (ГНСС).

Проектные институты в настоящее время создают электронные проекты для традиционных технологических решений при строительстве, а возможности создания проектов для использования (САУ-3D) и управления строительной железнодорожной техникой в настоящее время ограничены. Поэтому для решения данной задачи используется автоматизированная система (АПК «Профиль-М»), позволяющая создавать цифровые модели пути с высокой эффективностью. Сущность методики создания электронного проекта заключается в том, что ЦМП используется в качестве цифровой основы существующего пути, которая корректируется проектными решениями на участок ремонта: рихтовки (сдвиги существующего пути в плане на проектную величину), подъёмка (подъёмка пути на балласте на проектную величину), уровень (возвышение рельсовой нити). Основные эксперименты выполнены для адаптации данных технических решений на сети железных дорог ОАО «РЖД».

Для широкого внедрения АПК «Профиль-М» необходимо было путем сравнительных испытаний показать на реальных объектах железной дороги технико-

экономическое преимущество по отношению к лучшим существующим в настоящее время автоматизированным измерительным системам.

Для получения объективных результатов проведены сравнительные испытания и анализ АПК «Профиль» и АПК «Профиль-М». АПК «Профиль» и АПК «Профиль-М» представлены на рисунках 51, 52 соответственно.



Рисунок 51 – АПК «Профиль»



Рисунок 52 – АПК «Профиль-М»

В таблице 7 показаны результаты сравнения технико-эксплуатационных данных АПК «Профиль» и АПК «Профиль-М», влияющих на эффективность натурных съемок при создании цифровых моделей пути.

Таблица 7 – Результаты сравнения технико-эксплуатационных данных АПК «Профиль» и АПК «Профиль-М»

АПК «ПРОФИЛЬ»	АПК «ПРОФИЛЬ-М»
<b>ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ</b>	
Запуск режима тестирования и измерения	Запуск режима измерений
Калибровка датчика ширины колеи, одометра, инерциальной системы (гироскопы, акселерометры), скорость ухода оси гироскопа, смещение нуля акселерометров, контроль угловой ориентации	–
Установка начальных условий и служебной информации, включая данные референц-сети	Установка начальных условий и служебной информации, включая данные референц-сети
<b>НАТУРНАЯ СЪЕМКА</b>	
Калибровка скорости ухода оси гироскопов с интервалом 20 минут	–
После схода с рельсовой колеи (при движении поездов) контроль угловой ориентации инерциальной системы и скорости ухода оси гироскопа	–
Работа с компьютером, контроллером ГНСС, контроллером инерциальной системы	Работа с компьютером
<b>ОБРАБОТКА ДАННЫХ</b>	
Trimble Business Centre, ПК «Way», ПО «Геомастер»	ПК АПК «Профиль-М»
<b>НАРАБОТКА НА ОТКАЗ</b>	
В 2015 г. – 4 на 10 АПК «Профиль»	–
В 2016 г. – 2 на 10 АПК «Профиль»	В 2016 г. – 1 на 5 АПК «Профиль-М»

Анализ данных таблицы показывает, что затраты на подготовку к работе, в процессе работы и обработки данных у АПК «Профиль» выше, кроме того, отказы в работе также значительно чаще, поэтому, с учетом данных таблицы 7, эффективность АПК «Профиль-М» выше, а себестоимость работ – ниже.

Внедрение АПК «Профиль-М», кроме обеспечения технико-экономических показателей, зависит и от обеспечения нормативных (технических) требований при выполнении операционного контроля и исполнительных съемок. В таблице приведены основные параметры, которые контролируются при строительстве (ремонте), а их значения с учетом скоростей движения приведены в распоряжении ОАО «РЖД» № 75р от 18.01.2013 г. ОАО «РЖД» основные контролирующиеся на железной дороге геометрические параметры приведены в таблице 8. Технические требования при приемке и оценке качества выполнения работ (распоряжение ОАО «РЖД» № 75р «Об утверждении и введении в действие откорректированной редакции технических условий на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути» от 18.01.2013 г.) приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Приемка и оценка качества выполненных работ  
(распоряжение ОАО «РЖД» № 75р от 18.01.2013 г.)

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		
Максимальные уклоны продольного профи- ля <1>, <3>	Принима- ется	Руководящий уклон не превышен		
	Не прини- мается	Руководящий уклон превышен		
Максимальная разность уклонов смежных эле- ментов профи- ля <1>, <3>	Принима- ется	Требования рассматриваемых ТУ по распоряжению № 75р от 18.01.2013 г. не превышены	Не хуже, чем по- сле предыдущего ремонта	
	Не прини- мается	Требования рассматриваемых ТУ по распоряжению № 75р от 18.01.2013 г. не превышены	Не соответству- ют	

## Продолжение таблицы 8

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								
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		
Величина длинных неровностей в продольном профиле, мм, <1>, <3>	Принимается	–	< 30	< 30	–	< 30	< 30	–	–	–
	Не принимается	–	> 30	> 30	> 30	> 30	> 30	–	–	–
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
Длины переходных кривых, менее проектных на величину <1>, <3>	Принимается	10			20		10	25		20
	Не принимается	> 10			> 20		> 10	> 25		> 20
Максимальная крутизна отвода возвышения в переходных кривых (допускаемый уклон, <1>, <3>)	Принимается	Уклон отвода возвышения не превышает значений рассматриваемых ТУ по распоряжению № 75р от 18.01.2013 г.								
	Не принимается	Уклон отвода возвышения превышает значения рассматриваемых ТУ по распоряжению № 75р от 18.01.2013 г.								
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		
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	–	–	–
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 принимается	6	> 4		> 6	> 4		> 6	> 4	

Функциональные возможности и технические характеристики АПК «Профиль-М» (см. раздел 3 данной диссертации) соответствуют основным требованиям, приведенным в таблице 8 [33, 34, 38, 42]. Опыт эксплуатации АПК «Профиль-М» при создании ЦМП, электронных проектов и исполнительных съемок показал, что основные геометрические параметры полностью соответствуют нормативным требованиям (таблица 9).

Таблица 9 – Сравнительные данные по основным геометрическим параметрам сети железных дорог ОАО «РЖД»

Параметр	Нормативные требования (распоряжение ОАО «РЖД» № 75р от 18.01.2013 г.)	Фактическое значение, получено АПК «Профиль-М»
Радиус кривой	8 %	1 %
Несовпадения точке начала и конца переходных кривых по возвышению и кривизне	5 м	2 м
Длины переходных кривых, менее проектных	10 м	
Ширина колеи	(+5 – 3 мм)	2 мм
Величина горизонтальных неровностей в прямых участках длиной более 40 м	20 мм	10 мм

За время адаптации АПК «Профиль-М» (2013–2017 гг.) было выполнено более 3 000 км съемки железнодорожного пути при различных видах работ.

## 5.2 Этапы внедрения АПК «Профиль-М»

Рассмотрим в качестве примера результаты постановки пути в проектное положение на участке Тогучин – Курундус 2-й путь. Подготовка электронного проекта осуществлялась АПК «Профиль-М». На I этапе была создана цифровая модель пути (ЦМП), на II этапе с использованием проектных решений и традиционной технологической документации (эпюры рихтовок, продольный профиль, габариты приближения строений), создан электронный проект. Качество и достоверность электронного проекта проверено с использованием АПК «Профиль-М». Для этого проект экспортируется в АПК «Профиль-М», и с использованием специального комплекса при выполнении контрольных измерений оценивается качество проекта, после этого электронный проект передается на ЩОМ, РМ, ВПО, ЭЛБ (см. раздел 3 диссертации).

На участке работ (146–149 км) после выполнения балластировки пути ЭЛБ-4С составлены карточки кривых (см. приложение В), после выполнения отделочных работ с использованием ВПР-02 выполнена съемка АПК «Профиль-М», а также составлены карточки кривых (см. приложение В).

В таблице 10 приведены данные по оценке качества постановки пути в проектное положение с использованием координатных (цифровых) методов, реализованных САУ-3D ЭЛБ. Параметры кривых на участке модернизации Тогучин – Курундус, 2-й путь (км 127 – км 146), при использовании традиционных методов с разбивочными геодезическими работами после контрольного прохода путеизмерительной станции ЦНИИ-4 приведены в таблице 11.

Таблица 10 – 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 L1, м	Длина проектной переходной кривой L2, м	Начало кривой	Конец кривой	Радиус R, м	Длина кривой, м	Длина переходной кривой L1, м	Длина переходной кривой L2, м	Отклонение среднего радиуса круговой кривой, %		Длина переходной кривой L1 менее проектной на величину, м		Длина переходной кривой L2 менее проектной на величину, м	
												Норма, не более	Факт	Норма, не более	Факт	Норма, не более	Факт
148кмПк9 +75.89	149кмПк5 +86.47	980	610.58	110	110	148кмПк9+ 59.00	149кмПк5+ 89.00	986	630	117	112	8.00	0.61	10.00	+7 м	10.00	+2 м
150кмПк7 +88.11	151кмПк4 +26.40	970	638.29	140	140	150кмПк7+ 82.00	151кмПк4+ 27.00	983	645	144	138	8.00	1.34	10.00	+4 м	10.00	2.00
155кмПк0 +90.64	156кмПк0 +25.36	993	634.72	120	80	Отсутствие GSM-связи на перегоне											
156кмПк0 +64.64	156кмПк7 +96.79	800	732.15	80	115	Отсутствие GSM-связи на перегоне											
156кмПк9 +73.39	157кмПк7 +30.09	990	756.70	120	120	156кмПк9+ 64.00	157кмПк7+ 40.00	993	776	126	138	8.00	0.30	10.00	+6 м	10.00	+8 м
157кмПк9 +03.92	158кмПк3 +57.08	950	453.16	120	120	157кмПк8+ 97.00	158кмПк3+ 69.00	965	472	126	119	8.00	1.58	10.00	+6 м	10.00	1.00
158кмПк4 +73.51	158кмПк9 +80.81	901	507.30	120	120	158кмПк4+ 83.00	158кмПк9+ 66.00	900	483	124	110	8.00	0.11	10.00	+4 м	10.00	10.00

Таблица 11 – Параметры кривых на участке модернизации Тогучин – Курундус, 2 путь (км 127 – км 146)

ПРОЕКТ						Данные вагона-путеизмерителя ЦНИИ-4						Отклонения от проектных величин					
Начало кривой	Конец кривой	Радиус проектный R, м	Длина кривой	Длина проектной переходной кривой L1, м	Длина проектной переходной кривой L2, м	Начало кривой	Конец кривой	Радиус R, м	Длина кривой	L1	L2	Отклонение среднего радиуса круговой кривой, %		Длина переходной кривой L1 менее проектной на величину, м		Длина переходной кривой L2 менее проектной на величину, м	
												Норма, не более	Факт	Норма, не более	Факт	Норма, не более	Факт
127кмПк5+23.40	128кмПк1+22.38	985	599	120		127кмПк5+23.00	128кмПк1+33.00	981,00	599,00	133		8,00	0,41	10,00	+13м	10,00	0,00
128кмПк1+22.38	128кмПк2+18.22	790	96														
128кмПк2+18.22	129кмПк1+92.04	596	974		120	128кмПк1+33.00	129кмПк2+00.00	596	1076		97	8,00	0,00	10,00	0,00	10,00	23,00
129кмПк5+44.54	130кмПк5+64.97	1002	1020	135	135	129кмПк5+42.00	130кмПк5+77.00	1000	1037,6	151	149	8,00	0,20	10,00	+16 м	10,00	+14 м
132кмПк6+51.08	133кмПк1+13.22	950	462	90	90	132кмПк6+48.00	133кмПк1+31.00	931	482,95	113	123	8,00	2,00	10,00	+23 м	10,00	+33 м
134кмПк0+03.84	134кмПк4+72.79	1030	469	100	100	134кмПк0+01.00	134кмПк4+74.00	1030	484,4	111	115	8,00	0,00	10,00	+11 м	10,00	+15 м
136кмПк1+07.94	136кмПк8+46.38	1005	738	100	100	136кмПк1+02.00	136кмПк8+44.00	1002	741,9	115	94	8,00	0,30	10,00	+15 м	10,00	6,00
137кмПк6+63.25	138кмПк2+60.42	1010	597	70	30	137кмПк6+56.00	138кмПк1+99.00	543	1004	83		8,00	46,24	10,00	+13 м	10,00	
138кмПк2+60.42	138кмПк4+13.80	1900	153	30	30	138кмПк1+99.00	138кмПк3+78.00	179	1767			8,00	90,58	10,00		10,00	
138кмПк4+13.80	139кмПк0+40.18	1000	626	30	120	138кмПк3+78.00	139кмПк0+45.00	666	998		126	8,00	33,40	10,00		10,00	+6 м
138кмПк8+01.22	138кмПк9+76.01	20000	175	0	0				нет данных								
142кмПк1+16.76	142кмПк3+28.15	850	211	80	80	142кмПк1+08.00	142кмПк3+36.00	945	227,85	77	84	8,00	11,18	10,00	3,00	10,00	+4 м
143кмПк0+22.85	143кмПк3+13.96	960	291	90	90	143кмПк0+12.00	143кмПк3+17.00	954	304,29	109	100	8,00	0,63	10,00	+19 м	10,00	+10 м
145кмПк1+25.00	145кмПк2+17.79	10000	100	0	0	145кмПк1+46.00	145кмПк2+28.00	13978	81,98	14	30	8,00	39,78	10,00	+14 м	10,00	+30 м
145кмПк2+68.06	145кмПк3+67.72	10000	100	0	0	145кмПк2+39.00	145кмПк3+90.00	10483	150,7	42	51	8,00	4,83	10,00	+42 м	10,00	+51 м
145кмПк7+86.48	146кмПк2+41.32	2100	455	70	70	145кмПк7+71.00	146кмПк2+55.00	2079	474,27	96	82	8,00	1,00	10,00	+26 м	10,00	+12 м

Данные, приведенные в таблицах 10, 11, свидетельствуют, что использование цифровых технологий, включая ЦМП, электронный проект, САУ-3D, обеспечивает нормативные требования (распоряжение ОАО «РЖД» № 75р) в полном объеме с высоким качеством, при этом отклонения от проектных значений минимальные. При использовании традиционных технологий часть геометрических параметров не обеспечивается и не соответствует нормативным требованиям (распоряжение ОАО «РЖД» № 75р), что обуславливает необходимость дополнительных затрат на устранение недостатков и приведение параметров кривых к проектным значениям.

Контрольные измерения на других участках реконструкции (модернизации) показывают аналогичные результаты.

Таким образом, АПК «Профиль-М» обеспечивает нормативные требования не только при натурных съемках, а также при подготовке электронных проектов для САУ-3D (ГНСС) с использованием методики подготовки ЦМП.

Всего на разработку и поставку оборудования САУ на базе ГНСС ОАО «РЖД» было заключено 3 контракта:

– выполнение работ по контракту № Д-210/ЦДРП от 29.08.2014 г. на поставку и монтаж систем автоматизированного управления для ЭЛБ, ВПО, Duomatic и аппаратно-программных комплексов «Профиль».

Поставка аппаратно-программного комплекса «Профиль-М»: Западно-Сибирская, ПМС-22 (г. Омск).

Поставка системы автоматизированного управления: Западно-Сибирская, ПМС-22 (г. Омск); Западно-Сибирская, ОПМС-19 (г. Новосибирск);

– выполнение работ по контракту № 1636074 от 06.10.2015 г. В 2015 г. поставлено оборудование аппаратно-программного комплекса «Профиль-М»: путевая машинная станция № 11 (г. Чернышевск, Читинская область).

Поставлено оборудование системы автоматизированного управления ЭЛБ, ВПО: опытная путевая машинная станция № 19 (г. Новосибирск); путевая машинная станция № 20 (г. Новосибирск); путевая машинная станция № 177

(ст. Алтайская, Алтайский край); путевая машинная станция № 11 (г. Чернышевск, Читинская область); путевая машинная станция № 19 (г. Новосибирск);

– выполнение работ по контракту № 2112299 от 25.10.2016 г. на поставку и монтаж систем автоматизированного управления для ЭЛБ и аппаратно-программных комплексов «Профиль».

Поставка аппаратно-программного комплекса «Профиль-М»: Западно-Сибирская, ПМС-20 (г. Новосибирск); Восточно-Сибирская, ПМС-66 (г. Новосибирск); Забайкальская, ПМС-328 (г. Борзя).

Поставка системы автоматизированного управления ЭЛБ: Восточно-Сибирская, ПМС-66 (ст. Вихоревка); Забайкальская, ПМС-247(г. Борзя).

Всего оборудовано 15 машин на ЗСЖД, ВСЖД, ЗабЖД с поставкой АПК «Профиль-М» для создания электронных проектов и выполнения исполнительных съемок. Основные проблемы, которые решались на этапе апробации, заключались в сложности перехода на цифровые технологии, были обусловлены созданием электронных проектов, неготовностью проектных институтов к созданию в требуемых стандартах и формах электронных проектов.

*Геодезическое обеспечение эксплуатационной работы на железной дороге, выполняющееся с использованием АПК «Профиль-М», связано, в основном, с инструментальной проверкой плана и профиля станционных путей, а также с созданием масштабных планов и продольных профилей, ведомости путей и стрелочных переводов. Фрагмент плана и профиля приведен на рисунках 53, 54 [5, 13, 15, 19, 20, 40, 48].*

Работы выполняются в соответствии с нормативными документами [19, 20], которые определяют нормативные требования и методику выполнения работ, обработки данных и создания отчетных документов.

В 2015–2017 гг. инструментальная съемка станционных путей в плане и профиле выполнялась с использованием АПК «Профиль-М».

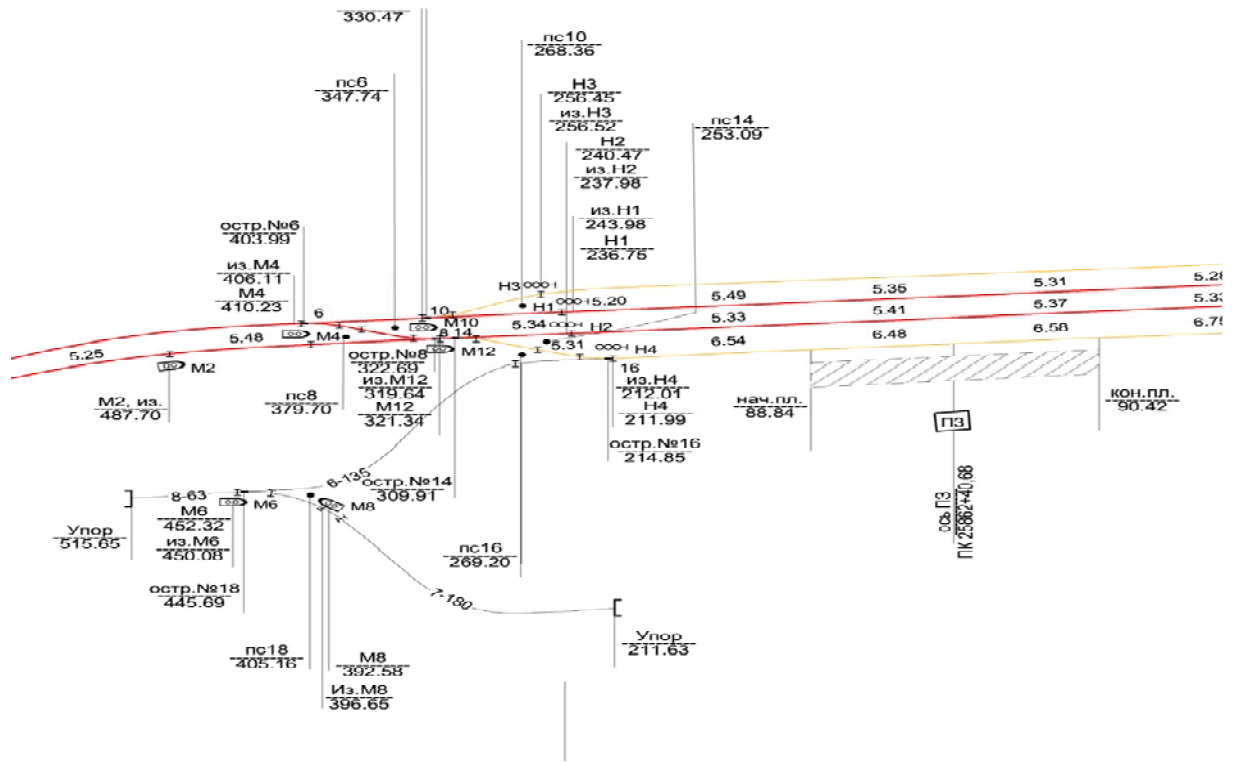


Рисунок 53 – Фрагмент плана станции

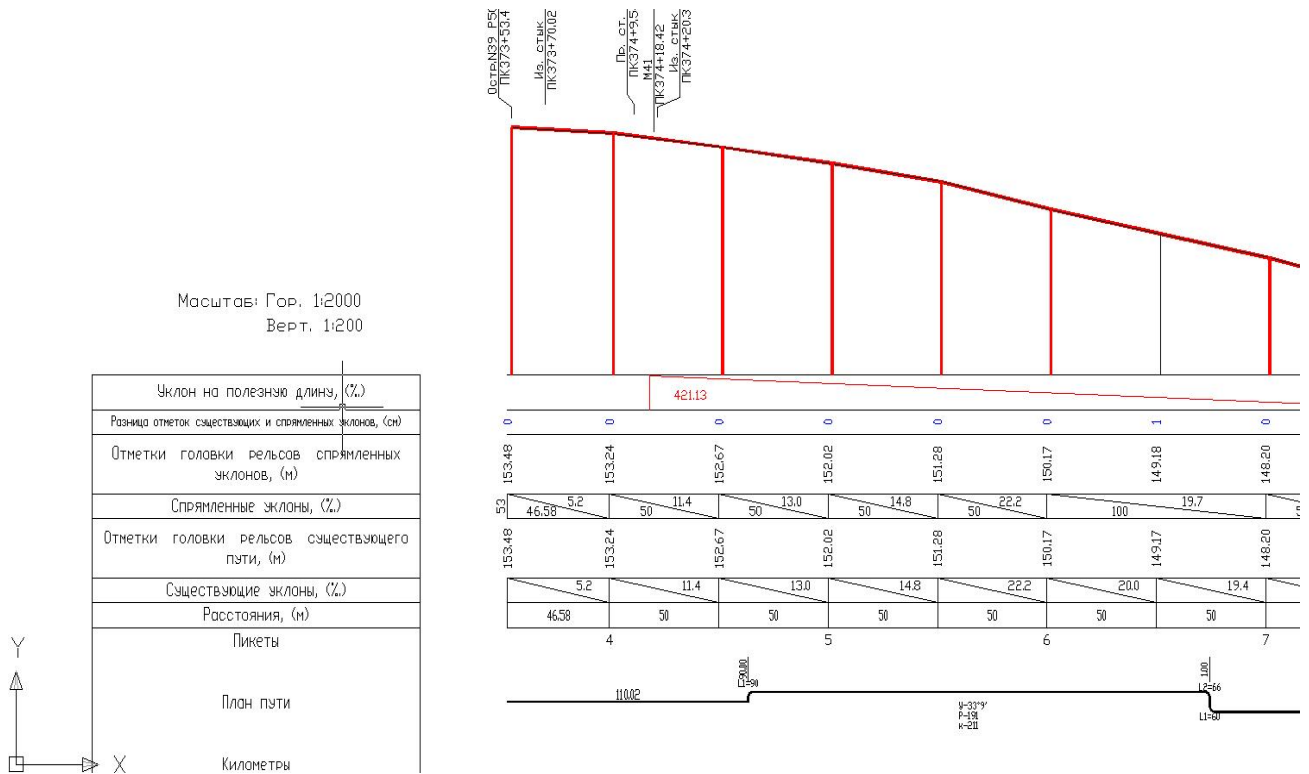


Рисунок 54 – Фрагмент продольного профиля станционного пути

Всего работ выполнено по трем контрактам:

– в 2015 г. – договор № 49-15 от 16 марта 2015 г. Работы по инструментальной проверке плана линий и продольного профиля железнодорожных путей станций. Работы выполнены по станции Кормиловка, Зубково, Дупленская, Новосибирск-Западный, Новосибирск-Южный, Сокур, Жеребцово, Черепаново, Абатур, Лесной, Бардино, Полосухино, Мыски, Кийзак, Бирюлинская, Зональный, Штабка, Тараданово, Сузун, Кемерово-Сортировочное, Забойщик, Новокузнецк-Восточный, Входная, Московка. Общая протяженность – 555,398 км;

– в 2016 г. договор № 1920366 от 29.04.2016 г. Работы по инструментальной проверке плана линий и продольного профиля железнодорожных путей выполнялись по станции Инская, Обь, Ояш, Юность, Проектная, Новокузнецк, Новокузнецк-Восточный, Томусинская, Цаплино, Ребриха, Кулунда, Среднесибирская дистанция пути – структурных подразделений Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры – структурного подразделения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД». Общая протяженность – 405,152 км;

– в 2017 г. договор № 2352264 от 28.03.2017 г. Работы по инструментальной проверке плана линий и продольного профиля железнодорожных путей выполнялись по станции Алтайская, Клещиха, Новокузнецк-Сортировочный. Общая протяженность – 300 км.

Производительность работ повысилась в четыре-шесть раз, себестоимость работ снизилась в три-четыре раза.

Перспективой исследований является внедрение АПК «Профиль-М» и методики геодезического обеспечения железных дорог при создании ЦМП и инструментальной проверке плана и профиля станционных путей на всей сети ОАО «РЖД».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования поставленная цель достигнута. Сформулированные задачи для реализации поставленной цели решены.

Итоги диссертационного исследования заключаются в следующем:

– выполнен анализ существующих автоматизированных средств геодезического обеспечения железных дорог с использованием цифровых технологий, который показал, что средства и методы, традиционно применяемые для геодезического обеспечения железных дорог, значительно уступают в производительности и функциональных возможностях специальным измерительным системам, созданным под конкретные стандарты и технические требования, на основании анализа сформулированы задачи диссертационного исследования;

– разработана автоматизированная система для определения геодезического пространственного положения и геометрических параметров рельсовой колеи, включающая двухантенный спутниковый приемник с синхронизацией измерений и конструктивными решениями, позволяющая выполнять измерения геопространственного положения оси пути. Данная разработка позволила отказаться при создании средств измерений от дорогостоящих инерциальных систем, требующих проведения периодического контроля за уходом оси гироскопа и другими линейными и угловыми датчиками;

– разработан программно-аппаратный комплекс для определения геопространственного положения и геометрических параметров рельсовой колеи на основе автоматизированной обработки данных измерений и создания отчетных документов в стандартах ОАО «РЖД», который обеспечивает высокий уровень автоматизации геодезических измерений и получения геометрических параметров рельсовой колеи на основе геопространственных данных, вместо традиционных относительных методов в стандартах ОАО «РЖД»;

– разработана методика создания цифровых моделей пути и электронных проектов строительства и ремонта железных дорог с использованием систем автоматизированного управления строительной техникой на базе ГНСС, позволяю-

щая минимизировать затраты на создание ЦМП и электронных проектов. В основу методики положена жесткая связь геопространственных данных и геометрических параметров рельсовой колеи в одной системе координат и возможность преобразовывать традиционные проекты на ремонт железных дорог в форматы 3D;

– аппаратно-программные средства и методика создания цифровых моделей и электронных проектов на базе ЦМП внедрены на сети дорог ОАО «РЖД» на ЗСЖД, ВСЖД, ЗабЖД, что подтверждено актами о внедрении. Объем выполненных работ при внедрении АПК «Профиль-М» в 2015–2016 гг. составил около 3 000 км, производительность труда повысилась в четыре-шесть раз по отношению к традиционным технологиям, в зависимости от сложности объекта ремонта. Доказано, что чем сложнее объект, тем выше эффективность. Результаты диссертационного исследования успешно применяются также в образовательном процессе ФГБОУ ВО «СГУПС» при преподавании дисциплины «Инженерная геодезия».

Результаты диссертационного исследования могут использоваться при строительстве, реконструкции и эксплуатации автомобильных дорог. Перспективы дальнейших исследований должны быть направлены на внедрение результатов исследований на всей сети железных дорог ОАО «РЖД», что является основной задачей на перспективу.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [Текст] : в 2 т. : монография / К. М. Антонович. – М. : Картгеоцентр, 2006. – Т. 2. – 360 с.
- 2 Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [Текст] : в 2 т. : монография / К. М. Антонович. – М. : Картгеоцентр, 2005. – Т. 1. – 334 с.
- 3 ВСН 208-89. Инженерно-геодезические изыскания железных и автомобильных дорог [Электронный ресурс] : ведомств. строит. нормы инженерно-геодез. изысканий железных и автомобильных дорог, утв. Минтрансстроем СССР 26 февр. 1990 г. № МО-116 // КонсультантПлюс.
- 4 Возможности практического применения GPS-технологий для контроля геометрических параметров рельсовой колеи [Текст] / В. В. Щербаков, А. В. Конкин, В. М. Жидов, И. Н. Шерстобитова // Вузы Сибири и Дальнего Востока Транссибу : материалы док. рег. науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2002. – С. 148–149.
- 5 Гольдман, В. И. Специальная реперная система [Текст] / В. И. Гольдман, Л. А. Сакович, И. Н. Ефремов // Путь и путевое хозяйство. – 2001. – № 6. – С. 12–16.
- 6 Гупалов, В. И. Инерциальные методы и средства определения параметров движения объектов и свойств рельсового пути [Текст] / В. И. Гупалов, А. В. Мочалов, А. М. Боронахин. – СПб. : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. – С. 144.
- 7 Дружинин, М. Ю. Технологические решения Leica Geosystems для строительства и эксплуатации железных дорог [Текст] / М. Ю. Дружинин // ГЕОПРОФИ. – 2006. – № 7. – С. 26–30.
- 8 Жидов, В. М. Обоснование комплексирования спутниковых и инерциальных измерений для съемки железнодорожных путей [Текст] / В. М. Жидов // Геодезия и картография. – 2010. – № 11. – С. 10–12.

9 Инструкция о порядке предоставления и использования «окон», предусмотренных в графике движения поездов для ремонтных и строительных работ на железных дорогах (ЦД/3532) [Текст]. – М. : Транспорт, 1978. – 34 с.

10 Инструкция по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности движения поездов (ЦП-515) [Текст]. – М. : Транспорт, 1999.

11 История железнодорожного транспорта России и Советского Союза [Текст] / под общ. ред. В. Е. Павлова, М. М. Уздина. – СПб., 1997. – 416 с. – Т. 2 : 1917-1945 гг.

12 Каменский, В. Б. Путевое хозяйство [Текст] / В. Б. Каменский // Большая энциклопедия транспорта, 2003. – Т. 4 : Железнодорожный транспорт. – С. 179–183.

13 Ковалева, О. В. Использование GPS геодезической точности для определения деформаций основания [Текст] / О. В. Ковалева // Инженерная геодезия и межпредметная интеграция в техническом вузе : сб. науч. тр. / СГУПС. Новосибирск, 2004. – С. 36–41.

14 Комплекс для определения параметров пути [Текст] / В. М. Круглов, В. В. Щербаков и др. // Путь и путевое хозяйство. – 2002. – № 2. – С. 5–7.

15 Коугия, В. А. Геоинформационные системы и технологии на железных дорогах [Текст] / В. А. Коугия, С. И. Матвеев, В. Я. Цветков. – М. : УМК МПС России, 2002. – 287 с.

16 Левин, Б. А. Геоинформационная система на железной дороге [Текст] / Б. А. Левин, В. А. Коугия, С. И. Матвеев // Геодезистъ. – 2002. – № 1. – С. 8–11.

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

18 Методические указания по составлению масштабных планов железнодорожных станций [Электронный ресурс] : ЦПТ 54/27 : утв. ОАО «РЖД» 17 дек. 2008 г. // КонсультантПлюс.

19 Методические указания по составлению продольных профилей железнодорожных станций и перегонов [Электронный ресурс] : ЦПТ-54/26 : утв. ОАО «РЖД» 17 дек. 2008 г. // КонсультантПлюс.

20 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 апр. 2015 г. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – Т. 2. – С. 119–124.

21 Пат. 2261302 Российская Федерация, RU, МПК7 E01B35/00 Способ определения пространственных параметров рельсового пути и устройство для его осуществления [Текст] / В. В. Щербаков, В. М. Круглов, И. И. Козятник, А. В. Демура. – № 2003111110/11; заявл. 17.04.2003 ; опубл. 20.10.2004, Бюл. № 27. – 6 с.

22 Пат. 149033 Российская Федерация, RUU 1МПК E 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. – № 2014120965 ; заявл. 23.05.2014 ; опубл. 24.09.2014, Бюл. № 15. – 7 с.

23 Пат. 151873 Российская Федерация. Устройство для спутниковой навигации подвижного объекта железнодорожного транспорта [Текст] / В. В. Щербаков, И. А. Бунцев, И. В. Щербаков. – № 2014134543 ; заяв. 22.08.2014 ; опубл. 26.03.2015, Бюл. № 11.– 7 с.

24 Пат. 147033 Российская Федерация, RUU 1МПК E 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 Щербаков В. В. – № 2014120965 ; заяв. 23.05.2014 ; опубл. 24.09.2014, Бюл. № 30. – 8 с.

25 Пат. 136048 Российская Федерация, RUU 1 МПК E 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 Щербаков В. В. – № 2013134278 ; заявл. 22.07.2013 ; опубл. 27.12.2013, Бюл. № 36. – 10 с.

26 Пат. 2628541 Российская Федерация, RUC 1 МПК В 61 К9/08Е 01В 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 Щербаков В. В. – № 2016106560 ; заявл. 24.02.2016 ; опубл. 18.08.2017, Бюл. № 23. – 7 с.

27 Пикалов, А. С. Выправка пути при реконструкции и ремонте железнодорожных путей с использованием ГИС-технологий и ГНСС [Текст] / А. С. Пикалов. – М. : Транспортное строительство. – 2012. – № 1. – С. 23–26.

28 Пикалов, А. С. Эффективность организации ремонта пути в режиме длительного закрытия перегона [Текст] / А. С. Пикалов, Д. В. Величко // Транспорт Урала. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС. – 2011. – № 4 (31). – С. 77–81.

29 Пикалов, А. С. Технология постановки пути в проектное положение при реконструкции верхнего строения пути с использованием ГЛОНАСС/GPS [Текст] / А. С. Пикалов, В. В. Щербаков // Гео-Сибирь-2009 : материалы V Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2009». – Новосибирск : СГГА. – 2009. – Т. 1. – С. 282–286.

30 Пикалов, А. С. Координатные методы контроля геометрии параметров и выправки пути на базе глобальных спутниковых навигационных и инерциальных систем [Текст] / А. С. Пикалов, В. В. Щербаков, В.М. Круглов // Вестник ПГУПС. – СПб. : ПГУПС. – 2010. – С. 70–73.

31 Положение о проведении реконструкции (модернизации) железнодорожного пути [Текст] / ОАО «РЖД». Департамент пути и сооружений. – М. : НИИТКД, 2009. – 46 с.

32 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации [Текст] : ЦРБ-756 / МПС РФ. – М. : Транспорт, 2002. – 189 с.

33 Нормы допускаемых скоростей движения подвижного состава на железнодорожных путях колеи 1520 (1524) мм федерального железнодорожного транс-

порта» [Текст] : приказ ОАО «РЖД» № 41 от 12.11.2001 г. – М. : Транспорт, 2001. – 125 с.

34 Путьевые работы и машины [Текст] / В. Г. Альбрехт, Л. М. Дановский, П. И. Колесников и др. – М. : Транспорт, 1969. – 270 с.

35 Прихода, А. Г. Автоматизированный способ определения координат геофизических пунктов [Текст] / А. Г. Прихода, В. В. Щербаков, Р. А. Байкалова. – Новосибирск, 1981. – 96с.

36 Разработка систем автоматизированного управления выправкой пути на базе ГНСС [Текст] / В. В.Щербаков, А. И. Пименов, И. В. Щербаков, О. В. Ковалева // Транспортное строительство. – 2015. – № 9. – С. 16–17.

37 Разработка систем автоматизированного управления выправкой пути на базе ГНСС [Текст] / В. В. Щербаков, И. А. Бунцев, И. В. Щербаков, О. В. Ковалева, 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 апр. 2015 г. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – Т. 2. – С. 113–118.

38 Реестр отдельных видов работ, выполняемых при реконструкции и ремонтах объектов железнодорожного пути [Текст] : распоряжение ОАО «РЖД» от 30.01.2009 г. №182р. – М. : НИИТКД, 2009. – 15 с.

39 Руководство по расчету точности геодезических работ в промышленном строительстве [Текст]. – М. : Недра, 1979. – 55 с.

40 Руководство по топографической съемке железнодорожных станций и узлов [Текст] : ГКИНП-02-147-81. – М. : ЦНИИС, 1982. – 88 с.

41 Справочник геодезиста [Текст] / под ред. В. Д. Большакова, Г. П. Левчука. – М. : Недра, 1985. – 443 с.

42 Справочник по железнодорожному строительству [Текст] / под ред. Б. И. Левина. – М. : Трансжелдориздат, 1958. – 736 с.

43 Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам [Текст] / под ред. В. Д. Большакова, Г. П. Левчука. – М. : Недра, 1980. – 782 с.

44 Стадников, В. В. Геоинформационные технологии на железной дороге [Текст] / В. В. Стадников, А. В. Воронин, А. А. Шпилевой // ARCREVIEW. Современные геоинформационные технологии. – 2003. – № 1[24]. – С. 8.

45 Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года [Электронный ресурс] : утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р // КонсультантПлюс

46 Технология, механизация и автоматизация путевых работ [Текст] / под ред. Э. В. Воробьева, К. Н. Дьякова. – М. : Транспорт, 1996. – 375 с.

47 Техническое руководство по использованию результатов измерений путеобследовательских станций ЦНИИ-4 в качестве предпроектной документации по ремонту железнодорожного пути и оценки соответствия отремонтированного пути проекту [Электронный ресурс] : ЦПТ-55/28 : утв. 18.12.2000 / ЦП МПС // КонсультантПлюс.

48 Технические указания по проверке плана и продольного профиля железнодорожного пути [Текст] : утв. МПС СССР в 1978 г. / МПС СССР. – М. : Транспорт, 1978. – 16 с.

49 Щибел, Г. Измерительный подвижной состав нового поколения [Электронный ресурс] / Г. Щибел // Железные дороги мира. 2002. – № 3. – Режим доступа : <http://www.css-rzd.ru/zdm/arc.htm>.

50 Ханиг, В. Путеизмерительный вагон EM250 [Электронный ресурс] / В. Ханиг // Железные дороги мира. – 2005. – № 8. – Режим доступа : <http://www.css-rzd.ru/zdm/arc.htm>.

51 Цыкунов, Ю. И. Эффективность выправочно-подбивочных машин [Текст] / Ю. И. Цыкунов, В. К. Орда // Путь и путевое хозяйство. – 2003. – № 2. – С. 26–28.

52 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 апр. 2014 г. – Новосибирск : СГГА, 2014. – Т. 2. – С. 87–92.

53 Щербаков, В. В. Развитие локальных реперных сетей для целей текущего содержания и ремонтов пути [Текст] / В. В. Щербаков, О. В. Ковалева // ГЕО-Сибирь-2006 : сб. материалов Междунар. науч. конгр., 25-29 апр. 2006 г. / СГГА. – Новосибирск, 2006. – С. 75–78.

54 Щербаков, В. В. Разработка координатного способа диагностики рельсовой колеи по геометрическим параметрам [Текст] / В. В. Щербаков, О. В. Ковалева // Вестник СГУПС. – 2006. – Вып. 14. – С. 215–218.

55 Щербаков, В. В. Спутниковые технологии на съёмке рельсовой колеи [Текст] / В. В. Щербаков, О. В. Ковалева // Транспортное строительство. – 2006. – № 10. – С. 16–18.

56 Щербаков, В. В. Автоматизация геодезического обеспечения строительства и ремонта железных и автомобильных работ [Текст] / В. В. Щербаков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017 : XIII Междунар. науч. конгр., Новосибирск, 17–21 апр. 2017 г. ; Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – Т. 1. – С. 39–42.

57 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.

58 Щербаков, В. В. Технология производства реконструкции и ремонтов пути абсолютными методами с применением глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS [Текст] : докл. на НТС «Путевое хозяйство» от 14.02.2010 г. / В. В. Щербаков, А. С. Пикалов. – М. : ОАО «РЖД», 2010.

59 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.

60 Щербаков, В. В. Цифровые модели пути – основа геодезического обеспечения проектирования, строительства (ремонта) и эксплуатации железных до-

рог [Текст] / В. В. Щербаков, О. В. Ковалева, И. В. Щербаков // Геодезия и картография. – 2016. – № 3. – С.12–16.

61 Щербаков, И. В. Геодезические методы определения геометрических параметров рельсовой колеи [Текст] / И. В. Щербаков // Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика : XLI Междунар. науч. конф., 3–4 апр. 2017 г., Алматы : сб. материалов. – Алматы : КазАТК, 2017. – С. 366–371.

62 Щербаков, И. В. Геодезические методы определения геометрических параметров рельсовой колеи [Текст] / И. В. Щербаков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017 : XIII Междунар. науч. конгр., Новосибирск, 17–21 апр. 2017 г. ; Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – Т. 1. – С. 17–23.

63 Blewitt, G. Carrier Phase Ambiguity Resolution for the Global Positioning System Applied to Geodetic Baselines up to 2000 km [Text] / G. Blewitt, W. G. Melbourne, W. I. Bertiger et al. J. of Geoph. Key – 1989. – Vol 94, No B8. – P. 10187–10203.

64 Classification des voies des lignes au point de vue de la maintenance de la voie [Text] // Union International des Chemist de far. – 714 с.

65 GPS World Receiver Survey [Text] // GPS World. – 2003a. – V14, № 1. – P. 34–51.

66 GPS World Antenna Survey [Text] // GPS World. – 2003b. – V14, № 2. – P. 36–43.

67 GPS World Receiver Survey [Text] // GPS World. – 2004. – V15, № 1. – P. 32–51.

68 Hofmann-Wellenhof, B. Global Positioning System. Theory and practice. Fifth, revised edition [Text] / B. Hofmann-Wellenhof. – New York: Springer. – 2001. – 384 p.

69 Koorn, N. A. Grundlage der Oberbauerhaltung bei den NS [Text] / N. A. Koorn // Eisenbahn-ingenier. – 1988. – № 9. – P. 455–460.

70 Langley, R. B. GPS Ambiguity Resolution and Validation: Methodologies, trends and issues [Electronic resource] / R. B. Langley, D. Kim. – Режим доступа : [http://gauss.gge.unb.ca/papers.pdf/gnss\\_2000\\_kim.pdf](http://gauss.gge.unb.ca/papers.pdf/gnss_2000_kim.pdf).

71 Marx, L. Измерение параметров пути с привязкой к системе глобального позиционирования [Текст] / L. Marx, В. Lichtberger // Железные дороги мира. – 2002. – № 7. – С. 58–59.

72 Leick, A. GPS Satellite Surveying [Text] / A. Leick. – New York : A Wiley-Interscience Publication, 1995. – 560 p.

73 Rizos, C. Principles and practice of GPS Surveying [Electronic resource] / C. Rizos. – Version 1.1, September 1999. – Режим доступа : [http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps\\_survey/](http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/).

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ «СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
РЕЛЬСОВОГО ПУТИ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2628541

**Способ определения пространственных координат и  
геометрических параметров рельсового пути и устройство  
для его осуществления**

Патентообладатели: **Щербаков Владимир Васильевич (RU), Бунцев  
Иван Александрович (RU), Щербаков Иван Владимирович  
(RU)**

Авторы: **Щербаков Владимир Васильевич (RU), Бунцев Иван  
Александрович (RU), Щербаков Иван Владимирович (RU)**

Заявка № 2016106560

Приоритет изобретения 24 февраля 2016 г.

Дата государственной регистрации в  
Государственном реестре изобретений


Российской Федерации 18 августа 2017 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 24 февраля 2036 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

### ТИПОВОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ПУТИ

По титулу «Создание цифровой модели пути и объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта»

1	Основания для выполнения работ	Наряд-заказ № _____
2	Цель и задачи проведения работ	<p>Целью работы является создание цифровой модели пути и объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта (ЦМП) на участок _____ - _____ железной дороги.</p> <p>Задачами проведения работ являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– проведение инженерно-геодезических и геологических изысканий с целью определения фактических значений геометрических параметров объектов железнодорожной инфраструктуры;</li> <li>– создание цифровой системы хранения, актуализации и анализа пространственных данных о проектном и фактическом положении и форме объектов железнодорожной инфраструктуры в виде цифровой модели пути (ЦМП), нормативно-технических требований и допусков, относящихся к геометрическим параметрам объектов инфраструктуры на заданный участок.</li> </ul>
3	Местоположение объектов	<p>Участок _____ железной дороги _____ – _____, включает ___ км пути, ___ станции: _____ площадью ___ га, а также следующие ИССО: _____.</p> <p>Данный участок находится на территории _____ области.</p>
4	Заказчик	ОАО КТЖ
5	Генеральная подрядная организация	ООО «Сибдорпроект».
6	Объемы работ	Участок Западно-Сибирской железной дороги ___ км – ___ км
7	Сроки выполнения работ	20__ – 20__ гг.
8	Виды и содержание работ, выполняемых Исполнителем	<p>8.1. Приведение проектных данных к цифровому виду и внутренним форматам ЦМП.</p> <p>8.2. Приведение нормативных требований и допусков, относящихся к геометрическим параметрам объектов инфраструктуры, к цифровому виду и внутренним форматам ЦМП.</p>

9

Требования к выполняемым работам

9.1 Файл проекта вырезки балласта (проекта выправки пути)

Таблица 1 – Проектные данные по вырезке балласта пути (выправки пути)

ПК(S) м	$X_{оси}, м$	$Y_{оси}, м$	$H_{лев}, м$	$H_{прав}, м$
Км, ПК, ПК+	10000.000	10000.000	100.000	100.000
1	...	...	...	...
2	10004.000	10002.000	100.050	100.070
....	...	...	...	...
N	...	...	...	...

где  $H_{лев}$  – высотные отметки уровня вырезки балласта по левой рельсовой нитке (проектные высотные отметки по левой рельсовой нитке);

$H_{прав}$  – высотные отметки уровня вырезки балласта по правой рельсовой нитке (проектные высотные отметки по правой рельсовой нитке);

$X_{оси}, Y_{оси}$  – координаты оси пути.

Система координат – местная система координат (МСК) с закрепленными на участке работ реперами (от 4 до 6 шт.). Реперы должны быть расположены таким образом, чтобы площадью образованной через них фигуры, охватывать участок работ (ж/д пути), см. рисунок ниже.

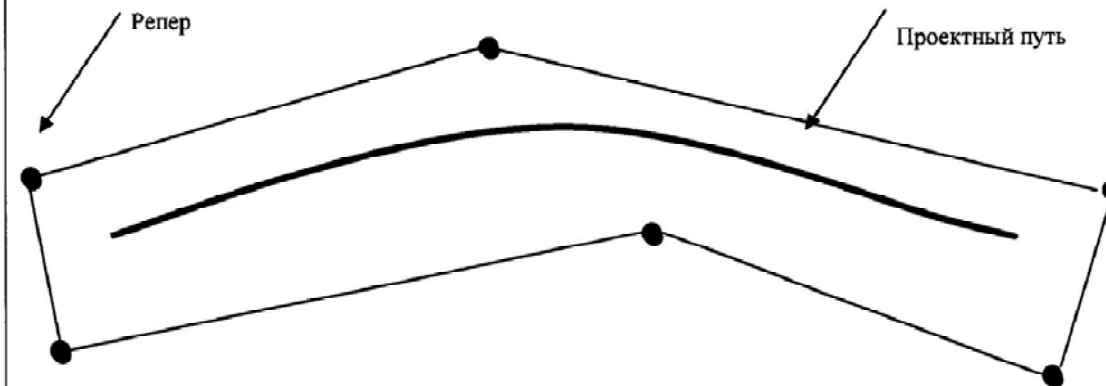


Рис. 1 – Схема расположение реперов вокруг участка работ

		<p>9.2. Файл междупутья (координаты соседнего пути)</p> <p>Таблица 2 – Координаты соседнего пути</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ПК(S), м</th> <th>X<sub>оси</sub>, м</th> <th>Y<sub>оси</sub>, м</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Км, ПК, ПК+</td> <td>10000.000</td> <td>10000.000</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>10004.000</td> <td>10002.000</td> </tr> <tr> <td>....</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> </tbody> </table> <p>9.3. Файл габаритов приближенных строений (координаты опор)</p> <p>Таблица 3 – Координаты опор</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Номер опоры</th> <th>X<sub>оси</sub>, м</th> <th>Y<sub>оси</sub>, м</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100</td> <td>10000.000</td> <td>10000.000</td> </tr> <tr> <td>102</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>102а</td> <td>10004.000</td> <td>10002.000</td> </tr> <tr> <td>104</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> </tbody> </table>	ПК(S), м	X <sub>оси</sub> , м	Y <sub>оси</sub> , м	Км, ПК, ПК+	10000.000	10000.000	1	...	...	2	10004.000	10002.000	....	...	...	N	...	...	Номер опоры	X <sub>оси</sub> , м	Y <sub>оси</sub> , м	100	10000.000	10000.000	102	...	...	102а	10004.000	10002.000	104	...	...	...	...	...
ПК(S), м	X <sub>оси</sub> , м	Y <sub>оси</sub> , м																																				
Км, ПК, ПК+	10000.000	10000.000																																				
1	...	...																																				
2	10004.000	10002.000																																				
....	...	...																																				
N	...	...																																				
Номер опоры	X <sub>оси</sub> , м	Y <sub>оси</sub> , м																																				
100	10000.000	10000.000																																				
102	...	...																																				
102а	10004.000	10002.000																																				
104	...	...																																				
...	...	...																																				
10	Требования к конечной продукции	<p>10.1. Используемые для координатной привязки данных ЦМП системы координат. Положение реперов определяется в двух системах координат: МСК и WGS-84</p> <p>10.2. Требования к создаваемой исполнительной документации определяются нормативными документами ОАО «РЖД».</p>																																				
11	Перечень материалов, передаваемых Заказчику	<p>11.1. Технический отчет о работах по созданию ЦМП на заданный участок железной дороги в бумажном и электронном виде.</p> <p>11.2. Цифровая модель геометрических параметров объектов железнодорожной инфраструктуры в электронном виде в согласованных с Заказчиком форматах (база данных ЦМП с сопровождающей ее эксплуатационно-технической документацией, согласованной по своему составу с Заказчиком).</p> <p>11.3. Исполнительные материалы в электронном виде в согласованном с Заказчиком формате по каждому виду съемочных работ, включая технический отчет, схему расположения пунктов съемочного обоснования, карточки закладки центров пунктов и внешнего оформления пунктов, каталог координат и высот пунктов съемочного обоснования, параметры связи используемых систем координат с государственной системой координат, формулы перевычисления координат для каждой из групп параметров связи, «сырые» данные измерений.</p>																																				

		<p>11.4. Обработанные материалы по каждому виду съемок, включая измерения, 3D модели, цифровые топографические планы перегонов в масштабе 1:1000, а для станций, мостов, сортировочных горок, пересечений железных дорог с автомобильными дорогами, переездов и т.д. – 1:500 в электронном виде в согласованных с Заказчиком форматах.</p> <p>11.5. Ведомость расхождений проектной и фактической геометрии инфраструктуры в координатной форме в электронном виде.</p>
12	Количество экземпляров отчетных материалов, передаваемых Заказчику	Отчетные материалы передаются Заказчику в бумажном виде в 4 (четыре) экземплярах, в электронном виде – в 1 (одном) экземпляре

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

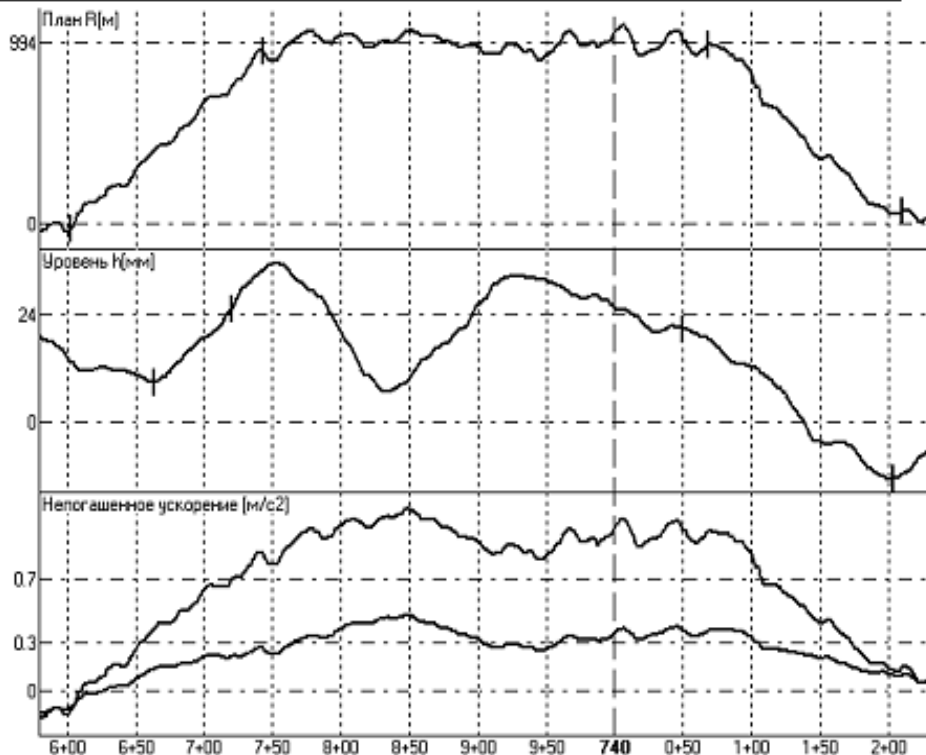
(обязательное)

## КАРТОЧКИ КРИВЫХ

## Карточка кривой ФП-5 после ЭЛБ

Проектные значения: ПК739608,31-ПК740210,03; R-990; γ-26,43; K-601,72; l<sub>γ</sub>-140; l<sub>γ</sub>-140.

ПС		Ведомость 15.07.2017				Поездка 15.07.2017				ПЧ: 25			
Участок Ларичиха-Молодежный		Направление				Путь: I				Км: 739-740			
Кривых левая	1	Характеристики кривой						1-я переходные			2-я		
	1	Начало		Конец		дл.	уг	Отвод		Отвод		дл.	
план	км	пк	км	пк	тах			ср.	дл.	тах	ср.		
уров.	739	6+02	740	2+10	608	26,72	0,75	0,34	140	0,96	0,43	142	
план-уров.	739	6+63	740	2+03	540		0,31	0,29	57	0,39	0,24	153	
пр.		Характеристики круговой кривой								осор.	пас.	грз.	
сл.		Начало		Конец		дл.	Радиус/уровень			V <sub>пз</sub>	120	80	
		км	пк	км	пк		min	тах	ср.	анп	ш	V <sub>кр</sub>	93
план	739	7+42	740	0+68	326	901	1104	994	1,14	0,32	V <sub>пр</sub>	140	
уров.	739	7+20	740	0+50	330	6	35	24	0,48		V <sub>из</sub>		
план-уров.		22		18	-4				8+46	1+14	V <sub>дп</sub>	90	60



Номеры	ПК	Проект		Факт		Разница	
		габарит	междупутье	габарит	междупутье	габарит	междупутье
739	739484.27	5.67	4.46	5.65	4.48	0.02	-0.02
741	739539.23	5.52	4.51	5.52	4.52	0.00	-0.01
743	739594.74	5.42	4.5	5.35	4.50	0.07	0.00
745	739639.86	5.62	4.42	5.58	4.44	0.04	-0.01
747	739686.73	5.37	4.51	5.35	4.54	0.03	-0.02
749	739741.14	5.42	4.58	5.38	4.59	0.04	-0.01
751	739795.84	5.54	4.55	5.56	4.57	-0.02	-0.02
753	739850.97	5.63	4.59	5.65	4.60	-0.02	-0.01
755	739905.57	5.69	4.66	5.70	4.67	0.00	-0.01
1	739960.07	5.79	4.7	5.76	4.72	0.03	-0.02
3	740014.75	5.67	4.69	5.65	4.70	0.02	-0.01
5	740069.27	3.1	4.69	3.13	4.70	-0.03	-0.01
7	740119.8	3.13	4.9	3.16	4.92	-0.03	-0.02
9	740159.73	3.07	5.16	3.05	5.18	0.02	-0.02
11	740215.81	3.16	5.42	3.14	5.42	0.02	0.00
13	740265.79	3.2	5.48	3.19	5.49	0.01	-0.01
15	740315.83	3.17	5.55	3.15	5.57	0.02	-0.02

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

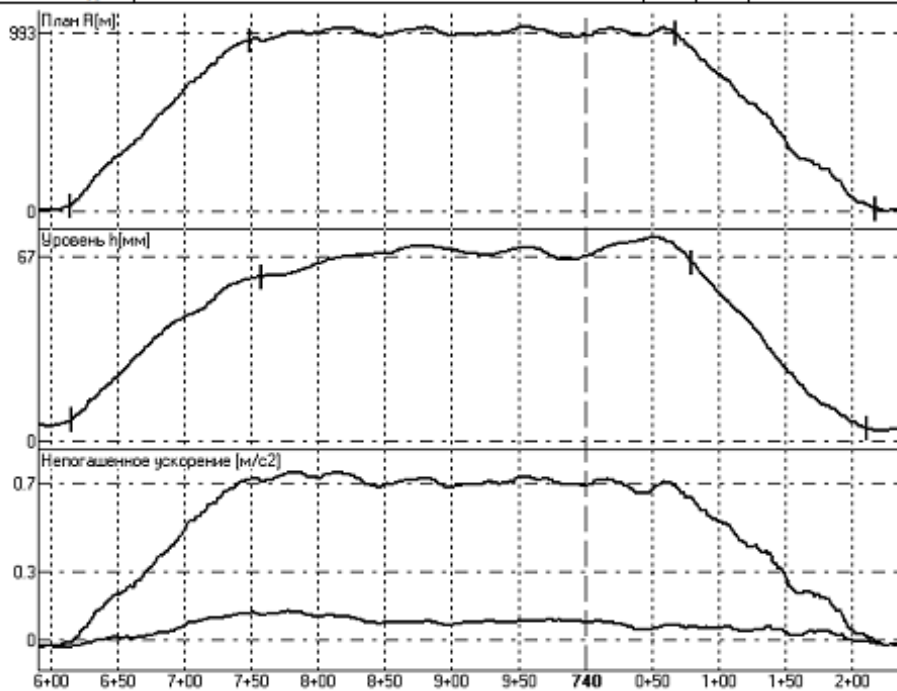
(обязательное)

КАРТОЧКА КРИВОЙ, ПОЛУЧЕННАЯ  
В ПРОЦЕССЕ ОПЕРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

## Карточка кривой ФП-5 после ввода в эксплуатацию

Проектные значения: ПК739608,31-ПК740210,03; R-990;  $\gamma$ -26,43; K-601,72;  $l_1$ -140;  $l_2$ -140.

ПС		Ведомость от 22.08.2017						Поездка: 16.08.2017			ПЧ: 26		
Участок: Ларичиха-Молодежный		Направление						Путь: I			Км: 730-741		
Кривых левая	4	Характеристики кривой						1-я переходные			2-я		
	4	Начало		Конец				Отвод			Отвод		
		км	пк	км	пк	дл.	уг	тах	ср.	дл.	тах	ср.	дл.
план		739	6+13	740	2+17	604	26,72	0,99	0,82	135	2,31	0,78	149
уров.		739	6+14	740	2+10	596		0,49	0,38	143	0,59	0,48	131
план-уров.			-1		7		8						
пр. 1.014 сл.		Характеристики круговой кривой						скор.			пас.		грз.
		Начало		Конец		Радиус/уровень					Vкр		Vкр
		км	пк	км	пк	дл	min	тах	ср.	анп	$\psi$	Vкр	115
план		739	7+48	740	0+68	320	961	1042	993	0,75	0,23	Vкр	140
уров.		739	7+57	740	0+79	322	59	73	67	0,13		Vкр	
план-уров.			-9		-11		-2			7+83	6+86	Vкр	115
												Vкр	90



Номеры	ПК	Проект		Факт		Разница	
		габарит	междупутье	габарит	междупутье	габарит	междупутье
739	739484.27	5.67	4.46	5.61	4.50	0.06	-0.04
741	739539.23	5.52	4.51	5.49	4.54	0.03	-0.03
743	739594.74	5.42	4.50	5.36	4.50	0.07	0.00
745	739639.86	5.62	4.42	5.56	4.44	0.07	-0.02
747	739686.73	5.37	4.51	5.34	4.51	0.03	0.00
749	739741.14	5.42	4.58	5.37	4.60	0.05	-0.01
751	739795.84	5.54	4.55	5.50	4.64	0.04	-0.09
753	739850.97	5.63	4.59	5.58	4.69	0.05	-0.10
755	739905.57	5.69	4.66	5.65	4.71	0.04	-0.05
1	739960.07	5.79	4.70	5.75	4.72	0.04	-0.02
3	740014.75	5.67	4.69	5.60	4.74	0.07	-0.05
5	740069.27	3.10	4.69	3.08	4.78	0.02	-0.09
7	740119.80	3.13	4.90	3.11	4.99	0.02	-0.08
9	740159.73	3.07	5.16	3.01	5.20	0.06	-0.04
11	740215.81	3.16	5.42	3.12	5.44	0.04	-0.02
13	740265.79	3.20	5.48	3.18	5.50	0.02	-0.02
15	740315.83	3.17	5.55	3.14	5.57	0.03	-0.02

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

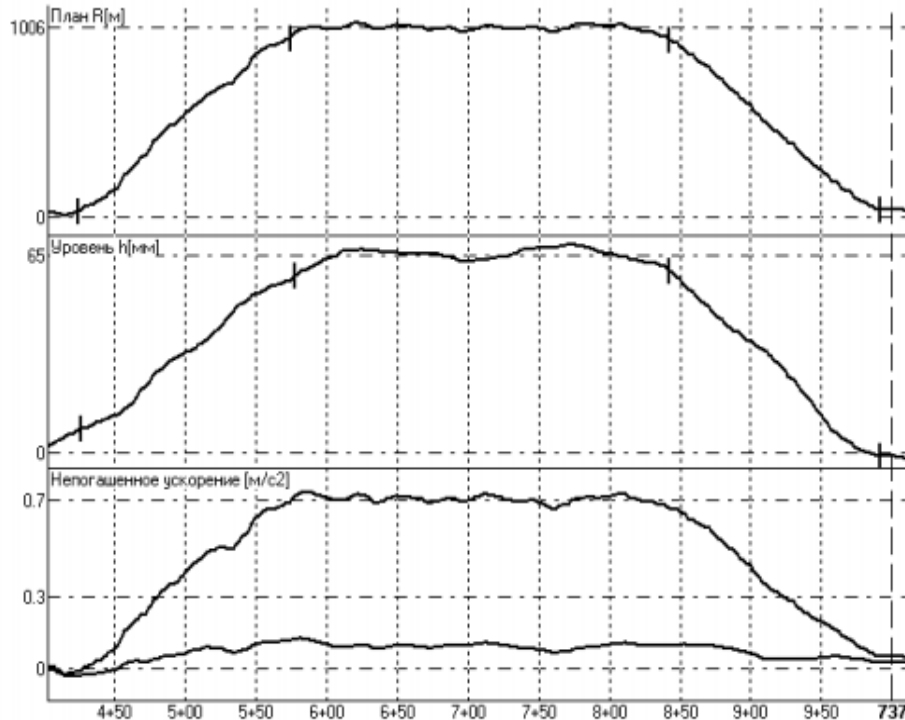
(обязательное)

КАРТОЧКА КРИВОЙ, ПОЛУЧЕННАЯ  
В ПРОЦЕССЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СЪЕМКИ АПК «ПРОФИЛЬ-М»

## Карточка кривой ФП-5

Проектные значения: ПК736425.77-ПК736990.64; R-1000;  $\gamma=23^{\circ}46'13''$ ; K-564.87; I<sub>1</sub>-150; I<sub>2</sub>-150.

ПС: Ведомость от 22.08.2017		Поездка: 16.08.2017				ПЧ: 26							
Участок: Ларичиха-Молодежная		Направление: Иргышское-Среднесибирск		Путь: I		Км: 730-741							
Кривых левая	3	Характеристики кривой					1-я переходные 2-я						
	1	Начало		Конiec			Отвод			Отвод			
		км	пк	км	пк	дл.	уг	тах	ср.	дл.	тах	ср.	дл.
план		736	4+24	736	9+91	567	23.69	1.19	0.81	150	1.08	0.76	149
уров.		736	4+26	736	9+91	565		0.45	0.37	151	0.56	0.44	149
план-уров.			-2		0	2							
пр. сл. 0.822	Характеристики круговой кривой								скор.	пас.	грз.		
	Начало		Конiec			Радиус/уровень			V <sub>пз</sub>	120	80		
	км	пк	км	пк	дл.	min	тах	ср.	анп	$\psi$	V <sub>кр</sub>	115	91
план	736	5+74	736	8+42	268	977	1069	1006	0.74	0.23	V <sub>пр</sub>	140	
уров.	736	5+77	736	8+42	265	58	68	65	0.12		V <sub>из</sub>		
план-уров.		-3		0	3				5+85	4+64	V <sub>дп</sub>	115	90



Неопоры	ПК	Проект		Имя		Разница	
		габарит	междупутье	габарит	междупутье	габарит	междупутье
623	736461.37	5.56	4.29	5.55	4.31	0.01	-0.02
625	736510.37	5.35	4.5	5.33	4.51	0.02	-0.01
627	736567.62	5.34	4.71	5.34	4.71	0	0
629	736624.39	5.22	4.77	5.24	4.77	-0.02	0
631	736681.31	5.24	4.87	5.24	4.87	0	0
633	736737.75	5.24	4.92	5.26	4.91	-0.02	0.01
635	736794.39	5.21	4.94	5.2	4.94	0.01	0
637	736850.81	5.21	4.77	5.19	4.78	0.02	-0.01
639A	736907.82	5.13	4.63	5.13	4.64	0	-0.01
641	736947.61	5.47	4.6	5.46	4.6	0.01	0