

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный государственный университет путей сообщения»

*Коломиец Виктор Степанович*

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРНО-  
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальность 2.9.2. «Железнодорожный путь,  
изыскание и проектирование железных дорог»

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
Член-корреспондент РААСН,  
доктор технических наук, профессор  
*КУДРЯВЦЕВ Сергей Анатольевич*

Хабаровск– 2025 г.

## Оглавление

|                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                                                                                                                                       | 4  |
| ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА ПРОЕКТИРОВАНИЯ<br>ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА.....                                                                                             | 10 |
| 1.1 Общие сведения о железных дорогах.....                                                                                                                                                          | 10 |
| 1.2 Классификация железных дорог.....                                                                                                                                                               | 11 |
| 1.3 Инженерно-геодезические изыскания при проектировании линейных<br>сооружений.....                                                                                                                | 13 |
| 1.4 Цифровая информационная модель местности.....                                                                                                                                                   | 24 |
| 1.4.1. Состав слоев ЦИММ.....                                                                                                                                                                       | 14 |
| 1.4.2. Цифровые модели рельефа.....                                                                                                                                                                 | 19 |
| 1.5 Традиционная технология съёмки железнодорожной инфраструктуры.<br>Порядок проведения инженерно-геодезических работ для составления проектов<br>ремонта пути железнодорожной инфраструктуры..... | 24 |
| 1.5.1. Создание планово-высотного обоснования на участке ремонта<br>пути.....                                                                                                                       | 24 |
| 1.5.2. Разбивка пикетажа.....                                                                                                                                                                       | 25 |
| 1.5.3. Съёмка верхнего строения пути.....                                                                                                                                                           | 26 |
| 1.5.4. Съёмка поперечных профилей и характерных элементов<br>рельефа.....                                                                                                                           | 27 |
| 1.5.5. Съёмка сооружений и пересечений.....                                                                                                                                                         | 29 |
| 1.6 Выводы по главе. Постановка цели и задач исследования.....                                                                                                                                      | 32 |
| ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ<br>МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА ПО ДАННЫМ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО<br>КАНИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ХАРАКТЕРНЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА И<br>ОЦЕНКИ ИХ КАЧЕСТВА.....                | 34 |
| 2.1 Технологии и методы съёмки местности.....                                                                                                                                                       | 34 |
| 2.2 Использование цифровой системы полевого кодирования.....                                                                                                                                        | 44 |
| 2.3 Реализация алгоритмов позиционирования элементов информационной<br>модели верхнего строения пути.....                                                                                           | 50 |
| 2.4 Выводы по главе .....                                                                                                                                                                           | 58 |
| ГЛАВА 3 ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ<br>ПОСТРОЕНИЯ ЦИММ.....                                                                                                                                 | 59 |
| 3.1 Автоматизированная обработки данных облаков точек с использованием<br>программного обеспечения КРЕДО 3D Scan.....                                                                               | 59 |
| 3.2 Автоматизированная обработка результатов топографической съёмки<br>с использованием программного обеспечения САПР ЖД.....                                                                       | 64 |

|                                                                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3 Требования к объему и точности данных съемки.....                                                                                                                                  | 69  |
| 3.3.1 Требования к объему и точности данных инженерных изысканий на этапе ОПР.....                                                                                                     | 70  |
| 3.3.2 Экспериментальное обоснование точности применяемых технологий съемки.....                                                                                                        | 71  |
| 3.3.3 Объем, точность данных съемки и требуемый стек технологий на этапе ОПР.....                                                                                                      | 78  |
| 3.3.4 Объем, точность данных съемки и требуемый стек технологий на этапе разработки проектной и рабочей документации.....                                                              | 80  |
| 3.4 Выбор технологий формирования ЦИММ/ЦИМС в зависимости от целей их дальнейшего использования.....                                                                                   | 82  |
| 3.4.1 Выбор технологии формирования ЦИММ/ЦИМС для целей ОПР..                                                                                                                          | 82  |
| 3.4.2 Выбор технологии формирования ЦИММ/ЦИМС для целей разработки проектной документации.....                                                                                         | 83  |
| 3.5 Выводы по главе .....                                                                                                                                                              | 89  |
| ГЛАВА 4 ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ ЦИММ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....                             |     |
| 4.1 Применение разработанной методики построения ЦИММ при реализации проекта «Реконструкция станции Ядрин Дальневосточной железной дороги».....                                        | 91  |
| 4.2 Методика и технология выполнения работ по формированию ЦИММ и ЦИМС.....                                                                                                            | 93  |
| 4.3 Расчет трудоемкости формирования информационной модели и эффекта от применения авторской методики формирования ЦИММ/ ЦИМС объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта..... | 105 |
| Выводы.....                                                                                                                                                                            | 110 |
| Приложение А.....                                                                                                                                                                      | 111 |
| Приложение В.....                                                                                                                                                                      | 147 |
| Список литературы.....                                                                                                                                                                 | 164 |

## **Введение.**

Проектирование железных дорог является трудоемким процессом, поскольку для разработки проекта требуется применение навыков и знаний широких областей технических наук. В современном мире железные дороги занимают лидирующие позиции в вопросе перемещения людей и грузов. Уровень требований к проектированию и строительству железных дорог, в том числе и срокам, постоянно повышаются с каждым годом. Железные дороги должны обеспечивать высокую безопасность и возводиться в максимально сжатые сроки. В России железнодорожному транспорту всегда уделялось повышенное внимание. Все возможные передовые технологии и научные разработки находили своё отражение в железнодорожной инфраструктуре. В этой связи создание технологий, направленных на повышение качества и сокращения сроков проектирования железных дорог, является актуальной задачей.

Для проектирования железных дорог необходима картографическая основа определенного масштаба. Её подготовка составляет основную составляющую в процессе проектирования с точки зрения трудозатрат. Имеющийся опыт проектирования и современные исследования в данной сфере подтверждают, что в настоящее время наиболее перспективным направлением получения координатной основы являются системы воздушного лазерного сканирования [4,5,7,10,13]. Однако их эффективное применение связано с решением ряда технических и организационных задач.

Основной вопрос состоит в создании цифровой модели рельефа (ЦМР), которая в наибольшей степени будет отвечать реальной ситуации и при этом будет содержать минимальное количество точек отображения геометрических характеристик характерных форм рельефа местности [20,25,73]. ЦМР является базой, на которой строится вся проектная документация строительства железной дороги, в том числе создание её продольных и поперечных профилей, а также подсчет объемов земляных работ.

Развитие трехмерного моделирования пространственных объектов стало возможным благодаря совершенствованию методов цифровой съемки местности, развитию программного обеспечения для обработки данных и собственно компьютерных аппаратных средств. Анализ трехмерных моделей позволяет оперативно получать высокоточную информацию.

Современное дистанционное исследование, благодаря развитию технических средств, способно обеспечивать различные научные и производственные комплексы достаточным набором данных об объектах местности, инженерных сооружениях и рельефе. Такие данные необходимы для решения разнообразных инженерных задач, а также для автоматизации при управлении территориями на основе трехмерного геоинформационного обеспечения. На сегодняшний день из всего многообразия новых технических средств особое место занимают лазерные съемочные системы, которые в виду их достоинств значительно расширяют возможности теории и практики

фототопографического метода сбора данных [4,5,10,17]. Главными качествами таких систем являются: избыточность данных и высокая степень детализации. Кроме этого, ключевое отличие лазерной съемки от остальных методов съёмки поверхности заключается в том, что в основу лазерного сканирования положен принцип измерения расстояний до точек объектов с помощью лазерного дальномера в безотражательном режиме, в результате чего все измерения являются практически равноточными во всем диапазоне работы дальномера, что в свою очередь, с учетом теоремы Котельникова-Шинона о восстановлении сигнала, позволяет сделать вывод, что материалы лазерного сканирования являются непрерывным набором данных и являются полными аналогами снимков[44,50,54].

Альтернативой лазерному сканированию для получения геодезической съемки является использование методов стереофотограмметрии [63,76,117]. При фотограмметрической обработке трехмерные координаты точек объектов определяют методом прямой засечки по стереопаре снимков, полученных с разных точек. Точность фотограмметрических определений значительно варьируется в зависимости от геометрии засечки (положения объекта относительно точек фотографирования), при этом качественное развитие систем глобального позиционирования ГЛОНАСС, GPS, Beidou и их аналогов, увеличение качества и разрешения мобильных средств фотофиксации в совокупности с развитием программных средств и методов обработки полученных с их помощью данных позволяют приблизить точность полученной съемки к более дорогим методам лазерного сканирования [65,69,70].

Учитывая специфику протяженных линейных объектов (трассы трубопроводов, автомобильные дороги, объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта) среди всех методов съемки получают преимущество методы, основанные на использовании беспилотных летательных аппаратах (БПЛА). Полученные в результате данные требуют использования специализированных методов их хранения, передачи, обработки и пространственного анализа, в первую очередь в связи с их большими объемами.

В настоящее время перед наукой стоит актуальная и значимая проблема - приведение в соответствие скорости и точности выполнения технологических операций дистанционного сканирования местности на протяженных территориях к требованиям различных отраслей экономики страны. Данную проблему целесообразно решить путем совершенствования теоретических и методологических основ используемых технологий съемки, что подчёркивает **актуальность** настоящей диссертационной работы.

#### **Степень изученности темы исследования.**

Изучению вопросов отображения земной поверхности с помощью дистанционных методов, в том числе лазерной локации, посвящены работы как отечественных ученых: А. В. Антипова, Е. С. Бойко, А. В. Григорьева, Ю. Н. Корнилова, Е. М. Медведева, С. Р. Мельникова, А. И. Науменко, В. И.

Павлова, В. А. Середовича, А. Л. Слепченко, А. А. Сухова, Е. Н. Черкесова, А. С. Ессина, Э. Т. Хамитова [62-79], так и зарубежных: Питера Аксельсона, Иммануэля Балцавиаса, Анджея Борковского и др. [2-13]. Вместе с тем, остались нерешенными вопросы минимизации точек лазерных отражений, участвующих в создании ЦМР для характерных форм рельефа местности, оценка качества полученных цифровых моделей рельефа, построенных по данным воздушного лазерного сканирования и ряд других вопросов.

Первые эксперименты по созданию цифровых моделей местности относятся к самым ранним этапам развития геоинформатики и автоматизированной картографии первой половины 1960-х гг. Впоследствии были разработаны методы и алгоритмы решения различных задач, созданы мощные программные средства моделирования, крупные национальные и глобальные массивы данных о рельефе, накоплен опыт решения с их помощью разнообразных научных и прикладных задач. Цифровые модели рельефа создаются на основе использования материалов наземных и аэрокосмических изысканий. Целесообразно использовать такие методы топографических съемок, которые обеспечивают получение информации о местности в электронном виде, что позволяет максимально автоматизировать процесс подготовки топографических планов и цифровых моделей местности.

В настоящее время популярность приобрел метод воздушного лазерного сканирования. Данные воздушного лазерного сканирования (ВЛС) - это облако точек лазерных отражений, которое используется для создания цифровых моделей рельефа [14]. По результатам ВЛС получают точки лазерных отражений (ТЛО), их плотность достигает 8-10 точек на 1 м. Даже после фильтрации остается огромное количество точек лазерных отражений, поэтому актуальным остается вопрос о «прореживании» плотности ТЛО. Совершенствование использования технологии ВЛС заключается в определении минимального количества точек лазерных отражений на 1 м для различного рельефа местности [15-20].

Лазерное сканирование является самостоятельным научным направлением, в основе которого положены достижения в области фотограмметрии, дистанционного зондирования и геодезии отечественных ученых Антипова И. Т., Гука А. П., Дробышева Ф. В., Дубиновского В. Б., Журкина И. Г., Карпика А. П., Ключина Е. Б., Лисицкого Д. В., Лобанова А. Н., Лысенко Ф. Ф., Михайлова А. П., Нехина С. С., Погорелова В. В., Пяткина В. П., Савиных В. П., Середовича В. А., Трубиной Л. К., Тюфлина Ю. С., Чекалина В. Ф., Чибуничева А. Г., Ямбаева Х. К. и зарубежных – Boehler W., Gruending L., Ingensand H., Lichti D., Milev I., Norton J., Rietdorf A., Riegl J., Ullrich A., Zlatanova S., Zamechikova M. и другие. Опубликованные научные работы в области лазерного сканирования можно характеризовать разрозненностью и отсутствием полноты исследований, что не отвечает требованиям системного подхода и не имеет общих теоретических и технологических основ. Значительная часть публикаций, связанных с лазерными сканерами, посвящена практическому опыту их применения на

линейных сооружениях. В публикациях представлены объекты съемки, вид получаемой продукции, используемые модели лазерных сканеров и программные продукты для обработки результатов сканирования применительно для железнодорожной инфраструктуры. Таким образом, в диссертационной работе представлено первое системное решение взаимосвязи между качеством и точностью воздушного лазерного сканирования железнодорожных путей и автоматическим определением объекта.

На основании вышеизложенного, с учетом отмеченных проблем, были сформулированы: объект и предмет исследования, цель и задачи работы.

**Объект исследования:** поверхности железнодорожной инфраструктуры.

**Предмет исследования:** трехмерное моделирование пространственных железнодорожных объектов с целью создания цифровой модели местности.

**Целью** диссертационной работы является разработка теории и технологии получения, обработки и оценки точности данных лазерного сканирования и аэрофотосъемки железнодорожной инфраструктуры для целей получения достоверной информационной модели с автоматическим определением объектов и соответствия классификатору.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Учитывая крайне сжатые сроки проектирования, практическое применение разрабатываемой методики имеет определяющее значение на реальных объектах железнодорожной инфраструктуры. Для практического применения необходимо разработать методику и провести испытания на реальном объекте проектирования.

Научная новизна работы.

Автором разработана технология и методика совмещения поверхностей, полученных разными средствами измерения железнодорожной инфраструктуры для целей создания ЦМР, как основы проектирования.

Результаты исследований.

Разработанная в результате исследований автора технология нашла своё применение на линейных объектах проектирования железнодорожной инфраструктуры.

Методология и методы исследования.

Методологической основой для решения задач является системный подход, включающий проведение цифрового моделирования. Моделирование проводилось на объектах инфраструктуры ОАО «РЖД» и отвечает всем предъявляемым к нему требованиям.

Положения, выносимые на защиту.

Учитывая необходимость обеспечения высокой точности измерений элементов железнодорожной инфраструктуры, а также острая потребность в ускорении процесса проектирования, набора данных, полученного одним способом измерений, недостаточно для получения достоверного результата. Для получения необходимых данных в заданных параметрах и с учетом

директивных сроков, установленных Заказчиком, целесообразно применить совмещение технологий измерений.

**Достоверность защищаемых положений.**

Достоверность обеспечивается использованием теоретических положений и принципов измерений разными методами (лазерное сканирование, фотограмметрия, геодезические измерения) и подтверждается достаточным объемом модельных, аналитических, опытных и натурных исследований, проведенных с использованием современных поверенных контрольно-измерительных приборов и оборудования с применением верифицированных программных продуктов.

**Личный вклад автора.**

Автором лично выполнены все основные исследования, включая постановку цели и задач работы, обоснование методик исследований, аналитические и полевые эксперименты, интерпретация и обобщение полученных результатов. Участие автора подтверждается практическим применением на объектах проектирования и публикациями по теме диссертации.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 4 научных трудах, в том числе 3 статьи в научных журналах, входящих в перечень ВАК по специальности 2.9.2 «Железнодорожный путь, изыскания и проектирование железных дорог» («Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона» в 2022, №3 (32). Методические аспекты цифровых моделей геологического строения линейных объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта методом обратного моделирования, в 2024, №2 (39). Современные тенденции нормативной базы информационного моделирования объектов железнодорожной инфраструктуры России и в 2025, №1 (42). Изыскания, проектирование и мониторинг железнодорожного пути и сооружений инновационными технологиями), а также в 7 выпуске сборника научных трудов «Проектирование развитие региональных железных дорог» под редакцией В.С. Шварцфельда в 2019 году (Методика использования лазерного сканирования в инженерно-геодезических изысканиях в целях применения на объектах железнодорожного транспорта).

**Структура и объем диссертации.**

Диссертация состоит из введения, 4 глав, основных выводов и двух приложений. Она имеет объем 175 страниц печатного текста, 51 рисунок, 18 таблиц. Список литературы включает 167 наименований, в том числе на иностранном языке.

Во введении обоснована актуальность проводимых исследований, сформулирована проблема, цель, задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, степень достоверности результатов и апробация работы.

В первой главе представлен обзор научных исследований и опыта проектирования железных дорог с использованием разного набора данных. Рассмотрены принципы формирования ЦМР как основы для проектирования.

Описана потребность разрабатываемой технологии для железнодорожной инфраструктуры.

Во второй главе произведена оценка различных вариантов проведения полевых и камеральных работ при проведении инженерных изысканий по критерию точности и информативности конечного результата, представляемого в виде технического отчета цифровой информационной модели, а также его трудоемкости. Проведено сравнение и выбор оптимальной технологий съемки местности, используемых для получения цифровых информационных моделей по результатам их камеральной обработки с выбором оптимального варианта. Определен перечень критериев, необходимых для оценки перспектив использования указанных технологий в целях повышения качества исходных данных. Описана система кодирования полевых данных для проектирования, алгоритмы позиционирования элементов информационной модели

Далее в третьей главе осуществлен выбор технологических методов формирования цифровых информационных моделей местности и ситуации в разрезе различных этапов жизненного цикла проектируемого объекта, описан выбор технических и программных средств, использование которых в рамках инженерных изысканий создаст предпосылки к повышению качества исходных данных для проектирования. Рассмотрены варианты оптимизации полученных данных.

В четвертой главе произведена успешная апробация и реализация разработанных методов и технологии формирования цифровой информационной модели по результатам инженерных геодезических изысканий на реальных объектах ОАО «РЖД». Разработана система оценки трудоемкости информационного моделирования, произведена оценка эффективности авторской методики формирования моделей, представлены доказательства целесообразности её применения в реальных условиях на объектах строительства железнодорожной инфраструктуры. Произведен анализ требований государственных и отраслевых классификаторов, даны предложения по их доработки в процессе формирования цифровых информационных моделей линейных объектов железнодорожной инфраструктуры.

# ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА

## 1.1. Общие сведения о железных дорогах

Железнодорожный транспорт в Российской Федерации является составной частью единой транспортной системы страны. Железнодорожный транспорт во взаимодействии с организациями других видов транспорта призван своевременно и качественно обеспечивать потребности физических лиц, юридических лиц и государства в перевозках, способствовать созданию условий для развития экономики и обеспечения единства экономического пространства на территории Российской Федерации.

Функционирование железнодорожного транспорта осуществляется, исходя из следующих принципов: устойчивость его работы; доступность, безопасность и качество оказываемых услуг; развитие конкуренции; согласованность функционирования единой транспортной системы.

Основное назначение железнодорожного транспорта – это транспортировка (перемещение) в вагонах по железнодорожному пути пассажиров, грузов, багажа (вещей пассажиров, принятых для перевозки) и грузобагажа (объектов, принятых от физических или юридических лиц для перевозки).

Железнодорожный транспорт подразделяется на:

- железнодорожный транспорт общего пользования — производственно-технологический комплекс, включающий в себя инфраструктуру железнодорожного транспорта, железнодорожный подвижной состав, другое имущество и предназначенный для обеспечения потребностей физических лиц, юридических лиц и государства в перевозках на условиях публичного договора, а также выполнения других работ (услуг), связанных с перевозками;
- железнодорожный транспорт необщего пользования — совокупность производственно-технологических комплексов, включающих в себя железнодорожные пути необщего пользования, здания, строения, сооружения, в отдельных случаях железнодорожный подвижной состав, а также другое имущество и предназначенный для обеспечения потребностей физических и юридических лиц в работах (услугах) в местах необщего пользования на основе договоров или для собственных нужд;
- технологический железнодорожный транспорт организаций, предназначенный для перемещения товаров на территориях указанных организаций и выполнения начально-конечных операций с подвижным составом для собственных нужд.

Инфраструктура железнодорожного транспорта общего пользования — это технологический комплекс, включающий в себя железнодорожные пути общего пользования и другие сооружения, железнодорожные станции, устройства электроснабжения, сети связи, системы сигнализации,

централизации и блокировки, информационные комплексы, систему управления движением и иные обеспечивающие функционирование этого комплекса здания, строения, сооружения, устройства и оборудование.

## **1.2. Классификация железных дорог**

Классификация железных дорог - система понятий и показателей, характеризующих железную дорогу по назначению, принадлежности, виду работ и функциональным возможностям; используется как средство установления связей между этими показателями и ориентации в них при проектировании, планировании развития и оценке результатов эксплуатационной деятельности [59,83,112].

Классификация железных дорог выполняется по различным признакам: административным (государственные общего пользования, ведомственные, частные), эксплуатационным (грузовые, пассажирские, пригородные, транзитные, промышленные, временные, тупиковые и т. п.), техническим (по ширине колеи — нормальной колеи и узкоколейные, по числу путей — однопутные, двухпутные и многопутные, по роду тяги — электрифицированные, с тепловозной и с паровой тягой) и т. д.

Классификация железных дорог по показателям мощности и надёжности, по которым определяются категории проектирования, является основой для разработки норм проектирования железных дорог. По мере развития техники и требований к ним классификация железных дорог должна устанавливать такие параметры и характеристики, которые позволяли бы, в зависимости от назначения линии и объёмов работы на ней, правильно выбирать типы и мощности её устройств на достаточно длительный срок.

В России первые попытки классификации железных дорог относятся к 1870, когда были введены технические условия проектирования и сооружения узкоколейных железных дорог. В 1892 были изданы первые положения по проектированию подъездных путей, а в 1899 утверждены технические условия проектирования и сооружения железных дорог первостепенного значения.

В СССР в 1922 Научно-технического комитет Народного комиссариата путей сообщения (НКПС) разработал классификацию железных дорог с делением на 4 категории по грузообороту и характеру движения с включением некоторых технических показателей (наибольший руководящий уклон). В 1927 этот же комитет создал новую классификацию железных дорог с делением дорог на 4 класса: магистрали усиленного типа (сверхмагистрали), нормальные магистрали, магистрали облегчённого типа, подъездные пути и ветви. Признаками, определяющими класс дороги, были грузооборот и ряд технических показателей (число путей, руководящий уклон, максимальная пропускная способность). Дальнейшая разработка классификации железных дорог велась различными организациями - Комитетом по реконструкции железнодорожного транспорта НКПС, Транспортной комиссией АН СССР, НИИ железнодорожного транспорта. До 1953 в этих классификациях железных дорог выделялись 2 категории железнодорожной линии под

различными наименованиями (магистральные и облегчённые, магистральные и местные, основные и облегчённые). В 1960 в новых технических условиях был принят более устойчивый признак классификации железных дорог – значение проектируемой линии в общей сети железных дорог. Этот признак был сохранён и развит в утверждённых в 1964 Госстроем СССР нормах проектирования, по которым железные дороги делятся на следующие категории: железные дороги промышленных предприятий, высокоскоростные железные дороги (до 160 км/ч). Железные дороги узкой колеи из этой классификации железных дорог были исключены и проектировались по самостоятельным нормативным документам. Такой принцип классификации железных дорог сохранился в основе в действующих нормах проектирования, которые устанавливают в качестве признаков: общее хозяйственное значение железной дороги, расчётную годовую грузонапряжённость нетто в грузовых направлениях на 5-й и 10-й годы эксплуатации, размеры движения пассажирских поездов на 5-й год эксплуатации и максимальные скорости движения поездов. По этим признакам (хотя бы по одному) железные дороги относятся к одной из 5 категорий: магистрали основных государственных связей, магистрали межрайонных связей, дороги местного значения, подъездные пути и соединительные пути на станциях. Кроме этих категорий имеют отдельные нормы проектирования внутризаводские пути и железные дороги узкой колеи (750 мм).

За рубежом классификация железных дорог отличается большим разнообразием используемых для этого принципов и признаков. В США, Японии, Германии, Франции, Великобритании, Италии железные дороги делятся на 2-3 класса в зависимости от интенсивности движения и скорости обращающихся поездов. Отдельно выделяются сверхскоростные магистрали (типа Синкансен, Нью-Токайдо, Париж-Лион, Рим-Милан), специализирующиеся на пассажирских перевозках, и узкоколейные железные дороги. В наиболее развитых зарубежных странах классификация железных дорог практически не разрабатывается, что объясняется сложившимся характером сети и отсутствием перспектив её развития в условиях острой конкуренции с автомобильным транспортом. В России и в странах СНГ, а также в некоторых развивающихся странах при установлении классификации железных дорог в основном ориентируются на научные разработки и принципы классификации железных дорог, которые были приняты в практике технического нормирования ещё во времена СССР.

### **1.3. Инженерно-геодезические изыскания при проектировании линейных сооружений**

Под инженерными изысканиями понимают комплексное изучение природных и экономических условий района будущего строительства. В результате инженерных изысканий получают материалы, необходимые для разработки экономически целесообразных и технически обоснованных решений при проектировании объектов народного хозяйства с учётом

рационального использования и охраны окружающей среды. На основе изысканий вырабатываются прогнозы изменений природной среды под воздействием строительства и эксплуатации предприятий и сооружений.

Изыскательские работы предшествуют проектным и подразделяются на инженерно-геодезические, экологические, инженерно-геологические, инженерно-гидрометеорологические изыскания и некоторые другие.

Под инженерно-геодезическими изысканиями понимают комплекс работ, обеспечивающих получение топографо-геодезических материалов (планов различных масштабов, профилей, сечений) для проектирования, строительства или реконструкции сооружений.

Инженерно-геодезические изыскания позволяют получить информацию о рельефе и ситуации местности и служат основой не только для проектирования, но и для проведения других видов изысканий и обследований. В процессе инженерно-геодезических изысканий выполняют работы по созданию геодезических плановых и высотных сетей, которые являются основой топографических съёмок разных масштабов, производят трассирование линейных сооружений, планово-высотную привязку геологических выработок, точек геофизической разведки и многие другие работы[47,91].

В зависимости от назначения и вида сооружений, площади изучаемого участка и стадии проектирования в состав инженерно-геодезических изысканий входят:

- изучение физико-географических и экономических условий участка;
- сбор и анализ имеющихся топографо-геодезических материалов на район строительства;
- построение или развитие опорных геодезических сетей 3 и 4 классов, геодезической сети сгущения 1 и 2 разрядов и нивелирной сети II - IV классов;
- создание планово-высотной съёмочной геодезической сети;
- топографическая съёмка в масштабах 1:5000; 1:2000; 1:1000; 1:500, включая съёмку сооружений и подземных коммуникаций, издание топографических материалов (в ряде случаев по заданию заказчика на участке застройки может выполняться топографическая съёмка масштаба 1:200);
- трассирование линейных сооружений;
- геодезическое обеспечение инженерно-геологических, гидрографических и др. видов изысканий;
- геодезические стационарные наблюдения за деформациями оснований зданий и сооружений, земной поверхности и толщи горных пород в районах развития опасных природных и техногенных процессов.

Если проектирование производится по технологии информационного моделирования, то в указанный перечень работ также включается построение цифровой информационной модели местности (далее - ЦИММ), содержащей все перечисленные выше данные. Состав ЦИММ, используемой при

проектировании объектов железнодорожной инфраструктуры подробно рассмотрен в п.1.4.

#### **1.4. Цифровая информационная модель местности (ЦИММ)**

##### **1.4.1. Состав слоев ЦИММ**

Согласно СП 333.1325800.2020, цифровая информационная модель местности, содержащая в себе данные, полученные при проведении инженерных изысканий местности, представляет собой набор отдельных файлов – слоев, соответствующих разделу технического отчета по результатам проведенных работ. Каждый файл, содержит в себе данные соответствующего раздела, представленные в графическом или атрибутивном виде.

Состав разделов технического отчета по результатам инженерных изысканий, а значит и состав ЦИММ, определяется техническим заданием, перечнем решаемых при проектировании задач, а также требованиями федеральных и отраслевых регламентирующих документов. В общем виде, для объектов железнодорожной инфраструктуры ЦИММ содержит слой геодезических, геологических, гидрометеорологических, экологических изысканий и проект полосы отвода. Соответствие слоев ЦИММ разделу технического отчета представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Состав ЦИММ

| <b>Раздел<br/>технического<br/>отчета</b> | <b>Наименование слоя цифровой<br/>информационной модели местности</b> | <b>Код ИМ</b> |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------|
| ИГДИ                                      | Инженерно-геодезические изыскания                                     | EGS           |
| ИГИ                                       | Инженерно-геологические изыскания                                     | GES           |
| ИГМИ                                      | Инженерно-гидрометеорологические<br>изыскания                         | ENS           |
| ИЭИ                                       | Инженерно-экологические изыскания                                     | EES           |
| ППО                                       | Проект полосы отвода                                                  | PPO           |

Далее рассмотрим каждый из описанных выше слоев ЦИММ.

Цифровая модель рельефа (далее - ЦМР) содержит в себе топографическую поверхность участка проектирования и расположенные на ней объекты природного происхождения (водные объекты, растительность, лесные массивы и т.д.). На рисунке представлен пример модели рельефа железнодорожной станции.



Рисунок 1 – Фрагмент цифровой модели рельефа железнодорожной станции.

Цифровая модель ситуации (далее - ЦМС) содержит в себе строительные конструкции, здания, сооружения, инженерные системы и сети, прочие объекты, находящиеся в границах участка проектирования, не включенные в состав ЦМР. На рисунке 2 представлен результат совмещения ЦМР и ЦМС железнодорожной станции.

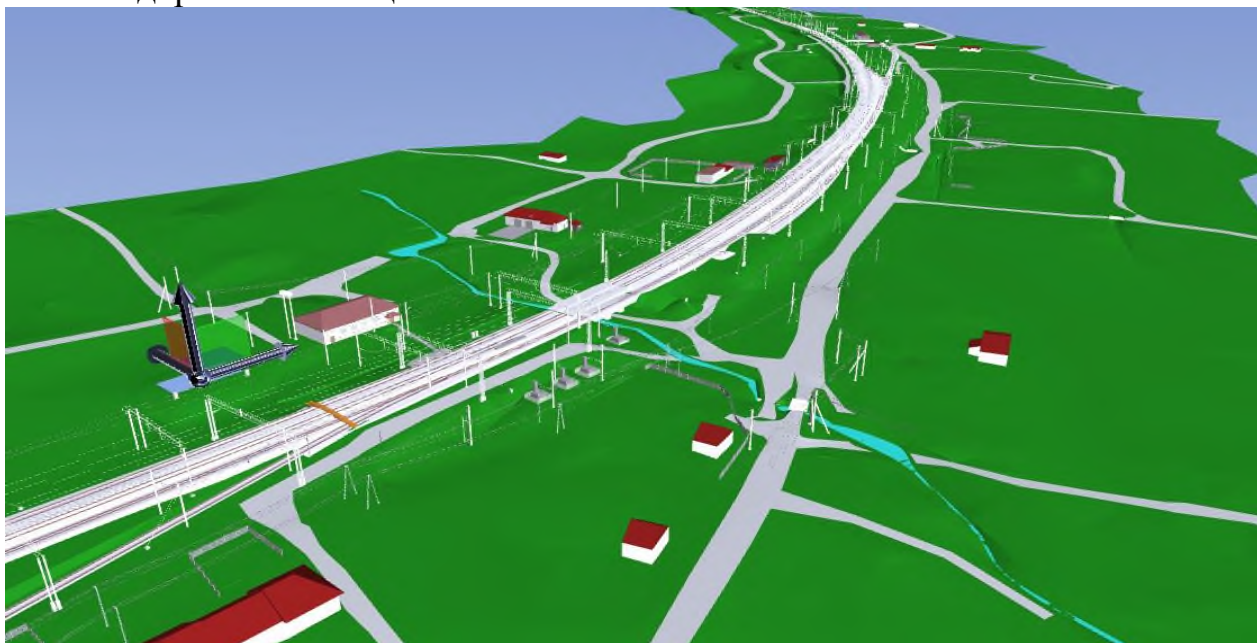


Рисунок 2 – Фрагмент совмещения ЦМР и ЦМС железнодорожной станции.

Цифровая модель геологии (далее - ЦМГ) содержит набор 3D тел, характеризующих геологические слои исследованного грунта. В модели представлены скважины, расположенные в местах отбора проб грунта с отмеченными границами геологических слоев. Границы соответствующих слоев объединены в триангуляционные поверхности (TIN-поверхности), между которыми сформированы объемные тела. Каждому объемному телу,

сопоставлен набор атрибутов, характеризующих физические и химические характеристики моделируемого геологического слоя, полученные в результате проведенных лабораторных исследований полученных проб. Фрагмент модели представлен на рисунке 3.

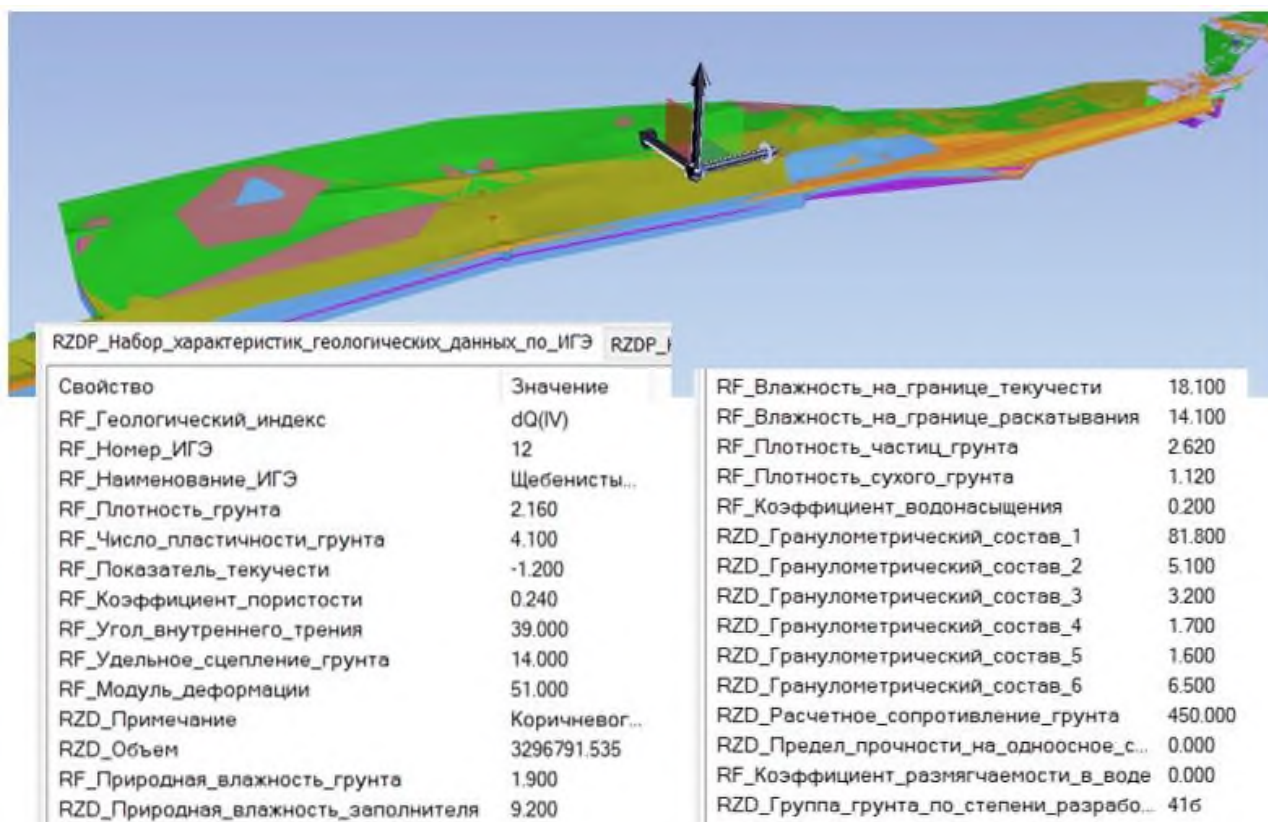


Рисунок 3 – Фрагмент цифровой модели геологии железнодорожной станции.

Цифровая модель гидрометеорологических изысканий (далее - ЦМ) представлена поверхностью, характеризующей расчетный уровень высокой воды. Показывает область возможного подтопления объектов инфраструктуры в трёхсотлетней перспективе. Поверхности назначены атрибуты со значениями выполненных гидрометеорологических расчетов. Фрагмент модели представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Фрагмент цифровой модели гидрометеорологических изысканий

Цифровая модель экологических изысканий (далее - ИЭИ).

Модель представлена набором поверхностей, обозначающих границы зон с особыми условиями использования территорий (далее - ЗОУИТ), а также объектами, обозначающих точки отбора проб для исследования химических показателей грунтов. Данные по результатам проведенных исследований назначены атрибутам элементов модели. На рисунке 5 представлен фрагмент цифровой модели экологических изысканий в непосредственной близости имеющегося на объекте проектирования водного объекта.

Цифровая модель полосы отвода (далее - ППО).

Координаты полосы отвода получены из Росреестра и перенесены на топографическую поверхность модели. По их контурам построены поверхности. Атрибутами заданы назначение каждого участка и его кадастровый номер. Всего на модели определены следующие категории земель: земли ОАО «РЖД», земли охотничьих угодий, земли культурного развития, земли муниципальных образований, автодороги, а также земли, государственная собственность на которые не разграничена.



Рисунок 5 – Фрагмент цифровой модели экологических изысканий

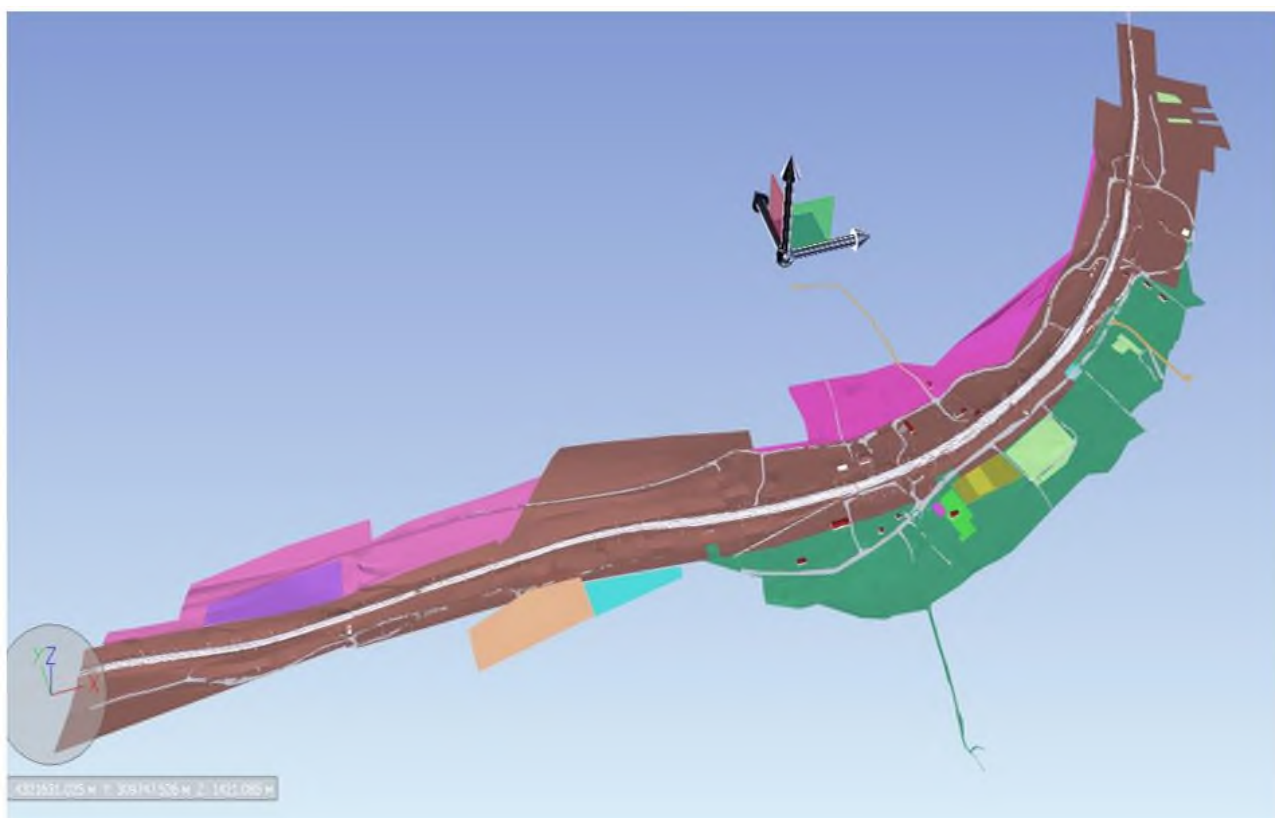


Рисунок 6 – Фрагмент цифровой модели полосы отвода

#### 1.4.2. Цифровые модели рельефа

Рельеф является одним из главных факторов, обуславливающих развитие различных природных процессов на поверхности Земли. Получение информации о рельефе традиционными методами всегда весьма трудоемко, часто предполагается построение ряда морфометрических карт по топографическим основам того или иного масштаба. Поэтому, в настоящее время, широко используют электронное представление рельефа, которое имеет векторное или растровое представление [17,53,66,114].

Цифровая модель рельефа (Digital Elevation Model) (DEM) – это трехмерное отображение земной поверхности, представленное в виде массива точек с определяемой высотой. Цифровая модель рельефа содержит информацию о высоте только истинного рельефа, без учета растительности, зданий и других антропогенных объектов.

Цифровые модели рельефа — это вид трехмерных математических моделей, содержащих информацию о высотных отметках земной поверхности.

В отличие от ЦМР, цифровые модели поверхности (далее - ЦМП) описывают все неровности земной поверхности, включая растительность и антропогенные объекты.

Источники исходной информации о рельефе: разнообразные данные, полученные путем геодезических работ, топографической съемке местности, стереофотограмметрической обработки аэро- и космических снимков, лазерной съемки и радиолокационной съемки.

В настоящее время ЦМР можно получить из двух видов источников: к первым относятся данные радарной съемки поверхности земли (стереофотограмметрической обработки аэро- и космических снимков, лазерной съемки и радиолокационной съемки), ко вторым видам источников относятся горизонтали топографических карт различного масштаба, которые можно использовать как исходные данные в различных методиках аппроксимаций для получения ЦМР [17,21].

На данный момент существуют различные методики получения ЦМР из горизонталей топографических карт, работающие с большими или меньшими ошибками. Горизонталю можно представить в виде набора точек с абсолютными высотами и использовать методы моделирования по точкам: метод Шепарда; кригинг; радиальные функции; средневзвешенная интерполяция и т. д. Однако при таком подходе теряется большое количество информации, заложенной в структуре горизонталей как геометрических объектов. Таким образом, для подобных данных должны разрабатываться собственные методы, учитывающие их особенности.

Для создания ЦМР по горизонталям можно выделить три наиболее часто употребляемых метода моделирования: на основе триангуляции, аналитических сплайнов, кусочно-полиномиального сглаживания. Все три метода имеют как преимущества, так и недостатки [52, 69, 117].

При использовании триангуляции получаются искажения поверхности на краях, отсюда следует, что нужно использовать информацию, представленную внутренними треугольниками.

Сплайн-интерполяция минимизирует кривизну поверхности. Считается, что для этой цели удобны и практичны бикубические функции.

Кусочно-полиномиальное сглаживание осуществляется, как видно из названия полиномами различной степени. Их «кусочность» заключается в том, что на каждый конкретный участок аппроксимации подбираются новые коэффициенты по новому набору данных. Разные куски поверхности построены при помощи разных полиномиальных функций. Поверхность, построенная таким образом, получается наиболее гладкой.

На основании опыта практического применения, современные исследователи Карпик А.П., Кулагин В.П., Никитин А. В.[81,91,106] и другие в качестве наиболее распространенных способов цифрового представления рельефа выделяют следующие виды:

- нерегулярной, так называемой TIN-модели (TIN – Triangulated Irregular Network), включающей некоторую совокупность точек с высотными отметками, по которым проведена триангуляция с учетом линий разрыва непрерывности.
- GRID-модель представляет собой регулярную матрицу значений высот, полученную при интерполяции исходных данных. Для каждой ячейки матрицы высота вычисляется на основе интерполяции. Фактически это сетка, размеры которой задаются в соответствии с требованиями точности конкретной решаемой задачи.
- векторных линий (горизонталей или иных изолиний с равным или неравным шагом); сети (матрица высот).

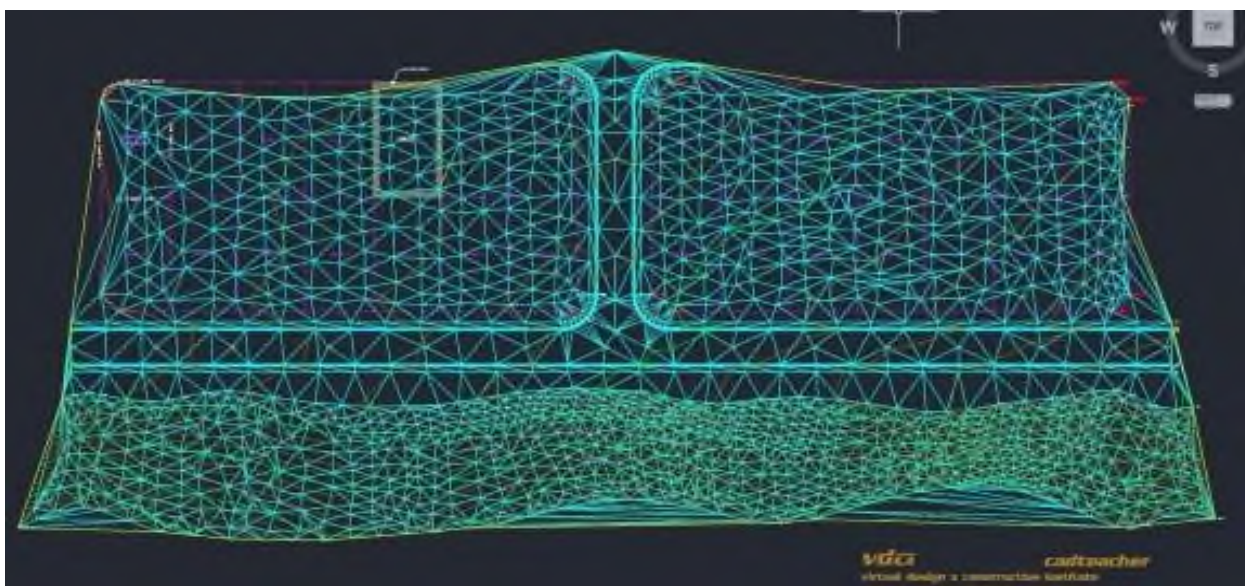


Рисунок 7 – поверхность TIN

## Преимущества

- Эффективное хранение данных;
- Переменный уровень детализации в зависимости от потребностей поверхности.

Одним из самых больших преимуществ поверхностей TIN является их эффективность в хранении данных. На поверхности TIN треугольники создаются только там, где существуют точки высот. В областях, где имеется ограниченное количество данных, поверхность TIN также будет иметь ограниченное количество треугольников. То же самое верно и в обратном направлении, где есть много информации о высоте, поверхность будет отражать эту деталь соответствующим образом.

## Недостатки

- Ручная работа, необходимая для «очистки» поверхности TIN

Основным недостатком поверхности TIN в гражданском строительстве является объём трудозатрат, которые необходимы для контроля качества конечного продукта (для каждого отдельно взятого элемента необходимо назначать свойства (семантику), прописывать характеристики и параметры).

Поскольку треугольники генерируются только на основе ближайших узлов высот, это может вызвать проблемы, если исходные данные высот включают множество различных объектов. Например, если точка съемки, представляющая верхнюю часть гидранта, находится рядом с точкой дороги, поверхность TIN соединит их и покажет неровность на дороге.

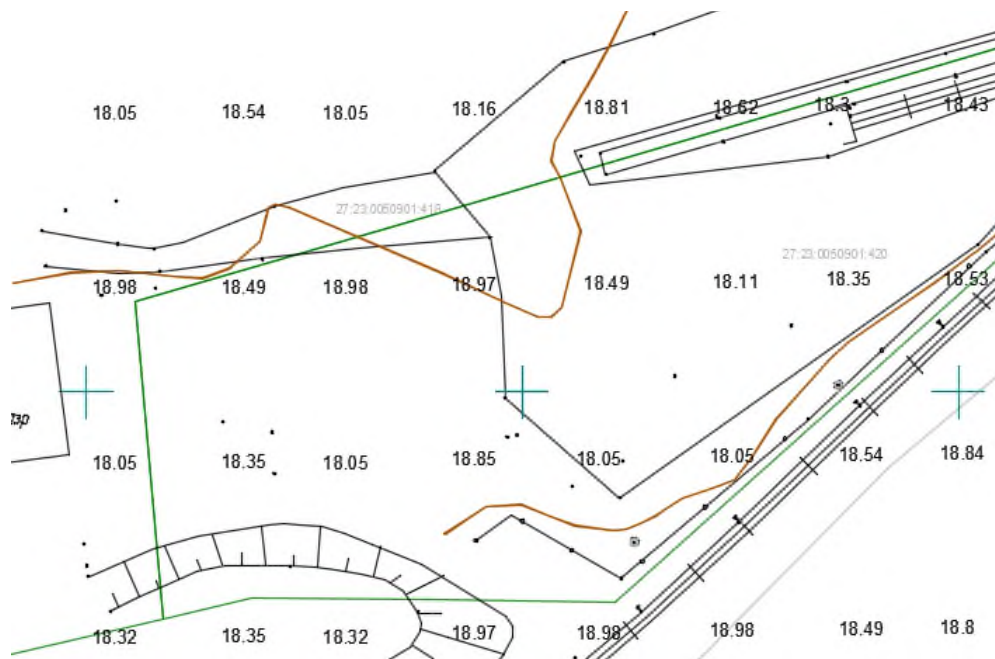


Рисунок 8 – поверхность GRID

### **Преимущества**

- Более гладкий и естественный вид.

Одним из самых больших преимуществ сетчатых поверхностей является возможность более гладкого и естественного вида поверхности местности. Это результат регулярного расстояния между точками сетки.

Однако это верно только в том случае, если разрешение исходных данных соответствует требованиям поверхности сетки. Это неприменимо, если исходные данные были фрагментарными или спорадическими по охвату, как это часто бывает при наземной съемке.

Поверхность сетки должна быть создана из исходных данных высот с разрешением, которое соответствует или превышает потребности поверхности сетки. Например, поверхность сетки с шагом 1 м, созданная из цифровой модели рельефа (ЦМР) с разрешением 0,5 м, будет приемлемой.

### **Недостатки**

- Неэффективное хранение данных;
- Не отражает переменную сложность рельефа.

Двумя самыми большими недостатками поверхности сетки являются статический размер хранилища и невозможность использовать размеры сетки для отражения различной сложности ландшафта.

Если бы поверхность сетки была создана с шагом 1 м, было бы невозможно отразить детали в объектах размером менее 1 м. Например, поверхность с сеткой размером 1 м не будет четко отображать перепад высот между верхом и низом бордюра или какие-либо другие внезапные изменения.



Рисунок 9 – поверхность Векторных линий

### **Преимущества**

- Широкая доступность исходных данных в виде топографических карт различного масштаба.

### **Недостатки**

- Малая информативность данных;
- Низкая точность отображения рельефа.

С целью соответствия требованиям к исходным данным для проектирования, границы максимальных отклонений результатов моделирования при создании ЦМР должны удовлетворять нормативным значениям точности, а именно, для топографического плана масштаба 1:1000 при высоте сечения 0,5 м средняя квадратическая погрешность не должна превышать 0,18 и 0,26 м (для лесных участков). А средние погрешности съемки рельефа не должны превышать 0,13 и 0,19 м (для лесных участков местности) [56,69,143].

Пример созданной по результатам аэрофотосъемки трёхмерной модели местности на отдельный участок территории приведён на рисунке.



Рисунок10 –Визуализация трёхмерной модели местности, построенной по данным авиационной съёмки

В зависимости от типа используемого геодезического оборудования и используемого для обработки полученных данных программного обеспечения, для представления ЦМР могут использоваться следующие форматы [107, 113]:

- ЦМР в виде TIN модели может быть предоставлена в форматах: Wave front OBJ, 3DS, VRML, COLLADA, Stanford PLY, STL models, Autodesk FBX, Autodesk DXF, Google Earth KMZ, U3D Universal 3D, Adobe PDF;
- Модель рельефа виде матрицы высот может быть предоставлена в форматах: Geo TIFF, Arc/Info ASCII Grid (ASC), Band inter lieved (BIL), XYZ или в виде файлов в формате Sputnik KMZ;
- Горизонталы (изогипсы) предоставляются в форматах: Autodesk DXF, Shape file SHP, Google KML нерегулярной сетки.

### **1.5. Традиционная технология съёмки железнодорожной инфраструктуры. Порядок проведения инженерно-геодезических работ для составления проектов ремонта пути железнодорожной инфраструктуры**

Согласно сложившейся практике, традиционная технология производства инженерно – геодезических изысканий для составления проектов ремонта пути железнодорожной инфраструктуры включает ряд определенных операций [52,81]:

1. Создание планово - высотного обоснования на участке ремонта пути;
2. Разбивка пикетажа;
3. Съёмка верхнего строения пути;
4. Съёмка поперечных профилей и характерных элементов рельефа;
5. Съёмка искусственных сооружений и пересечений.

Далее приведено более подробное описание указанных операций.

#### **1.5.1. Создание планово-высотного обоснования на участке ремонта пути**

Перед непосредственно геодезическими работами, проводится комплекс работ по рекогносцировке местности. Определяются и обследуются исходные пункты, намечаются точки сгущения таким образом, чтобы они обеспечивали необходимое качество и удобство работы. Исходными пунктами служат, как правило, в соответствии с СП 47.13330, пункты государственной геодезической сети. Координаты и описание расположения пунктов хранятся в единой информационной базе Росреестра и выдаются в соответствии с запросом.

Пункты сети развития (сгущения) размещаются вдоль линейного объекта таким образом, чтобы обеспечить удобство выполнения

топографических работ с использованием этих пунктов. Так вдоль железнодорожной линии пункты сети сгущения размещаются за пределами габарита приближения строений с расстоянием, определённым в программе работ.

### **1.5.2. Разбивка пикетажа**

При разбивке пикетажа восстанавливают пикетаж последней проверки продольного профиля пути. Разбивку начинают с привязки к пикетажным значениям постоянных сооружений (мостов, труб, пассажирских зданий, постов ЭЦ и так далее) На двухпутных участках пути при ремонте одного пути пикетаж разбивается по оси пути, подлежащего ремонту. При ремонте двухпутных участков разбивка пикетажа производится по оси пути, по которому разбивался пикетаж при проверке продольного профиля, с переносом пикетов и плюсов на второй путь.

При расположении путей на общем земляном полотне пикетаж по главным путям должен быть единым. В местах расположения путей на раздельном земляном полотне пикетаж разбивается по каждому из ремонтируемых путей с последующим переходом к единому пикетажу, устройством неправильного полевого пикета (километра). При разбивке пикетажа в кривых разница в длине путей отражается камеральными неправильными пикетами, условно расставленными на небазисном пути не более одного на каждую кривую.

Продольное измерение производится аналитическим способом, после получения геометрической модели (координат точек оси) железнодорожного пути. Ось пути определяются в прямых участках пути с шагом не менее 50 м и в кривых не менее 20 м. Устройство неправильных пикетов при расхождении с данными проверки продольного профиля согласовывается с техническим отделом службы пути с представлением соответствующего обоснования. Неправильный (резаный) пикет должен размещаться на прямых участках с минимальным (равномерным) уклоном продольного профиля перед искусственными сооружениями и раздельными пунктами, но не ближе 500 м от входной стрелки.

Закрепление пикетажа производится светлой несмываемой краской на шейке левого по ходу пикетажа рельса с внутренней стороны колеи. Полностью указываются пикеты, кратные десяти, на остальных пишут последнюю цифру; на плюсовых точках надписываются только значение плюса.

Разбитый и закрепленный пикетаж передается заказчику по акту.

Кривые участки пути разбивают через 20 м с нанесением меток на наружном рельсе. Разбивку кривой начинают и заканчивают на прямой в 40-60 м от визуального начала и конца кривой. При длине прямой вставки между кривыми менее 100 м разбивку ведут непрерывно.

При разбивке пикетажа ведется пикетажный журнал, в котором указываются:

- оси искусственных сооружений, передние и задние грани кордонных камней, начало и конец контррельсов, пролетных строений с указанием рода сооружений и их отверстий;
- створы постоянных путевых и пассажирских зданий;
- начало и конец платформ, их характеристика, расстояния между фундаментными опорами, расстояние от оси пути до края платформы;
- начало и конец кривых участков пути, направление поворота;
- края настилов пересечения дорог, характеристика переездов;
- оси пересечения линий электропередачи и связи, кабелей, трубопроводов и др.;
- стыки рамных рельсов, начало остряков, хвост крестовины, характеристики стрелочных переводов;
- светофоры, семафоры, изолирующие стыки, предельные столбики, километровые и пикетные знаки, прочие постоянные путевые знаки;
- места установки рельсосмазывателей, приборов обнаружения нагрева букс и др.;
- переходы с одних типов рельсов, шпал, видов балласта на другие;
- опоры контактной сети с указанием номеров и типов, фундаменты оттяжек, изолирующие сопряжения контактной сети;
- водоотводные и видимые дренажные и противодеформационные сооружения, места застоя воды, наличие растительности.

В журнале зарисовывается общая ситуация основных сооружений и обустройств в пределах полосы отвода, а также в соответствии с техническим заданием и материалами обследования.

### **1.5.3. Съемка верхнего строения пути**

Съемку плана линии выполняют на кривых и прямых участках пути. На прямых участках пути съемка плана производится в местах, где может возникнуть необходимость смещения оси пути в пределах платформ, в местах негабаритных междупутий, в местах увеличения радиуса круговой и длин переходных кривых за счет сдвижек прилегающих прямых участков пути, в местах локальных горизонтальных отклонений от кривой и иных местах, требующих детального обследования в соответствии с техническим заданием заказчика.

Базисные точки теодолитного, тахеометрического, ГНСС, нивелирного ходов необходимо закладывать вне зоны работы путевых машин и закреплять на местности. Положение точек увязывается с пикетажем и заносится в ведомость базисных точек хода. При наличии государственной геодезической сети или рабочей реперной сети ход увязывается с ней. Целью закрепления

точек хода является определение положения оси пути при смене рельсо-шпальной решетки.

При съемке кривых традиционным способом с использованием геодезических приборов (тахеометров и ГНСС приемников) используется координатный метод, обеспечивающий требуемую точность в соответствии с СП 317.1325800 п.5.

Невязка высотных измерений в мм, согласно нормам технического нивелирования, допускается не более  $\pm 50 \sqrt{L}$ , а на станциях  $\pm 30 \sqrt{L}$ , где  $L$  — длина хода нивелирования, км. Допускаемая невязка распределяется равномерно по всему ходу. Увязку и вычисление отметок реперов производят по средним превышениям. Расхождения между значениями превышений на станции не должны превышать 5 мм.

Нивелирные ходы увязывают между постоянными реперами или марками. Закладываемые реперы обязательно включаются в нивелирный ход.

Нивелирование на прямых участках пути производится по головке рельса, по которому разбит пикетаж; на кривых участках пути — по головке внутреннего рельса с одновременным замером возвышения наружного рельса.

Нивелированию подлежат все сечения пути, расположенные у реперов, пикетов, «плюсовых точках» (места визуально определимых точек переломов профиля, оси переездов, оси малых искусственных сооружений, головки рельсов под путепроводами, пешеходными мостами, воздушными пересечениями), а также головки рельсов и верх платформ, прилегающих к главному и смежным путям (начало, конец, на пикетах, в местах их деформаций, но не менее трех точек на платформу); головки рельсов смежных путей на пикетах, остряк и крестовина стрелочных переводов. При крутых уклонах, резких переломах профиля и на подходах к большим и средним мостам нивелирование проводится через 20 м на протяжении 100 м от точки перелома. На средних и больших мостах нивелируются головки рельсов в начале, середине и конце пролетных строений; верх бортов балластного корыта железобетонных пролетных строений, верх кордонов на обоих устоях всех мостов; оголовки трубы лотки по входу и выходу. При нивелировании головок рельсов отсчеты должны быть сняты по двум сторонам реек.

При перерыве в работе нивелирование заканчивается на постоянном или временном репере и производится подсчет отметок с обязательным постраничным контролем.

#### **1.5.4. Съемка поперечных профилей и характерных элементов рельефа**

Поперечные профили снимаются на пикетах, а также в следующих местах:

- с недостаточной шириной основной площадки земляного полотна;
- с деформированными откосами и водоотводами в нерабочем состоянии;
- разбивки геологических поперечников;
- по осям труб и задним граням устоев мостов;
- по осям мостов с ездой на балласте;
- под путепроводами;
- при переходах из насыпи в выемку;
- и иных местах, согласно заданию и программы на производство работ.

Дополнительные поперечники для разработки проектов капитального ремонта земляного полотна и переустройства водоотводов устанавливаются индивидуально.

Разбивку поперечников производят перпендикулярно к оси пути, в кривых – к хорде, середина которой проходит через снимаемый поперечник. Длину поперечника в каждую сторону от оси пути устанавливают так, чтобы последняя точка на поперечнике стояла не менее 10 м от подошвы насыпи или бровки выемки.

При ремонте земляного полотна длина поперечного профиля определяется индивидуально. На поперечнике последовательно снимают: головку рельса (ГР), бровку балластной призмы (ББ), подошву балластной призмы (ПБ), бровку земляного полотна (БП), точки перелома откоса насыпи или выемки (О), подошву насыпи (ПН), бровки резерва (БР), дно резерва (ДР), характерные по рельефу точки земли (Т), конец поперечного профиля (КП), подошву и верх кавальеров (ПК)(ВК), бровки канавы (БК), бровки выемки (БВ), дно канавы или кювета (ДК); пересечения поперечником воздушных и подземных коммуникаций, границы лесопосадок, территорий и угодий (рис. 11). При съемке железнодорожных станций на поперечных профилях кроме того должны быть зафиксированы: положения осей станционных путей; лотки, канавы, платформы, искусственные сооружения; видимые при съемке подземные коммуникации.

На поперечниках по оси труб дополнительно снимают верх оголовка, верх отверстия, дно трубы, дно водотока на расстоянии не менее 10 м от оголовка и уровень воды на момент съемки. На поперечниках по оси малых мостов с ездой на балласте дополнительно снимается верх балластного корыта, дно водотока в границах съемки, и уровень воды под мостом.

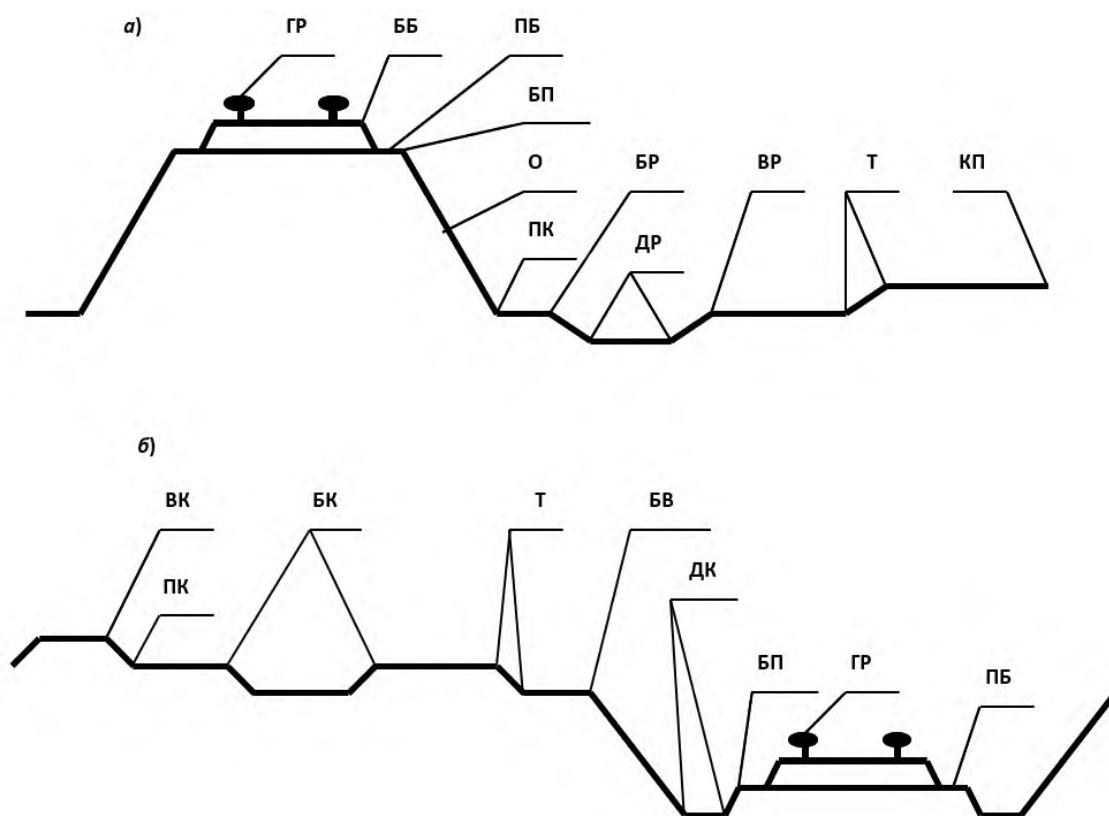


Рисунок 11 – Точки поперечного профиля: а) в насыпи; б) в выемке

### 1.5.5. Съёмка сооружений и пересечений

На железнодорожных переездах выполняют съёмку местности для составления топографического плана в масштабе 1:500. Целью съёмки переезда является определение соответствия содержания оборудования переезда и подходов к нему. Минимальные границы съёмки— по 50 м в каждую сторону от точки пересечения железнодорожного пути с осью автодороги.

Съёмка продольного профиля по оси автодороги выполняется на протяжении не менее 50 м в каждую сторону от оси пути. При крутых уклонах на подходах автодороги к переезду съёмка продольного профиля по оси автодороги выполняется на протяжении не менее 100 м от оси пути.

На автодорожных подходах поперечные профили снимают в характерных местах и по водопропускным сооружениям. Производится определение вертикального габарита воздушных коммуникаций, пересекающих подходы к переезду.

Зона видимости и знаки, относящиеся к переезду, но не вошедшие в зону съёмки наносятся на топографический план схематически с указанием расстояния:

- до крайнего рельса — для автодорожных знаков;
- до ближайшего края настила — для железнодорожных знаков.

Съемка искусственных сооружений выполняется при съемке поперечников и рельефа местности. Выполнить обследование искусственного сооружения с верхнего строения пути с помощью любых средств измерений не представляется возможным. При получении задания на съёмку водопропускной трубы, требуется, как правило, нивелирование внутренней конструкции для оценки деформации и смещения колец относительно друг друга. Если производится съемка моста, потребуется нивелировка живого сечения.

У платформ по осям фундаментных опор со стороны пути производится нивелирование верха платформы и головки рельса с замером расстояния от края платформы до оси пути. Высокие платформы коробчатого типа снимаются через 10 м. При расположении платформы с внешней стороны кривой нивелировка по головке рельса производится по обеим ниткам

Обмеру подлежат стрелочные переводы, лежащие на ремонтируемом и смежных с ним путях. При реконструкции стрелочных горловин выполняется детальная съемка горловины в масштабе 1:500 с определением координат центров стрелочных переводов.

У стрелочного перевода определяют номер перевода по технико-распорядительному акту станции, передний вылет рамного рельса, полную длину перевода, центр перевода, угол поворота, тип рельса, марку крестовины, сторонность, тип подрельсового основания, способ управления, род балласта, его толщину и степень загрязненности, наличие и состояние водоотводов. На съездах определяют расстояние между задними стыками крестовин. Данные о стрелочных переводах заносятся в ведомость стрелочных переводов.

Для повышения скорости камеральной обработки полевых материалов, автором разработана система полевого кодирования съемки, увязанная с набором прикладных программ, позволяющих частично автоматизировать процесс получения ЦМР, для целей создания ТИМ моделей объектов железнодорожной инфраструктуры, о которой будет подробно сказано во второй главе настоящей работы.

Технология проведения инженерно-геодезических работ при проектировании линейных сооружений представлено на рисунке 12.

## Технология проведения инженерно-геодезических работ при проектировании линейных сооружений

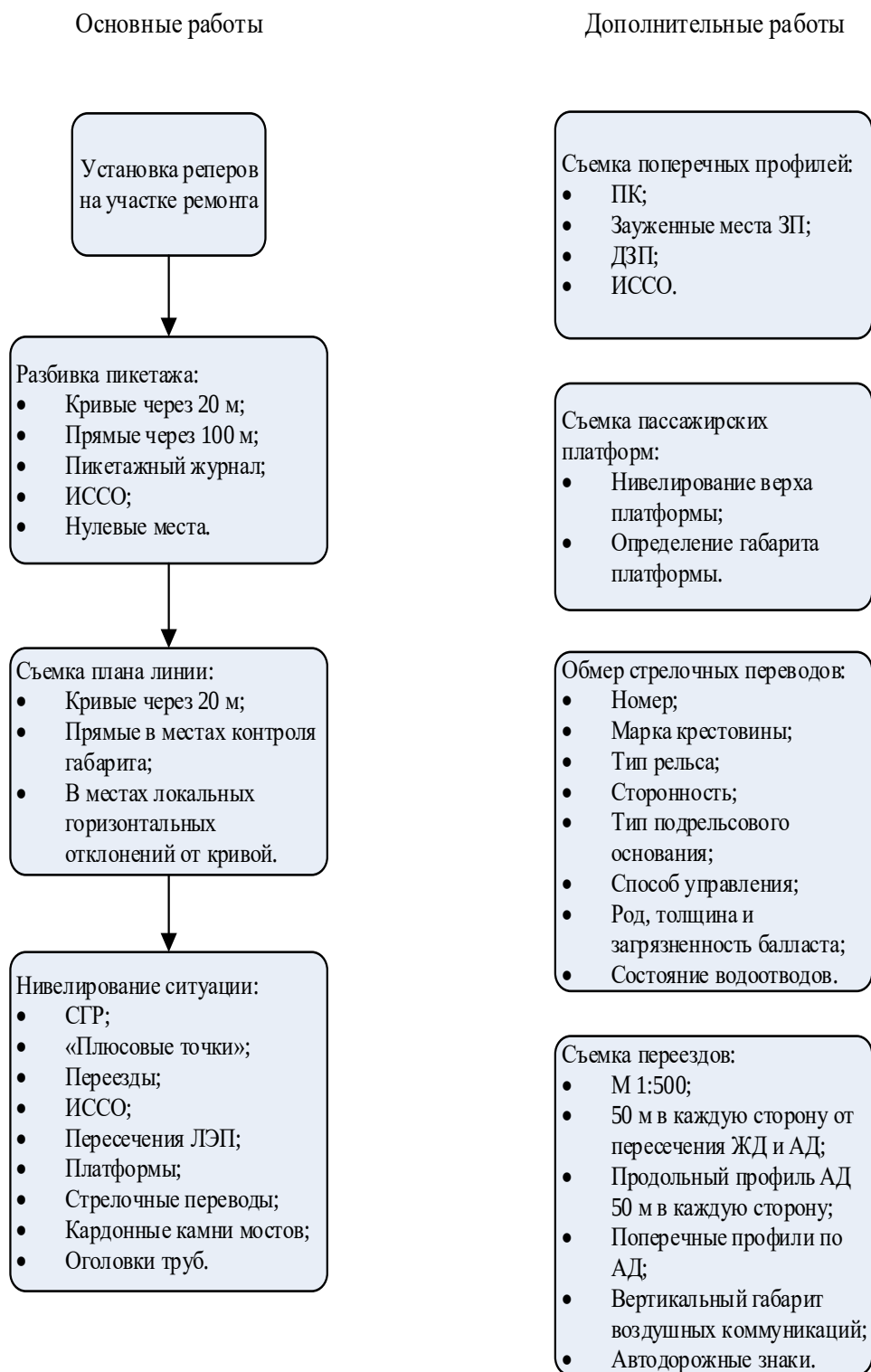


Рисунок 12 – Технология проведения инженерно-геодезических работ при проектировании линейных сооружений

## **1.6. Выводы по главе. Постановка цели и задач исследования**

1. Проведенный анализ показал, что вопрос поиска новых технических и технологических подходов к проведению инженерных изысканий, остается актуальным.

2. К основным предпосылкам поиска новых технических и технологических подходов к проведению инженерных изысканий относятся необходимость минимизации рисков ОАО «РЖД» в части сроков реализации инвестиционных проектов повышения пропускной способности транспортных коридоров Дальнего Востока России и внедрение технологии информационного моделирования в процесс проектирования, строительства и эксплуатации объектов железнодорожной инфраструктуры.

3. Имеющаяся отечественная и зарубежная практика применения технологии информационного моделирования не учитывает специфику протяженных (линейных) объектов и требований федеральных и отраслевых нормативных документов в сфере проектирования, строительства и эксплуатации объектов инфраструктуры российских железных дорог.

4. Наиболее перспективным в части повышения качества проектных решений является применение технологии информационного моделирования.

5. Применение технологии информационного моделирования в инженерных изысканиях на первом этапе влечет за собой увеличение сложности полевых и камеральных работ.

6. Для исключения существенного повышения сроков и стоимости инженерных изысканий, выполняемых по технологии информационного моделирования, требуется формирование новых технологических подходов к проведению полевых и камеральных работ.

На основе сделанных выводов были сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

**Цель работы:** экспериментально-теоретическое изучение технологии и подходов к проведению полевых и камеральных работ при проведении инженерных изысканий; разработка оптимальной технологии формирования цифровых моделей рельефа на объектах железнодорожной инфраструктуры.

### **Задачи исследования:**

1. Оценить различные варианты проведения полевых и камеральных работ при проведении инженерных изысканий по критерию точности и информативности конечного результата, представляемого в виде технического отчета цифровой информационной модели, а также его трудоемкости.

2. Произвести выбор технологических методов, технических и программных средств, использование которых в рамках инженерных изысканий создаст предпосылки к повышению качества исходных данных и применения технологии информационного моделирования в проектировании объектов строительства и реконструкции железнодорожной инфраструктуры.

3. Разработать предложения по автоматизации процесса камеральной

обработки результатов полевых работ на основе результатов проведенных исследований.

4. Произвести апробацию разработанных методов на объектах строительства железнодорожной инфраструктуры.

## **ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА ПО ДАННЫМ ВОЗДУШНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ХАРАКТЕРНЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА И ОЦЕНКИ ИХ КАЧЕСТВА**

В рамках цели настоящей работы, задачами, решаемыми в данной главе, являются: оценка различных вариантов проведения полевых и камеральных работ при проведении инженерных изысканий по критерию точности и информативности конечного результата, представляемого в виде технического отчета цифровой информационной модели, а также его трудоемкости.

В начале главы проведем перечисление технологий съемки местности, используемых для получения цифровых информационных моделей по результатам их камеральной обработки. Кроме этого, определим перечень критериев, необходимых для оценки перспектив использования указанных технологий для повышения качества исходных данных и их применения на объектах строительства и реконструкции железнодорожной инфраструктуры с использованием технологии информационного моделирования.

### **2.1. Технологии и методы съемки местности**

На данный момент применяются две технологии съемки местности, позволяющие формировать на их основании цифровые информационные модели с требуемым уровнем точности расположения объектов:

- наземная съемка с использованием ГНСС - оборудования;
- формирование облака точек, посредством обработки материалов аэро-фото съемки, или результатов лазерного сканирования местности.

В первом случае, данные необходимые для построения цифровых информационных моделей (ЦИМ) вводятся оператором как набор значений атрибутов для каждой снятой точки (точки местности, для которой определены координаты). Набор отснятых таким образом точек является конечным. Отражение в ЦИМ объектов, съемка по которым не произведена, не представляется возможным. Определение высотных характеристик рельефа в точках, где не была проведена съемка, определяется методом интерполяции. Объем и структура информации, вводимой оператором во время съемки зависит от возможностей используемого оборудования и от принятых в конкретной организации правил съемки.

Во втором случае, созданное облако точек содержит весь объем информации, необходимый для формирования ЦИМ. Возможность получения помимо облака точек ортофотоплана позволяет создавать ЦИМ любого уровня детализации: от базового, в котором объекты представлены в виде графических примитивов, до фотореалистичного, в которых внешний вид объектов не отличается от их вида в реальной жизни.

Каждая из перечисленных технологий имеет набор как неоспоримых преимуществ, так и недостатков технического и технологического характера,

оказывающих влияние на сроки и трудозатраты формирования ЦИМ во время полевых и камеральных работ.

Основным недостатком классической съемки с использованием ГНСС - оборудования является конечность точек (объектов) съемки и зависимость набора информации, который можно ассоциировать с каждой снятой точкой, от возможностей используемого оборудования. Обычно, это единственное поле, в котором можно хранить набор цифр, символов и букв ограниченной длины. Кроме этого, качество съемки находится в прямой зависимости от отсутствия ошибок оператора, т.к. ввод данных, характеризующих объект съемки, производится вручную и зависит от его профессионализма и набора внешних факторов, оказывающих на это влияние. При этом, неоспоримым преимуществом данной технологии является высокая точность инструментального измерения координат точки съемки и высокий потенциал автоматизации камеральной обработки данных съемки при использовании единой системы кодирования полевых данных (ЕСКПД), вплоть до автоматического формирования ЦИМ без участия оператора (в идеальных условиях).

Основным недостатком технологии формирования ЦИМ на основе облака точек, являются технические ограничения оборудования, с помощью которого оно получено. Даже при использовании высокоточного лазерного оборудования, на точность влияют порывы ветра (при съемке с использованием БПЛА), отражательные свойства поверхностей объектов, технологические ограничения системы позиционирования, курсовой устойчивости аппарата и другие. Кроме этого, увеличивается сложность обработки данных облака точек. Это требует наличие специально обученного высококвалифицированного персонала, специализированного программного обеспечения, высокопроизводительных ПК. Классификация объектов съемки, назначение им перечня атрибутов и их значений производится оператором в ручном или полуавтоматическом режиме, что увеличивает экономические и временные затраты на этапе камеральных работ по формированию ЦИМ. При этом, неоспоримым преимуществом данной технологии является получение массива данных, фактически представляющего цифровую копию объекта съемки. Работа по формированию ЦИМ в данном случае представляет собой решение задач по классификации совокупностей точек, составляющие отдельные объекты на местности, присвоение объектам набора атрибутов и их значений в соответствии с классом объекта. Таким образом, камеральная обработка данных становится подобием традиционной съемке местности, которая производится в пространстве облака точек с использованием функциональных возможностей используемого для этих целей программного обеспечения. Что в свою очередь позволяет при необходимости увеличивать детализацию ЦИМ в пределах отснятых данных без проведения дополнительной съемки в полевых условиях.

Итоговая сравнительная характеристика описанных технологий съемки представлена в таблице:

Таблица 3 - Сравнительная характеристика технологий съемки местности

| №  | Оценочный показатель                                                              | Источник данных ЦИМ                                       |                                                             |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                   | Облако точек                                              | Набор точек по результатам съемки ГНСС -оборудованием       |
| 1  | 2                                                                                 | 3                                                         | 4                                                           |
| 1. | Точность определения координат объектов                                           | Отклонение 2-5 см                                         | Отклонение < 1 см                                           |
| 2. | Состав изыскательской бригады, требуемой для проведения съемки в полевых условиях | 2 специалиста                                             | Не менее 4 специалистов (без учета сигнальщиков и водителя) |
| 3. | Требуемая квалификация персонала изыскательской бригады                           | Высокая                                                   | Средняя                                                     |
| 4. | Среднее время съемки в полевых условиях (на 15 км)                                | 1-3 дней                                                  | 15-20 дней                                                  |
| 5. | Требуемая квалификация специалистов по камеральной обработке данных               | Высокая                                                   | Средняя                                                     |
| 6. | Текущий уровень автоматизации камеральной обработки данных съемки                 | Средний                                                   | Высокий                                                     |
| 7. | Разработчик ПО                                                                    | Имеются отечественные разработки (ТИМ Кредо, Robur и др.) | Имеются отечественные разработки                            |

Технологии съемки, позволяющие формировать на своей основе облака точек весьма разнообразны. Наиболее часто используются методы фотограмметрии и лазерного сканирования с использованием стационарного или движущегося оборудования на базе наземных или летательных аппаратов различной конструкции.

Доступный перечень технологий, используемых на практике при создании ЦИММ местности линейных объектов Восточного полигона железных дорог Российской Федерации, включает в себя лазерное сканирование и фотосъемку с использованием БПЛА, наземное лазерное

сканирование со статичных объектов, а также с движущихся объектов (движущаяся по железнодорожному пути мотриса), наземная съемка с использованием ГНСС -приемников (традиционный способ). Каждая из описанных технологий достаточно подробно описана в отечественной и зарубежной литературе [17,12,46, 63]. При этом, отсутствует достаточное описание практики его применения в рамках технологии формирования ЦИММ объектов железнодорожного транспорта.

Каждый из указанных способов получения данных об объектах ЦИММ имеет как свои преимущества, так и недостатки, обуславливаемые техническими и технологическими особенностями используемых для этого устройств, программного обеспечения, средств автоматизации и набором внешних факторов, оказывающих влияние на используемое оборудование в процессе его работы.

Практический опыт использования указанных технологий съемки, а также перечень параметров, влияющих на возможность их применения для решения конкретных задач формирования ЦИММ [17,12,46, 63], позволяет сформировать перечень характеристик, обеспечивающий возможность выбора оптимального варианта, исходя из целей настоящего исследования.

#### Стоимость оборудования.

Позволяет оценить экономическую целесообразность применения технологии. В зависимости от объемов выполняемых работ, специализации организации выполняющей работы, насыщенности рынка услуг в данной сфере, данный фактор является решающим как в вопросе самостоятельного приобретения указанного оборудования, так и в целом использования выбранной технологии.

#### Стоимость программного обеспечения (ПО).

Является наряду с показателем стоимости оборудования фактором, влияющим на капитальные затраты на использование технологии. Может составлять до 50% их величины.

#### Сезонность применения.

Является ограничивающим фактором, определяющим возможные условия проведения работ. В зависимости от производственного цикла организации, а также требований Заказчика по срокам производства работ, может оказывать ключевое значение на выбор технологии съемки.

#### Производительность полевых работ.

Оценивает площадь территории, съемку которой можно произвести в единицу времени. Чаще всего в качестве единицы времени используется световой день, длительность которого, может быть разной в зависимости от времени года и от географического положения места проведения работ. Поэтому применяется оценка среднего значения продолжительности

светового дня в течении года, характерного для дальневосточного региона страны.

Минимальное количество задействованных полевых сотрудников.

Фактор, определяющий затраты на проведения съемки с использованием той или иной технологии. Совместно с показателем стоимости оборудования, определяющим капитальные затраты организации, является ключевым при расчете экономического эффекта от внедрения технологии в производственный процесс.

Требуемая квалификация полевых сотрудников.

В зависимости от уровня доступности указанных специалистов на рынке труда, влияет на уровень капитальных затрат, которые несет организация для их обучения. Используется при расчете экономического эффекта от внедрения технологии в производственный процесс.

Полнота данных.

Интегральная характеристика, оценивающая объем и набор данных, получаемых в процессе использования той или иной технологии съемки. Наиболее важен в процессе камеральной обработки данных для целей ЦИМС с использованием ТИМ.

Достаточность данных для построения ЦИМ.

Экспертная оценка, характеризующая на сколько данные, полученные в процессе применения той или иной технологии покрывают потребности процесса построения ЦИММ, ЦИМС без использования данных, полученных другими способами.

Сложность обработки полученных данных.

Оценивает уровень квалификации специалистов камеральных групп, необходимый для обработки полученных данных, сложность используемого программного обеспечения, уровень автоматизации процесса обработки данных, требования к аппаратной части используемых средств вычислительной техники.

Наличие российских разработок, совместно с показателем Наличие российского ПО, определяет доступность и перспективы использования с учетом доступности иностранных разработок на российском рынке.

Точность.

Характеризует величину отклонения данных съемки от фактических данных. Обуславливается техническими возможностями используемого оборудования, программного обеспечения, величиной влияния внешних факторов (в т.ч. природных явлений).

#### Трудоёмкость создания топопланов по данным съемки.

Аналогичен показателю сложности обработки полученных данных в отношении построения топографического плана по данным съемки.

#### Сложность автоматизации создания элементов ЦИМ.

Характеризует сложность алгоритмов процедур автоматического построения элементов ЦИМ, таких как ЦИММ, ЦИМС, топографический план, разрезы и др., а также наличия в используемом программном обеспечении соответствующих инструментов.

#### Точность данных (для целей проектирования верхнего строения пути).

Ключевой показатель, в связи с необходимостью обеспечения выполнения требований п.5.6.2.6 ГОСТ 9238-2013 «Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений» на этапе проектирования объекта.

#### Факторы, влияющие на точность измерений.

Набор факторов, оказывающих влияние на точность получаемых результатов съемки.

Для удобства анализа, с целью выбора оптимального метода проведения съемки, представленные данные сведены в таблице 4. Значения представленных характеристик определены на основании практического опыта реализации комплексных проектов строительства, ремонта и реконструкции объектов железнодорожной инфраструктуры с использованием технологии информационного моделирования, выполненных в соответствии с СП333.13330, а также на основании оценок авторов публикаций в сфере ТИМ [17, 12, 46, 63].

Учитывая представленные в таблице данные, становится очевидным тот факт, что оптимальным с точки зрения построения ЦИММ является не выбор единственного, а комбинация нескольких из представленных методов с целью получения достаточного объема данных требуемой точности. При этом, требование к точности, уровню избыточности и полноты данных не является статичным, а изменяется дифференцированно в зависимости от характеристик моделируемого объекта, набора выполняемых работ и других факторов.

Таким образом, оптимальная технология съемки местности должна представлять собой комбинацию методов, описанных в таблице 4, и упрощенно может быть представлена в виде схемы, представленной на рисунке 13.

Таблица 4

## Сводная характеристика используемых методов съемки для построения ЦИММ

| №  | Характеристика                                             | Воздушное лазерное сканирование                                                                                                   | Фотограмметрия по данным АФС                                                                                                 | Наземное лазерное сканирование                                                                     | Наземная съемка с использованием ГНСС - приемников                                                         |
|----|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 2                                                          | 3                                                                                                                                 | 4                                                                                                                            | 5                                                                                                  | 6                                                                                                          |
| 1. | Стоимость оборудования                                     | Высокая                                                                                                                           | Низкая                                                                                                                       | Высокая                                                                                            | Высокая                                                                                                    |
| 2. | Ограничения применения                                     | В отсутствии снежного покрова, низкая скорость ветра (не более 10 м/с)<br>В диапазоне температур от -20 до + 50 градусов Цельсия. | Весенне-осенний период (отсутствие снега, листвы и высокой травы)<br>В диапазоне температур от -20 до + 50 градусов Цельсия. | В отсутствии снежного покрова. В диапазоне температур от -20 до + 50 градусов Цельсия.             | Круглогодично (с учетом выполнения корректировочных работ при выполнении работ на заснеженной территории). |
| 3. | Производительность полевых работ.                          | 4 км в день с шириной полосы 100 м.                                                                                               | 8 км в день с шириной полосы 100 м                                                                                           | 1 км в день с шириной полосы 100 м<br>(стационарного сканера), 25 км в день на мобильной установке | 0,8 км в день с шириной полосы 100 м                                                                       |
| 4. | Минимальное количество задействованных полевых сотрудников | 2 чел.                                                                                                                            | 2 чел.                                                                                                                       | 2 чел.                                                                                             | Не менее 4 чел. (без учета сигналистов и водителя)                                                         |

|     |                                                   |                                                             |                                                             |                                                             |                                                                       |
|-----|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 5.  | Достаточность данных для построения ЦМР /ТИМ      | Высокая                                                     | Достаточная                                                 | Высокая                                                     | Достаточная                                                           |
| 6.  | Требуемая квалификация полевых сотрудников        | Требуются навыки по управлению БПЛА                         | Требуются навыки по управлению БПЛА                         | Требуются навыки по управлению лазерным сканером            | Технический специалист в области топографии                           |
| 7.  | Сложность обработки полученных данных             | Требуется специализированное ПО для работы с облаками точек | Требуется специализированное ПО для работы с облаками точек | Требуется специализированное ПО для работы с облаками точек | Требуется специализированное ПО для построения топографического плана |
| 8.  | Стоимость ПО                                      | 150-400 тыс. руб.                                           | 150-400 тыс. руб.                                           | 150-400 тыс. руб.                                           | 100-300 тыс. руб.                                                     |
| 9.  | Наличие российских разработок                     | Ориент Системс, АГМ-МС2, EFT, Scanform                      | Ориент Системс, Geoscan                                     | Ориент Системс, АГМ-МС2, EFT, Scanform                      | Спутниковый приемник ОС-213, Shark Geo, S-MAX Geo, EFT.               |
| 10. | Наличие российского ПО                            | Agisoft Metashape                                           | Agisoft Metashape                                           | Agisoft Metashape                                           | Тим Кредо ГНСС                                                        |
| 11. | Точность                                          | 2-3 см                                                      | 4-5 см                                                      | 1-2 см                                                      | < 1 см                                                                |
| 12. | Трудоёмкость создания топопланов по данным съемки | Высокая                                                     | Высокая                                                     | Высокая                                                     | Средняя                                                               |
| 13. | Сложность автоматизации создания элементов ЦИМ    | Высокая                                                     | Высокая                                                     | Высокая                                                     | Средняя                                                               |
| 14. | Полнота данных                                    | Высокий уровень избыточности данных                         | Высокий уровень избыточности данных                         | Высокий уровень избыточности данных                         | Минимально-достаточный объем данных                                   |

|     |                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                  |
|-----|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 15. | Точность данных (для целей проектирования ВСП) | Недостаточно (низкая точность габаритов и верхнего строения пути)                                                                                                                                                                                                                                                       | Недостаточно (низкая точность габаритов и верхнего строения пути)                                                                                                                                                                                                                                        | Достаточная                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Высокая                                          |
| 16. | Факторы, влияющие на точность измерений        | 1. скорость ветра<br>2. наличие осадков<br>3. качество закладки опознаков (точек с известными координатами, по которым будет происходить дополнительная трансформация)<br>4. особенности снимаемого участка (наличие растительности или объектов, которые будут давать тень)<br>5. отражательная способность предметов. | 1. скорость ветра<br>2. наличие осадков<br>3. качество закладки опознаков (точек с известными координатами, по которым будет происходить дополнительная трансформация)<br>4. особенности снимаемого участка (наличие растительности или объектов, которые будут давать тень)<br>5. освещенность участка. | 1. квалификация специалиста, выполняющего съёмку<br>2. наличие осадков<br>3. качество закладки опознаков (точек с известными координатами, по которым будет происходить дополнительная трансформация)<br>4. особенности снимаемого участка (наличие растительности или объектов, которые будут давать тень)<br>5. освещенность участка. | 1. квалификация специалиста, выполняющего съёмку |

## Схема получения данных для моделирования ЦИМС/ ЦИММ

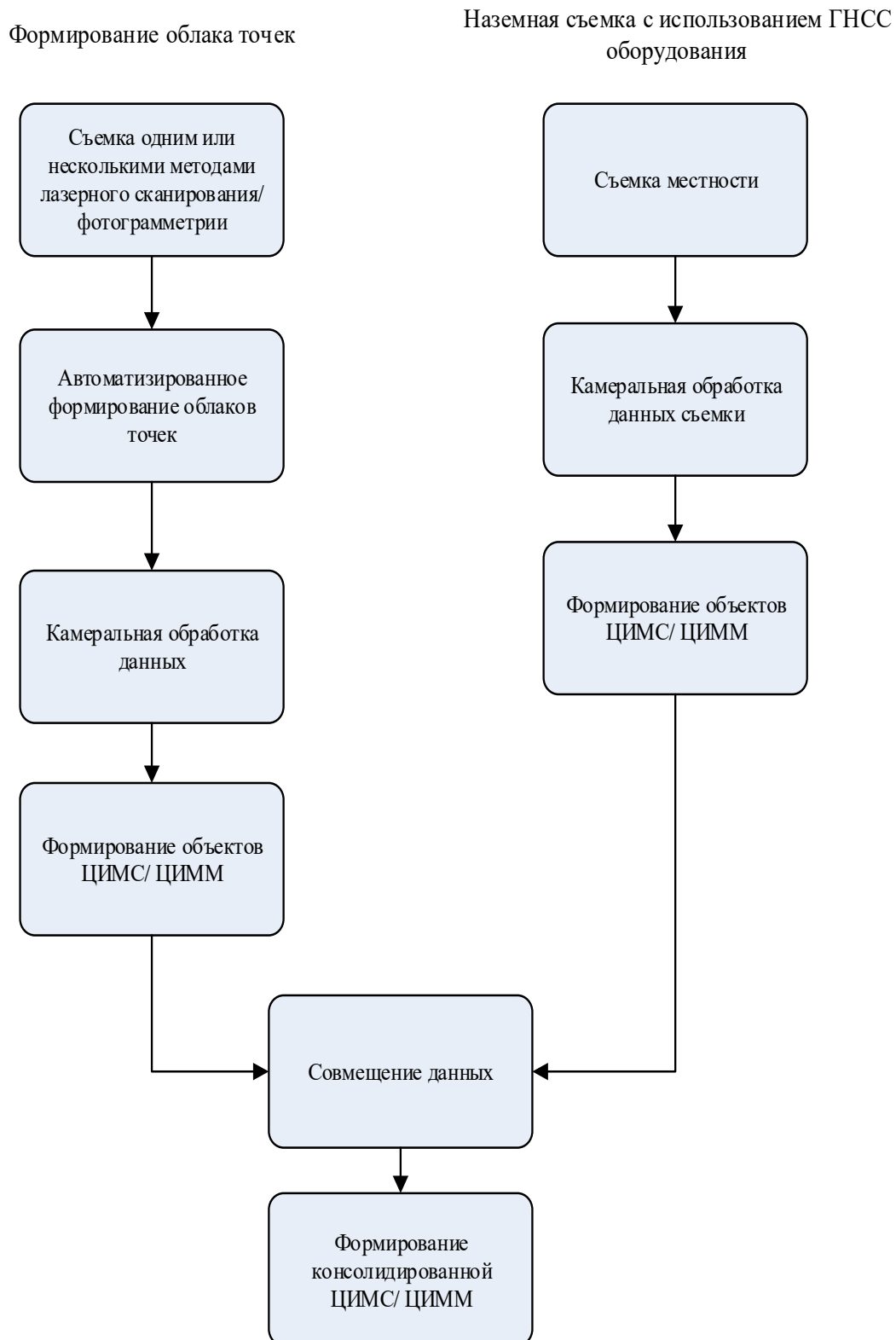


Рисунок 13 - Схема получения исходных данных для моделирования ЦИМС/ЦИММ.

Эффективность применяемых методов для формирования цифровой информационной модели рельефа и ситуации, как итогового результата инженерных изысканий зависит от имеющегося уровня автоматизации процесса обработки полевых данных. Как уже было сказано выше, для автоматизации обработки данных, полученных с использованием ГНСС оборудования, необходима унификация методов кодировки описательной информации для точек съемки. Предложения по ее формированию, прошедшие успешную апробацию на объектах железнодорожной инфраструктуры, приведены ниже в параграфе 2.2.

В отличие от традиционного топографического плана, в цифровой информационной модели, имеющей трехмерное геометрическое представление, помимо точного размещения объекта на поверхности по координатам  $x$ ,  $y$ ,  $z$  требуется еще информация об угле его поворота, относительно окружающих объектов. Это требование актуально для объектов, съемка которых осуществляется по одной точке (опоры ЛЭП, контактной сети, напольное оборудование СЦБ и др.). Учитывая значительное количество данных объектов в ЦИМ любого комплексного объекта железнодорожной инфраструктуры и как следствие существенное влияние данной проблемы на сроки выполнения работ, решению данного вопроса посвящена глава 2.3.

## **2.2. Использование цифровой системы полевого кодирования**

Тип используемой системы полевого кодирования зависит он нескольких факторов:

1. возможности используемого ГНСС – оборудования;
2. возможности программного обеспечения, используемого для обработки данных, полученных применяемым ГНСС - оборудованием;
3. требования к перечню данных, необходимых для формирования результирующих документов, по результатам проведенных инженерных изысканий.

Каждая программа обработки топографической информации предусматривает использование собственной системы полевого кодирования. При этом требуется использовать либо специальные электронные регистраторы, либо библиотеки кодов при регистрации кодировки непосредственно в памяти электронного тахеометра, ГНСС – оборудования. Но на практике широко используются относительно простые, с ограниченными возможностями регистрации кода, электронные приборы. Они имеют неполную клавиатуру: буквы и цифры вводятся перебором при нажатии функциональных клавиш. Набор вводимых символов также невелик, что накладывает определенные ограничения на синтаксические возможности кодовой строки.

При решении указанных задач необходимо придерживаться определенных подходов:

1. одинаковый подход для разных типов электронных тахеометров и ГНСС оборудования, обеспечивающий единство в процессе

внедрения, обучения, организации производства работ и взаимодействия полевых и камеральных групп;

2. использование возможностей электронных тахеометров, ГНСС – оборудования с неполной клавиатурой, ограничивающей удобство ввода.

Система полевого кодирования должна включать в себя две части: набор инструкций по кодированию в процессе полевых работ (синтаксис кодовой строки) и набор функций в программе постобработки (анализ кодовой строки, автоматизированное построение элементов ЦИМ, интерактивное редактирование построения и семантической информации).

На данный момент, используются следующие типы систем кодирования полевых данных:

1. буквенно-цифровая;
2. текстовые примечания;
3. иерархическая (набор вложенных меню).

Примеры перечисленных типов систем кодирования представлены на рисунке 14.



Рисунок 14 - Основные типы систем кодирования полевых данных.

Приведем основные достоинства и недостатки каждого из перечисленных типов систем кодирования полевых данных:

**Буквенно-цифровая система кодирования.** Главным плюсом этой системы является краткость ввода и небольшое количество применяемых кодов. Поскольку данная система использовалась в основном для тахеометров, основные объекты кодирования были сооружения вблизи пути. Задачи съемки всех объектов инфраструктуры с использованием этой кодировкой не стоит. Достаточно, чтобы при экспорте с тахеометра, ГНСС – оборудования автоматически, строился только продольный профиль главного пути, имеющий небольшое количество однотипных элементов. При съемки

тахеометром абрис ситуации обычно ведется вручную технологом бригады, осуществляющим съемку. Ограничения на длину кода (он мало информативен), поэтому требовалось занесение дополнительно информации по точке съемки в специализированный журнал. Так, например, при кодировке точки острька стрелочного перевода, все характеристики стрелочного перевода (способ управления, тип балласт, марка перевода, тип шпал) заносятся в журнал для последующей камеральной обработки и дальнейшего вода в соответствующие ведомости.

**Текстовые примечания** пришли на смену буквенно-цифровой кодировке, так как они более информативны. Исполнитель в поле, имея полную клавиатуру на ГНСС - контроллере, имеет возможность не ограничивать себя количеством вводимых данных. Главным недостатком такой системы является сложное автоматическое чтение вводимых оператором примечаний в связи с их высокой вариативностью и вероятностью ошибок ввода, связанных с влиянием «человеческого фактора». Результат такой съёмки можно увидеть лишь после передачи данных со всех контроллеров, их уравнивания, и экспорта в специализированное программное обеспечение, которое интерпретирует и сформирует на его основании топографический план, либо ЦИММ. Например, любой символ, который будет отличаться от общего правила ввода, регламентированным используемой системой кодирования, может вызвать ошибку, или остаться нераспознанным. Так, например, при вводе данных «pgr2» - «правая головка рельса второго пути», осуществлен ввод значения «pgr 2». Добавленный знак пробела формирует новое значение кода, которое необходимо обработать вручную оператору. На практике, объём такого рода ошибок составляет от 5 до 15% всех введенных значений, что увеличивает время камеральной обработки полевых данных практически вдвое.

**Система кодирования «Спутник», первоначально разработанная АО Росжелдорпроект**, основана на совокупности выпадающих иерархических меню. Основное преимущество системы является существенное снижение количества ошибок при вводе данных. Основные минусы:

1. Отсутствие совместимости с программным обеспечением, которое используется с ГНСС -оборудованием;
2. Сложное многоуровневое меню, усложняющую задачу поиска нужного кода во время съемки;
3. Некорректное отображение меню на контроллерах ГНСС оборудования, что затрудняет ввод данных.

Основные достоинства и недостатки описанных систем представлены в таблице 5.

## Сравнительные характеристики типов кодировок

| Наименование системы кодирования | Буквенно-цифровая                                                                          | Текстовые примечания                                                   | Набор вложенных меню                                                                                        |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Достоинства                      | Краткость                                                                                  | Свобода ввода                                                          | Низкий уровень ошибок при вводе данных                                                                      |
| Недостатки                       | Малая информативность; высокий уровень ошибок ввода; сложная интерпретация кода человеком. | Сложность автоматического распознавания; высокий уровень ошибок ввода. | Сложный ввод данных; ограниченный набор кодов объектов; Несовместимость с рядом используемого оборудования. |

Исходя из проведенного анализа и опыта проведения инженерных изысканий на объектах железнодорожной инфраструктуры, оптимальным является использование системы кодирования полевых данных, основанной на текстовых примечаниях. С целью снижения их недостатков, описанных выше, применяется набор принципов, правил и требований к формированию текстовых примечаний по каждому объекту, объединенных в единую систему кодирования полевых данных (ЕСКПД). Данная система была разработана АО «Росжелдорпроект» для решения задач полевого кодирования, как замена системе «Спутник».

Исходя из имеющегося опыта проектирования объектов железнодорожной инфраструктуры, а также, основываясь на исследованиях экспертов в данной отрасли [34, 17, 26], система полевого кодирования должна обеспечивать выполнение двух основных функций:

1. Управление процессом съемки (формирование в выходном файле информации по станции, параметров прибора, условий работы и др.);
2. Ввод и накопление геометрической и семантической информации о топографических объектах.

Концепция единой системы кодирования полевых данных заключена в следующем:

- Простота запоминания

Система кодов легко запоминаема. Для разных объектов одинаковые свойства (атрибуты), имеет одинаковые значения кодов (по возможности). Правила записи кода просты и понятны, и прослеживаются при кодировании разных объектов.

- Краткость записи

Коды объектов и атрибутов по возможности максимально короткие. Снижение трудозатрат при вводе на приборе в полевых условиях или с клавиатуры компьютера.

- Минимально необходимое количество ввода

Часто повторяющиеся атрибуты и их значения не требуют обязательного ввода.

- Полнота кодирования

Система обеспечивает возможность описывать ситуацию максимального количества объектов и их максимальное количество свойств в одном поле кода.

- Удобство в использовании (эргономика)

Система поддерживает разные наборы символов, доступные на полевых приборах.

- Система кодирования разработана в развитие уже имеющихся в использовании систем кодирования.

При использовании системы с кодированием максимум объектов и максимум их свойств, то получается эффект от автоматизации при обработке рутинных вычислений и построений программным обеспечением.

Рассмотрим описание системы кодирования, используемой на объектах железнодорожной инфраструктуры. Код читается, записывается и распознается слева на право:

*(номер)-[атрибут 1[номер 1]]-...-[атрибут N[номер N]]*

где:

- *номер* - номер пути;

- *атрибут 1...атрибут N* - атрибуты пути, уточняющие свойства снятой точки, атрибут отделяется от имени пути и других атрибутов знаком "-" (дефис);

- *номер 1...номер N* - номера (могут быть буквенно-цифровыми), уточняющие свойства атрибутов пути

Примеры некоторых кодов:

|                |                                                                                    |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 15-R           | - 15 путь пересчет на ось вправо (снята левая головка рельса);                     |
| OKB219         | - опора железобетонная контактной сети №219;                                       |
| OPBNA220A      | - опора железобетонная анкерная без контактной сети №220A;                         |
| BB             | - бровка балластной призмы;                                                        |
| 5              | - путь 5 (головка рельса определяется по последнему указанию автоматически);       |
| 4D-T515 5D-N-R | - остряк стрелочного перевода 515 путь 4D, начало пути 5D по левой головке рельса; |
| 4D-T529 5D-K   | - остряк стрелочного перевода №529 путь 4D, конец пути 5D.                         |

SVMOT331NЧ12 - Светофор №Ч12 мачтовый обратный схема линз (3+3+1) с указателем положения.

Общая схема процесса полевой съемки, выполняемая с использованием описанной выше ЕСКПД, представлена на рисунке 15.

### Процесс полевого кодирования.

#### Вид работ: инструментальная съемка масштабных планов станций и продольных профилей путей

Этап №1 Съемка в поле, кодирование, обработка и уравнивание

Этап №2 Подготовка проекта САПР ЖД для последующего этапа проектирования, отрисовка планов в среде NANOCAD

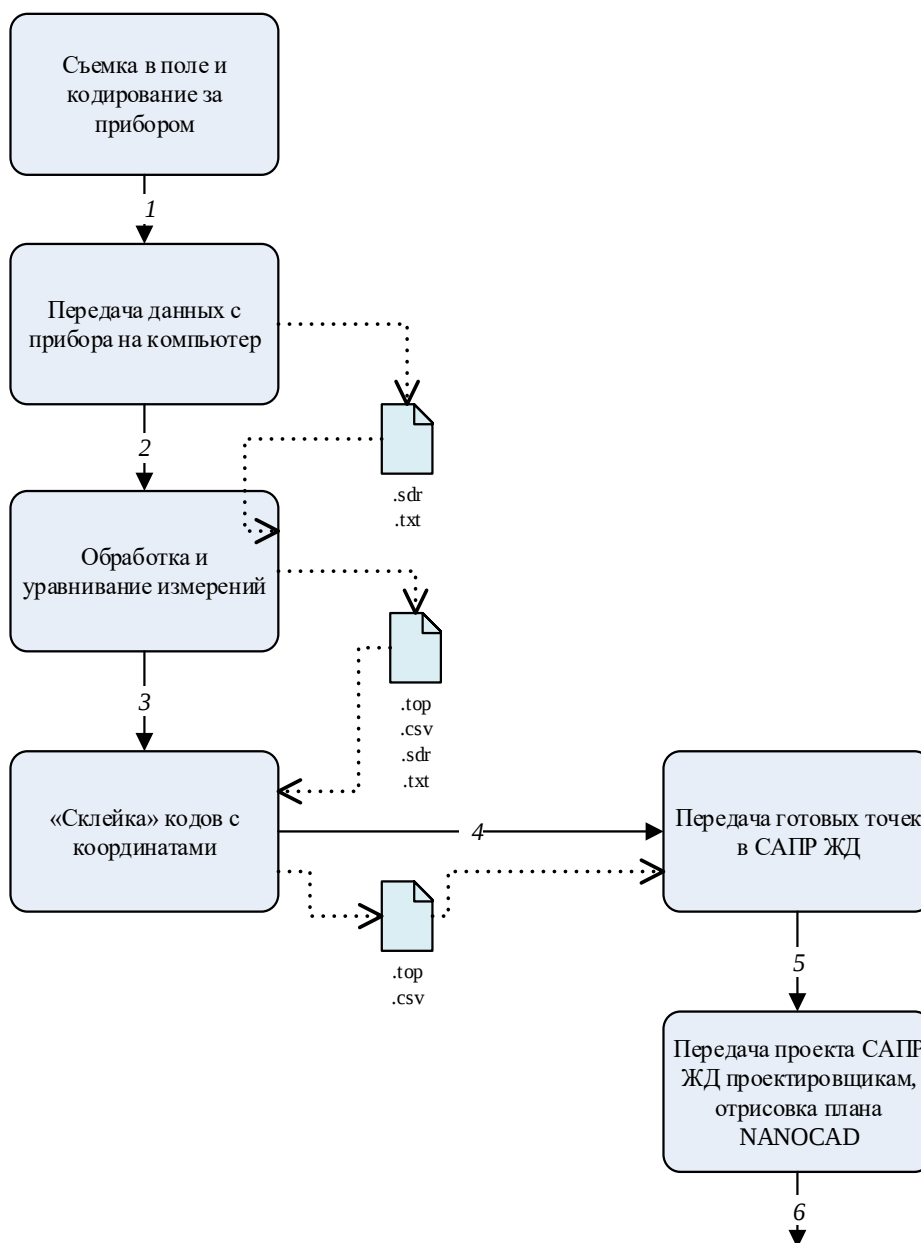


Рисунок 15 - Общая схема полевой съемки с использованием ЕСКПД

Процесс обработки данных съемки, полученный с применением ЕСКПД (этап 5 рисунка 15) с использованием специализированного программного обеспечения САПР ЖД представлен на рисунке 16.

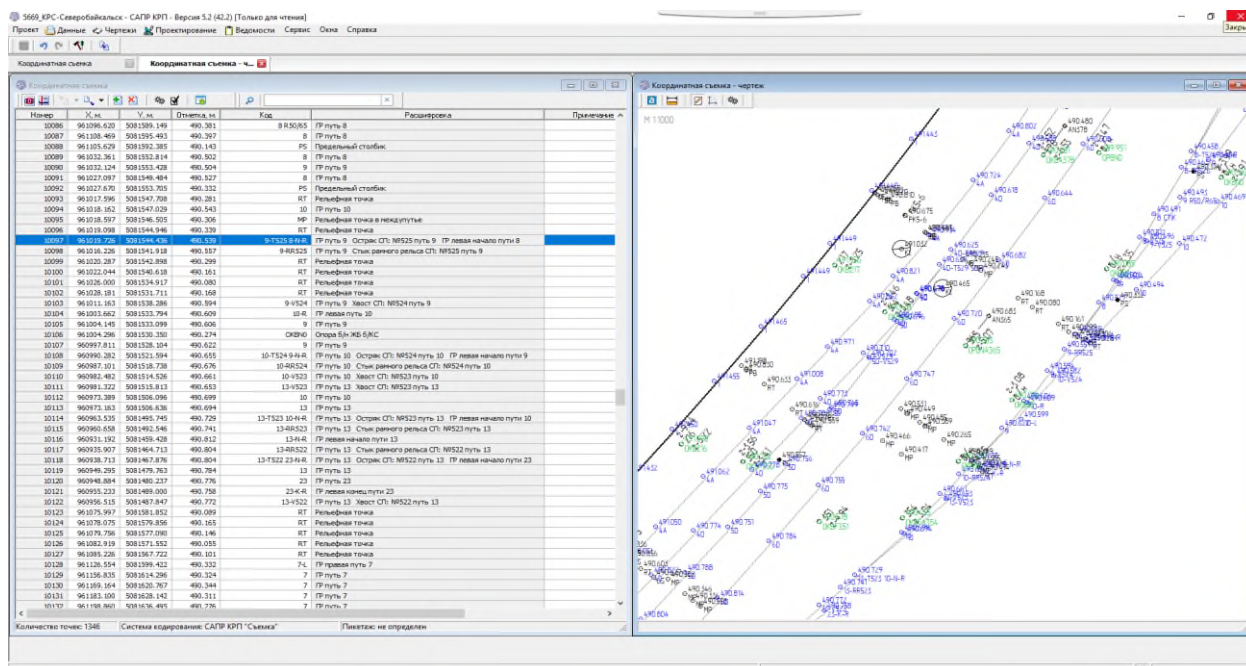


Рисунок 16 - Процесс обработки данных съемки с использованием специализированного программного обеспечения САПР ЖД

Использование ЕСКПД позволяет повысить уровень автоматизации процесса камеральной обработки данных съемки объектов железнодорожной инфраструктуры с использованием ГНСС - оборудования, что создает в итоге следующие преимущества:

1. повышение наглядности обработки данных (при использовании специализированного программного обеспечения);
2. быстрое принятие решений о положении линии оси пути и объектов ситуации;
3. снижение зависимости скорости камеральной обработки данных от площади участка съемки (при увеличении площади съемки вдвое, время обработки увеличивается на 10-15 %).

## 2.3. Реализация алгоритмов позиционирования элементов информационной модели верхнего строения пути

Одной из особенностей построения информационной модели ЦИМС, в отличие от классического топографического плана, построенного в 2D, является необходимость не только правильной установки объектов ситуации в реальных координатах, но и соблюдение правильного угла поворота объектов, относительно оси пути. В первую очередь это касается опор контактной сети. Учитывая, тот факт, что в процессе изыскательской съемки, данный параметр не измеряется, таким образом, необходимо решить данную задачу на этапе формирования ЦИМС. Решение данной задачи возможно за

счет корректного построения модели верхнего строения пути. Для начала построения модели, необходимо представить алгоритм определения мгновенного радиуса кривой.

При проведении инженерно-геодезических изысканий инженером – топографом, ведущим съёмку, координируется в кривых участках пути пониженная головка рельса, в прямых, как правило, левая головка рельса. После получения редуцированного значения оси пути (на рисунке  $X_1Y_1$ ,  $X_2Y_2$ ,  $X_3Y_3$ ,  $X_4Y_4$ - координаты оси пути, полученные из координат головки рельса), для расчета пикетажа и длине трассы необходимо произвести расчет плана линии. Расчет плана необходимо производить по криволинейным элементам.

Для этого необходимо принять, что через три точки, определяющую ось пути, проходит некий криволинейный элемент. Известно, что через три точки, не лежащие на одной прямой, всегда можно провести только одну окружность. Примем, что  $X_1Y_1$ ,  $X_2Y_2$ ,  $X_3Y_3$  – точки окружности некоторого радиуса  $R_1$ с вершиной в точке  $O_1$  (рис.2.5).

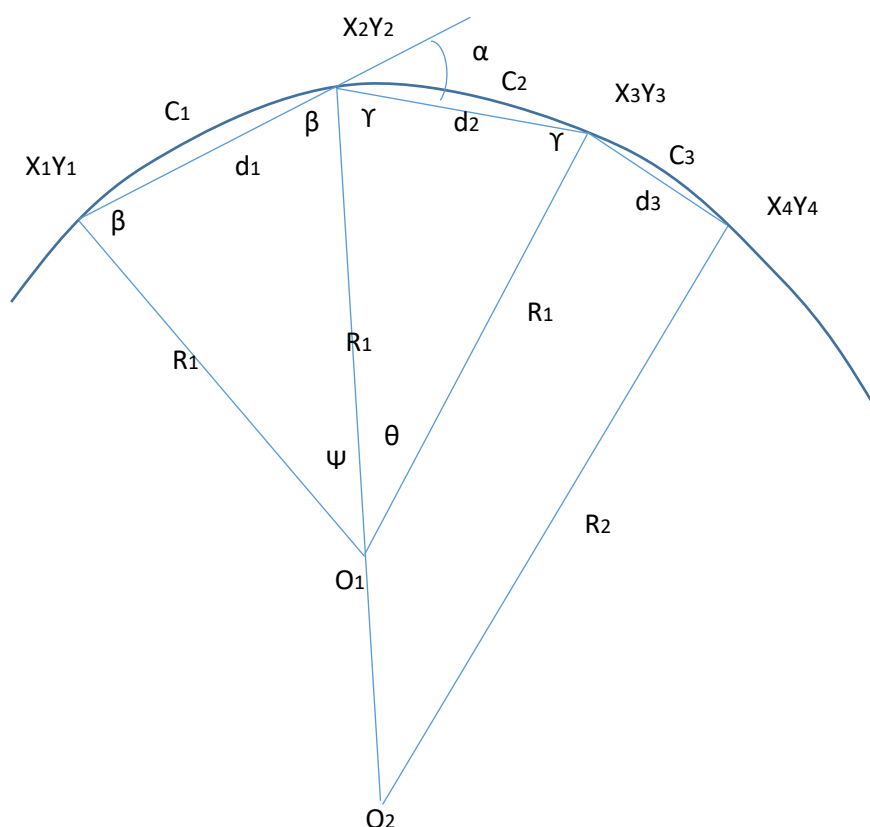


Рисунок 17 - Схема расчета радиуса кривой

Рассмотрим, два равнобедренных треугольника ( $O_1 - X_1Y_1 - X_2Y_2$ ) и ( $O_1 - X_3Y_3 - X_2Y_2$ ). Для определения длины криволинейного элемента  $C_1$  и

С2, необходимо определить углы  $\Psi$  и  $\theta$ , а также радиус R. Известно, что сумма углов в треугольнике равна 180 градусов. Из схемы видно, что:

$$\begin{aligned}\alpha + \beta + \gamma &= 180^\circ \\ 2 \cdot \beta + \Psi &= 180^\circ - \text{сумма углов в первом треугольнике} \\ 2 \cdot \gamma + \theta &= 180^\circ - \text{сумма углов во втором треугольнике} \\ \frac{\left(\frac{d_1}{2}\right)}{R_1} &= \sin\left(\frac{\Psi}{2}\right) - \text{формула соотношения угла в равнобедренном} \\ &\quad \text{треугольнике к его основанию} \\ \frac{\left(\frac{d_2}{2}\right)}{R_1} &= \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) - \text{то же для второго треугольника}\end{aligned}$$

При выполнении координатной съёмки геометрии пути точки по оси пути определяются с интервалом 20 м на кривых участках пути и 10 м на кривых участках малого радиуса в соответствии с Распоряжением РЖД № 2888р от 17 декабря 2021 «Об утверждении Правил назначения ремонтов железнодорожного пути». Поэтому для расчетов допускается принять примерное равенство углов и расстояний  $d_1 \approx d_2$  и  $\Psi \approx \theta$

$\Psi = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{d_1}{2 \cdot R_1}\right)$  представление угла после преобразования для первого треугольника.

$\theta = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{d_2}{2 \cdot R_1}\right)$  представление угла после преобразования для второго треугольника, поскольку сумма углов в треугольнике равна 180 градусов, то формулу 1 представляем в виде:

$$\begin{aligned}\alpha + \left(90^\circ - \frac{\Psi}{2}\right) + \left(90^\circ - \frac{\theta}{2}\right) &= 180^\circ \\ \alpha - \frac{\Psi}{2} - \frac{\theta}{2} &= 0\end{aligned}$$

После преобразований получаем соотношения угла поворота линии  $\alpha$  и двух опирающихся углов  $\Psi$  и  $\theta$ :

$$2 \cdot \alpha = \Psi + \theta$$

Рассматривая треугольник 1 и 2 составим отношение сторон к радиусу, как отношение основания треугольника к двум синусам половины угла вершины:

$$R_1 = \frac{d_1}{2 \cdot \sin\left(\frac{\Psi}{2}\right)} = \frac{d_2}{2 \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

Производя математические упрощения, получаем:

$$\begin{aligned}\frac{d_1}{d_2} &= \frac{\sin\left(\frac{\Psi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} = \frac{\sin\left(\frac{\Psi}{2}\right)}{\sin\left(\alpha - \frac{\Psi}{2}\right)} = \frac{\sin\left(\frac{\Psi}{2}\right)}{\sin(\alpha) \cdot \cos\left(\frac{\Psi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\Psi}{2}\right) \cdot \cos(\alpha)} \\ \frac{d_2}{d_1} &= \frac{\sin(\alpha) \cdot \cos\left(\frac{\Psi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\Psi}{2}\right) \cdot \cos(\alpha)}{\sin\left(\frac{\Psi}{2}\right)} = \frac{\sin(\alpha) \cdot \cos\left(\frac{\Psi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Psi}{2}\right)} - \frac{\sin\left(\frac{\Psi}{2}\right) \cdot \cos(\alpha)}{\sin\left(\frac{\Psi}{2}\right)} \\ &= \sin(\alpha) \cdot \operatorname{ctg}\left(\frac{\Psi}{2}\right) - \cos(\alpha) \\ \operatorname{ctg}\left(\frac{\Psi}{2}\right) &= \frac{\frac{d_2}{d_1} + \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)} \\ \Psi &= 2 \cdot \operatorname{arcctg}\left(\frac{\frac{d_2}{d_1} + \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)}\right)\end{aligned}$$

где:  $d_1, d_2$  – линейные расстояния между точками X1Y1, X2Y2, X3Y3;  
 угол  $\alpha$  – угол между отрезками X1Y1 - X2Y2, и X2Y2 - X3Y3

$$R_1 = \frac{d_1}{2 \cdot \sin\left(\frac{\Psi}{2}\right)}$$

Расстояние между двумя точками с известными координатами определился как корень квадратный из сумм квадратов разностей по оси X и оси Y

$$d_1 = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Расчет пикетажа по мгновенным радиусам:

Выделим из ранее выведенного уравнения значение угла  $\alpha$

$$\begin{aligned}\frac{\left(\frac{d_1}{2}\right)}{R_1} &= \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \\ \alpha &= 2 \cdot \arcsin\left(\frac{d_1}{2 \cdot R_1}\right)\end{aligned}$$

Длина дуги C1 определятся как радиус умноженный на угол умноженный на  $\pi$  разделить на 180. Подставим в уравнение значения угла  $\alpha$  и получим:

$$C_1 = \frac{\pi \cdot R_1 \cdot \Psi}{180} = \frac{\pi \cdot R_1}{180} \cdot 2 \cdot \operatorname{arcctg}\left(\frac{\frac{d_2}{d_1} + \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)}\right) = \frac{\pi \cdot R_1}{90} \cdot \operatorname{arcctg}\left(\frac{\frac{d_2}{d_1} + \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)}\right)$$

Поправка на длину при расчете геометрии пути будет равна разнице расстояния между точками по криволинейному участку и линейному расстоянию между точками:  $\Delta = C_1 - d_1$ .

После подбора радиуса и необходимо произвести следующую итерацию расчета и перейти на следующий отрезок и рассмотрении треугольника ( $O_2 - X_3Y_3 - X_2Y_2$ ) и ( $O_1 - X_3Y_3 - X_4Y_4$ ).

Поправку необходимо распределить на каждый  $i$ -й отрезок пути для корректного расчета геометрии пути.

Иногда в полевых условиях возникает необходимость выполнить координирование противоположной головки рельса, относительно тех, которые снимались при расчете кривой. При построении хорд в данной точке не будет возможности произвести корректное смещение точки на ось пути, так как нет соседней точки на этой же головке рельса. Для этого необходимо смещать точку на ось пути используя полученную ось из предыдущих точек, находящихся на одной головке рельса и определенного дирекционного угла в  $(i-1)$  и  $(i+1)$  точках. Методика определения координаты точки  $X_0Y_0$  представлена ниже (рисунок 18).

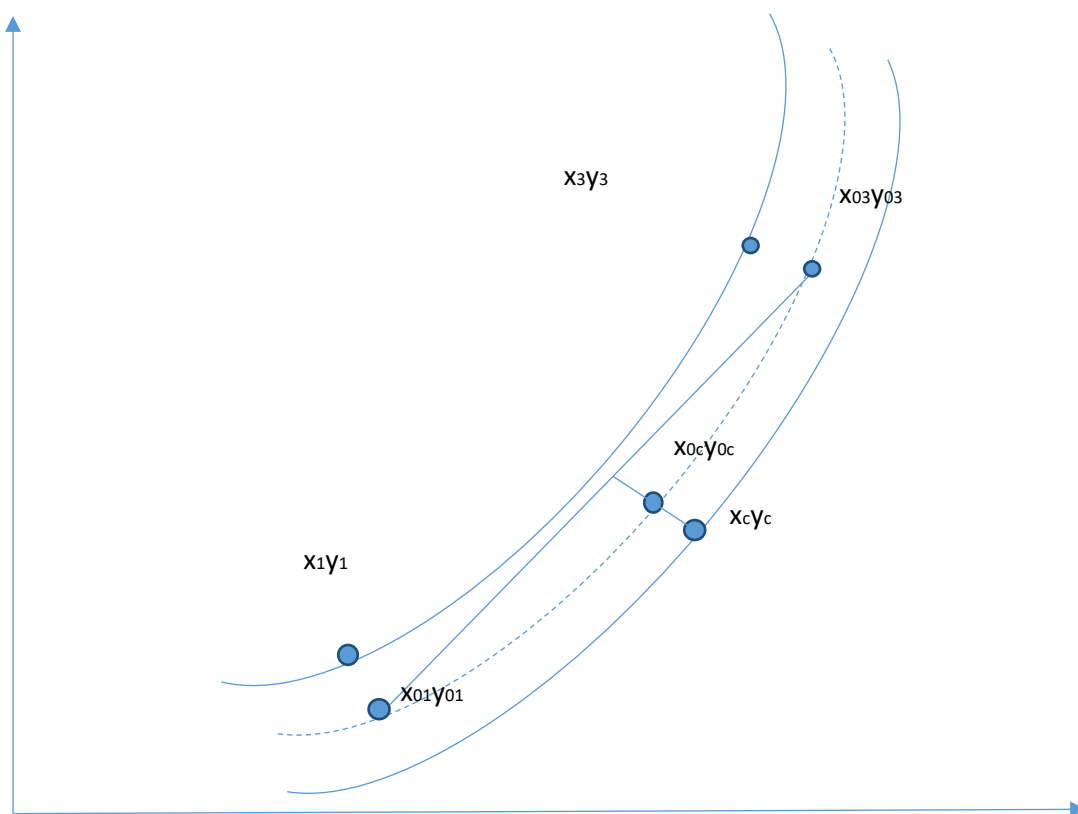


Рисунок 18 - Схема определения радиуса кривой пути, полученной по координатам разных головок рельсов

Для определения координат точки оси пути из данных координатной съёмки, необходимо рассмотреть следующую модель определения координаты точки при смещении влево и вправо (рисунок 19)

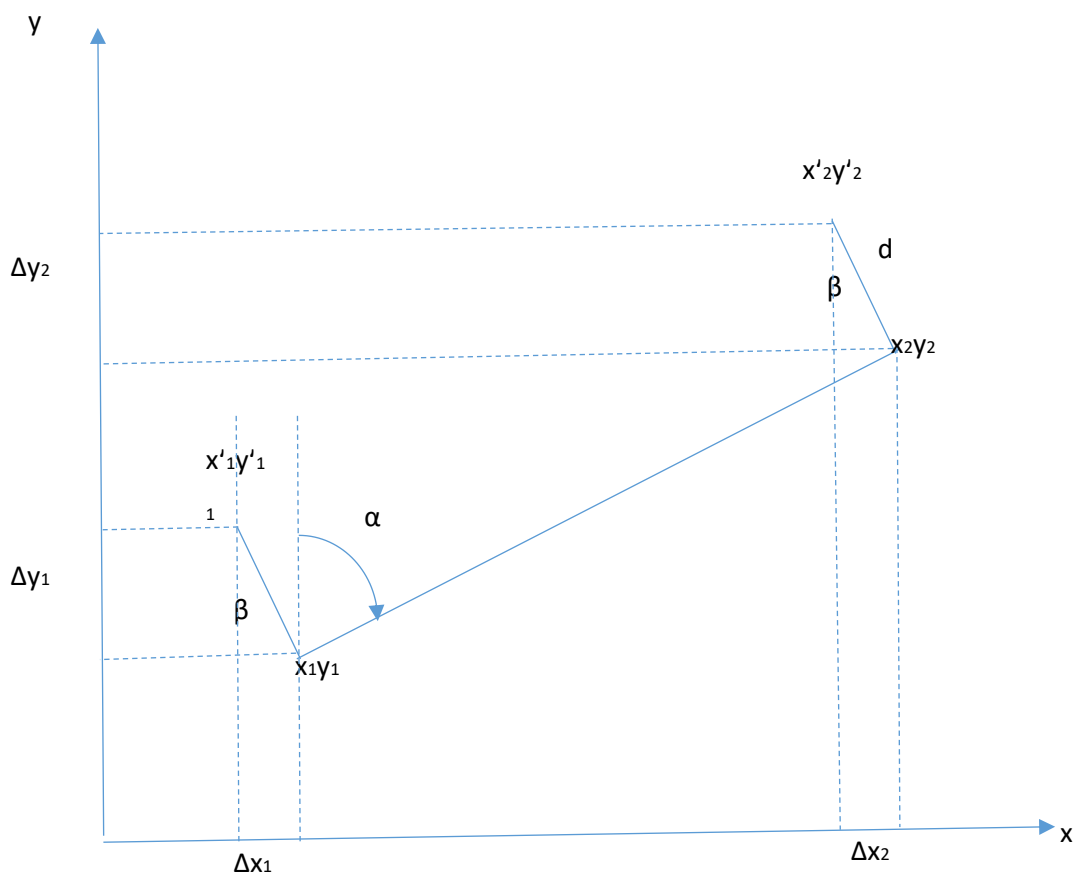


Рисунок 19 - Схема определения координат оси пути из координат правых головок рельса

1) Определение координаты точки при смещении влево:

Рассмотрим, что  $x_1y_1$  и  $x_2y_2$  – фактические координаты точек, снятые инженерном топографом либо от оси головки рельса, либо по рабочей грани рельса. На схеме видно, что приращение по ординате X и Y равно проекции смещения отрезка:

$x'_1 = x_1 - \Delta x_1$  - новая координата x первой точки

$y'_1 = y_1 + \Delta y_1$  - новая координата y первой точки

$\Delta x_1 = d \cdot \sin(\beta)$  – приращении координаты получается через тригонометрические функции:

$$\Delta y_1 = d \cdot \cos(\beta)$$

$$x'_1 = x_1 - d \cdot \sin(\beta)$$

$$y'_1 = y_1 + d \cdot \cos(\beta)$$

$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

$$x'_1 = x_1 - d \cdot \sin(90 - \alpha)$$

$$y'_1 = y_1 + d \cdot \cos(90 - \alpha)$$

$$x'_2 = x_2 - d \cdot \sin(90 - \alpha)$$

$$y'_2 = y_2 + d \cdot \cos(90 - \alpha)$$

2) Определение координаты точки при смещении вправо (рисунок 20):

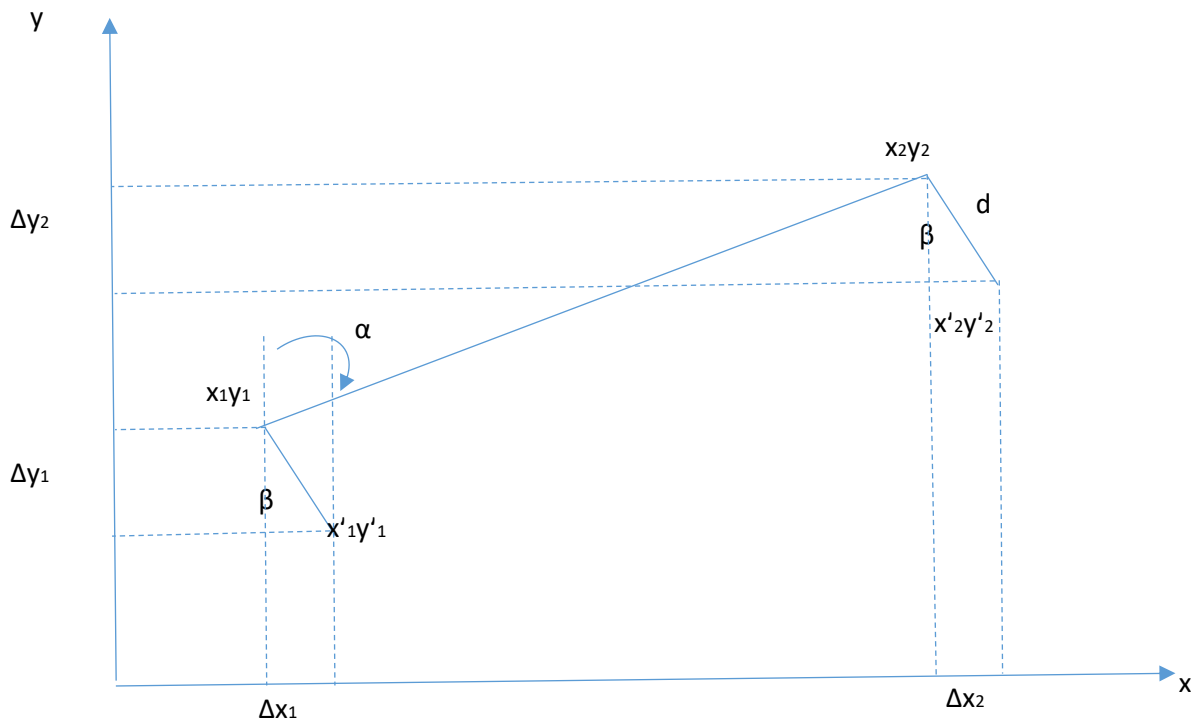


Рисунок 20 - Схема для определения координат оси пути из координат левых головок рельса

$$\begin{aligned}
 x'_1 &= x_1 + \Delta x_1 \\
 y'_1 &= y_1 - \Delta y_1 \\
 \Delta x_1 &= d \cdot \sin(\beta) \\
 \Delta y_1 &= d \cdot \cos(\beta) \\
 x'_1 &= x_1 + d \cdot \sin(\beta) \\
 y'_1 &= y_1 - d \cdot \cos(\beta) \\
 \beta &= 90^\circ - \alpha \\
 x'_1 &= x_1 + d \cdot \sin(90 - \alpha) \\
 y'_1 &= y_1 - d \cdot \cos(90 - \alpha) \\
 x'_2 &= x_2 + d \cdot \sin(90 - \alpha) \\
 y'_2 &= y_2 - d \cdot \cos(90 - \alpha)
 \end{aligned}$$

### Нахождение усреднения координат

Задача по нахождению среднего значения исходит из того, что отрезок А и В, как показано на схеме, если они не принадлежат одной прямой, при параллельном смещении не будут иметь общую точку. Для этого необходимо определить мнимую точку  $x'_{cp}y'_{cp}$  через уравнения прямой (Рисунок 21)

Рассмотрим уравнение прямой А:

$$y - y'_1 = \frac{y'_2 - y'_1}{x'_2 - x'_1} \cdot (x - x'_1),$$

где  $x$  и  $y$  координаты точек, через которые проходит прямая.

Заменим отношение разностей по ординатам переменной К:

$$k_1 = \frac{y'_2 - y'_1}{x'_2 - x'_1}$$

$$y - y'_1 = \frac{y'_2 - y'_1}{x'_2 - x'_1} \cdot (x - x'_1)$$

$$k_1 = \frac{y'_2 - y'_1}{x'_2 - x'_1}$$

Рассмотрим уравнение второй прямой:

$$y - y'_2 = \frac{y'_3 - y'_2}{x'_3 - x'_2} \cdot (x - x'_2)$$

Аналогично заменяем отношение разностей по ординатам переменной К:

$$k_2 = \frac{y'_3 - y'_2}{x'_3 - x'_2}$$

Определяем точку пересечения двух прямых А и В, управления которых были определены ранее:

$$x'_{2cp} = \frac{k_1 \cdot x'_1 - y'_1 + y'_2 - k_2 \cdot x'_2}{k_1 - k_2}$$

$$y'_{2cp} = y'_1 + k_1 \cdot (x - x'_1)$$

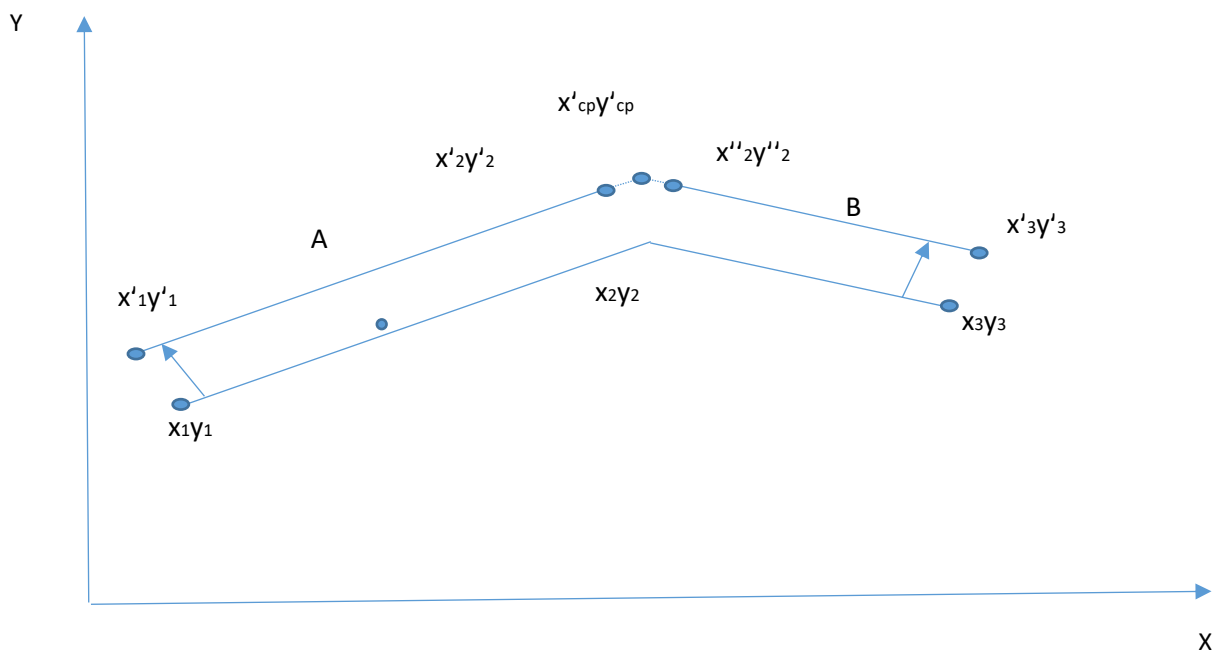


Рисунок 21 - Схема определения координат оси пути в местах перелома

## 2.4 Выводы по главе 2.

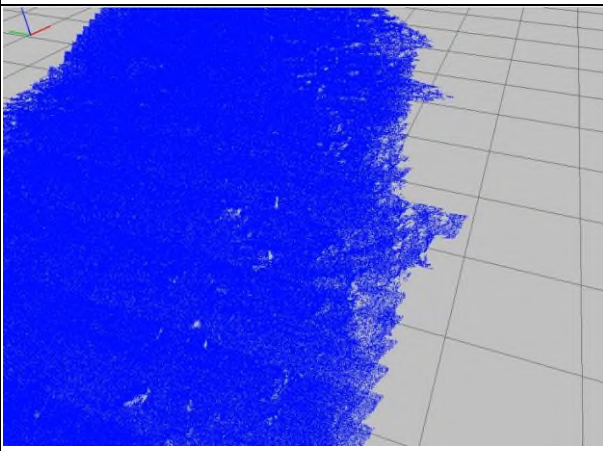
1. Произведена оценка различных вариантов проведения полевых и камеральных работ при проведении инженерных изысканий по критерию точности и информативности конечного результата, представляемого в виде технического отчета цифровой информационной модели, а также его трудоемкости.
2. Проведено сравнение и выбор оптимальной технологий съемки местности, используемых для получения цифровых информационных моделей по результатам их камеральной обработки с выбором оптимального варианта в рамках цели настоящего исследования.
3. Определен перечень критериев, необходимых для оценки перспектив использования указанных технологий для повышения качества исходных данных и их применения на объектах строительства и реконструкции железнодорожной инфраструктуры с использованием технологии информационного моделирования.
4. Описана система кодирования полевых данных, позволяющая повысить уровень автоматизации процесса камеральной обработки данных съемки, полученных с использованием ГНСС –оборудования.
5. Описаны алгоритмы позиционирования элементов информационной модели верхнего строения пути, позволяющие точно определять положение и угол поворота объектов ситуации цифровой информационной модели относительно оси железнодорожного пути.
6. Для дальнейших исследований целесообразно провести выбор технологических методов, технических и программных средств, использование которых в рамках инженерных изысканий создаст предпосылки к повышению качества исходных данных и применения технологии информационного моделирования в проектировании объектов строительства и реконструкции железнодорожной инфраструктуры.

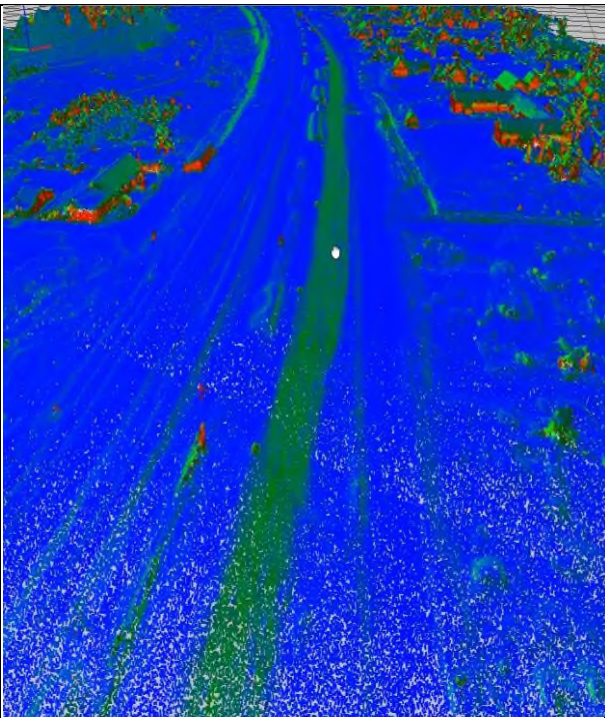
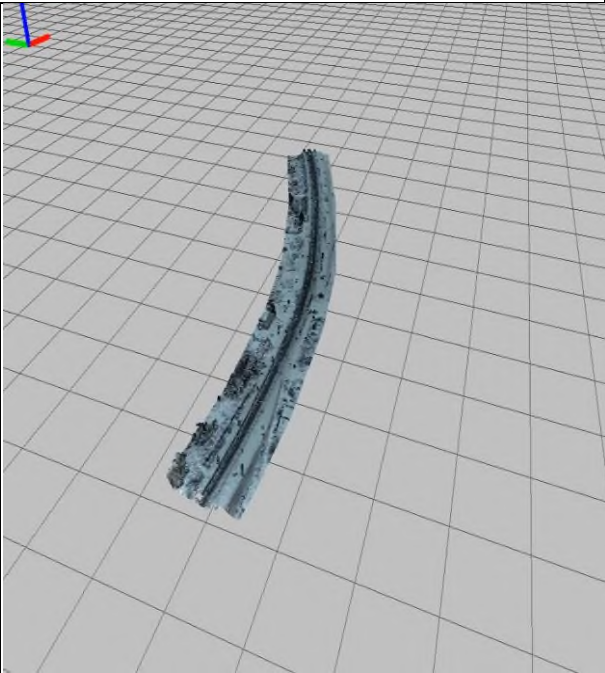
## ГЛАВА 3 ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ ЦИММ

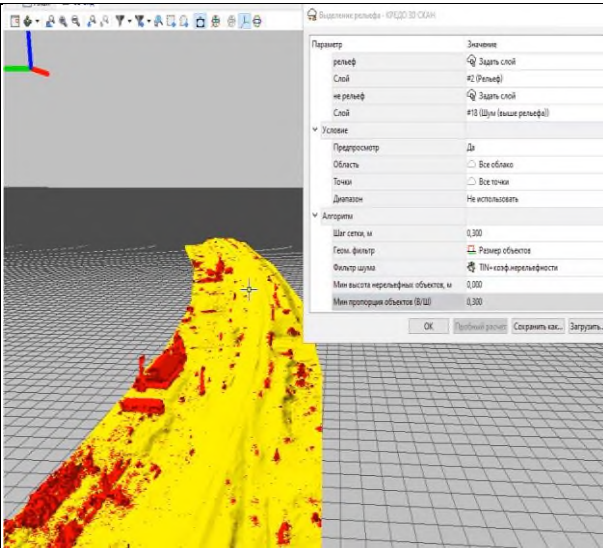
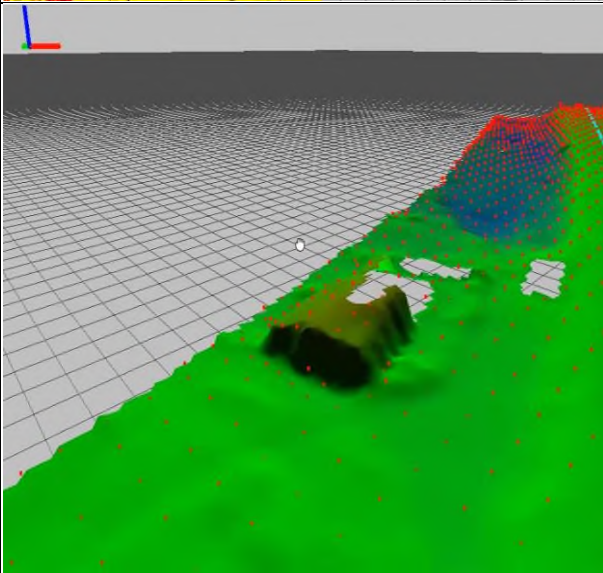
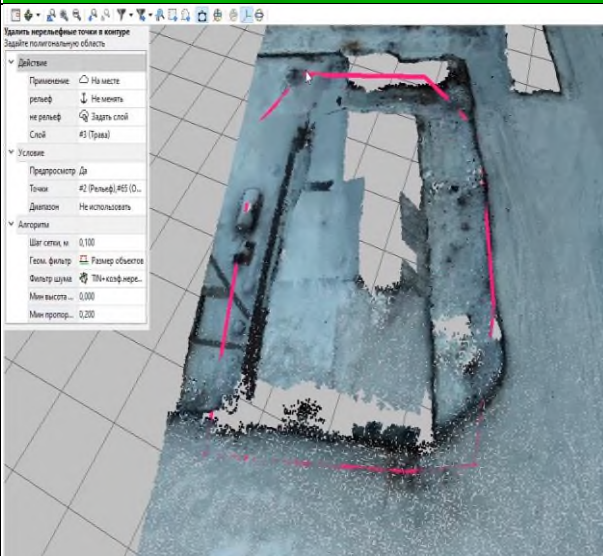
В рамках цели настоящей работы, задачами, решаемыми в данной главе, являются: выбор технологических методов, технических и программных средств, использование которых в рамках инженерных изысканий создаст предпосылки к повышению качества исходных данных и применения технологии информационного моделирования в проектировании объектов строительства и реконструкции железнодорожной инфраструктуры, а также разработка предложений по автоматизации процесса камеральной обработки результатов полевых работ на основе результатов проведенных исследований.

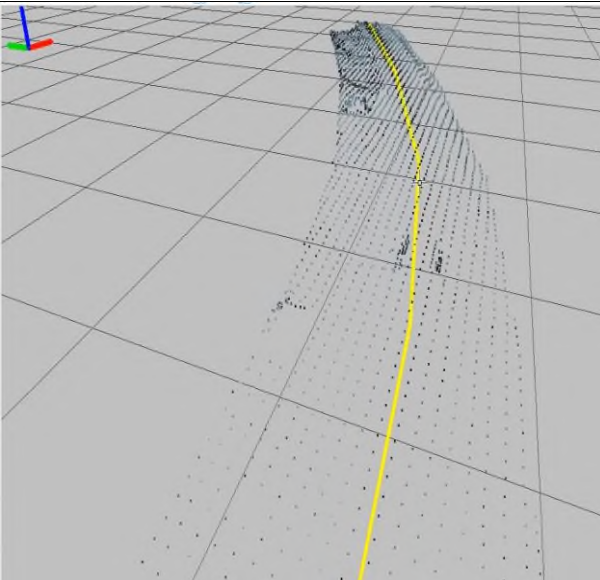
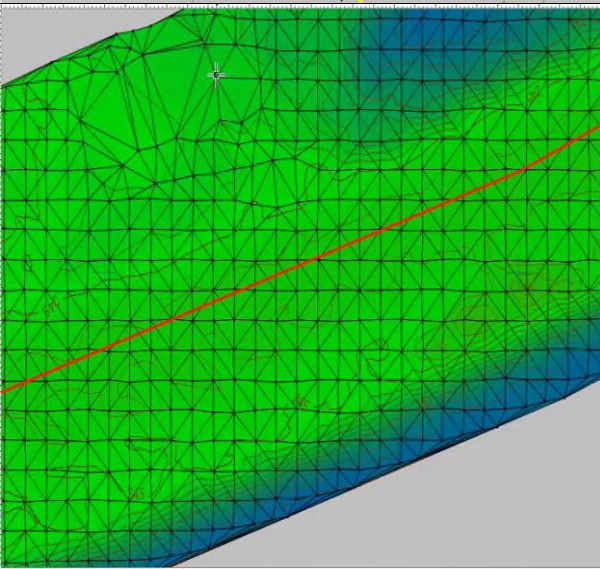
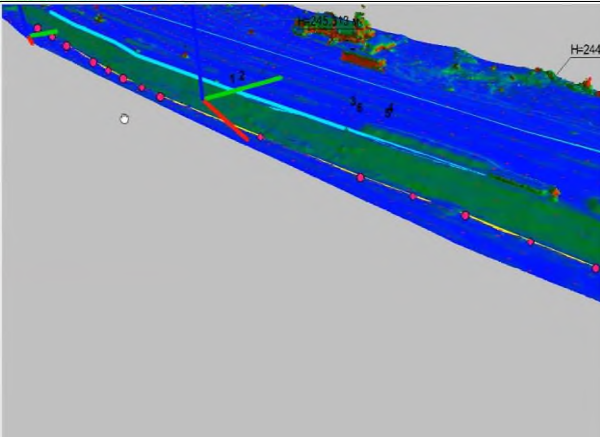
### 3.1. Автоматизированная обработки данных облаков точек с использованием программного обеспечения КРЕДО 3D Scan

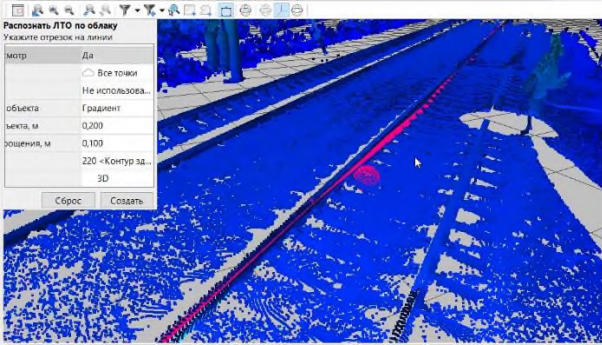
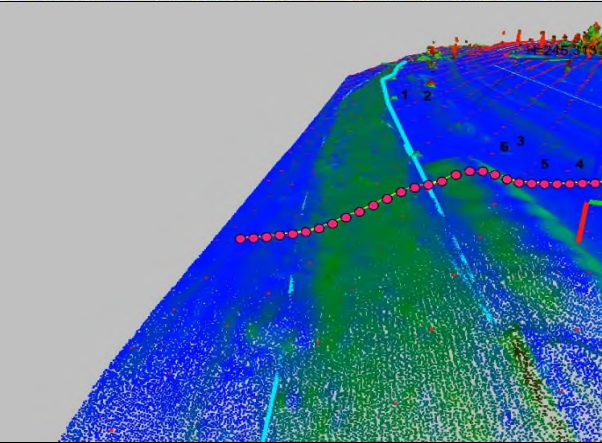
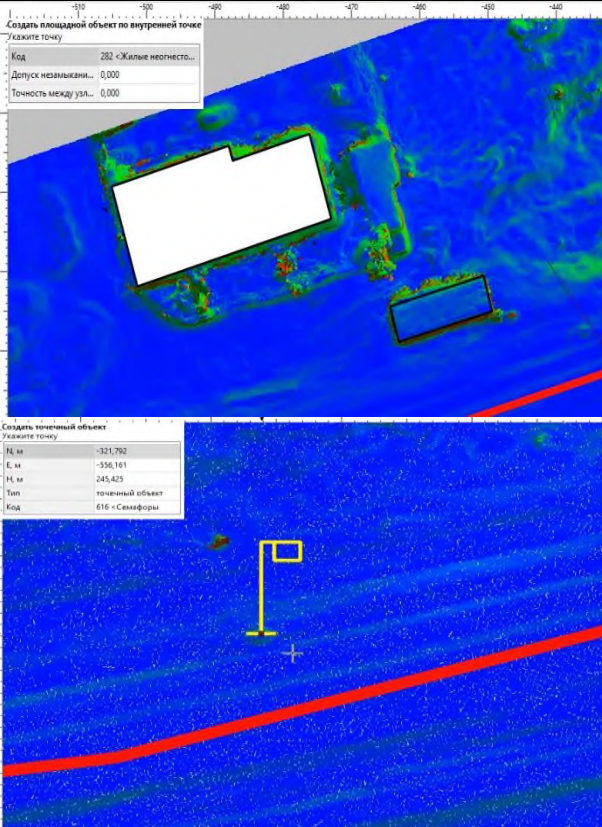
Таблица 6 – Технология обработки данных облаков точек с использованием программного обеспечения КРЕДО 3D Scan

| №  | Наименование операции                               | Результат операции                                                                   | Способ выполнения |
|----|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 1  | 2                                                   | 3                                                                                    | 4                 |
| 1. | Импорт точек в формате LAS, LAZ, E57, TXT           |  | Автоматически     |
| 2. | Импорт данных инструментальной съемки (при наличии) |                                                                                      | Вручную           |
| 3. | Выбор системы координат                             |                                                                                      | Вручную           |

|      |                                                                                                                                                                      |                                                                                     |               |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 4.   | Улучшение визуализации облака точек<br>Расчет<br>(Рассчитать нормали, рассчитать локальные плотности, рассчитать высоты относительно рельефа, сравнить облака точек) |   | Автоматически |
| 5.   | Камеральная обработка облака точек                                                                                                                                   |                                                                                     |               |
| 5.1. | Выбор рабочей области                                                                                                                                                |                                                                                     | Вручную       |
| 5.2. | Разбивка рабочей области на полигоны<br>(для организации совместной работы)                                                                                          |  | Вручную       |

|        |                                                                  |                                                                                                                                   |
|--------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5.3.   | Классификация объектов облака точек                              |                                                                                                                                   |
| 5.3.1. | Выделение рельефа                                                | <div><div></div><div>Автоматически</div></div>  |
| 5.3.2. | Построение DEM матрицы (для проверки качества выделения рельефа) | <div><div></div><div>Автоматически</div></div> |
| 5.3.3. | Удаление нерельефных точек (при наличии)                         | <div><div></div><div>Вручную</div></div>      |

|        |                                                                                                                                                 |                                                                                      |               |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 5.3.4. | Получение точек модели поверхности (Фильтрация точек рельефа для формирования поверхности (прореживание по квадрату, адаптивное прореживание)). |    | Автоматически |
| 5.3.5. | Построение поверхности рельефа                                                                                                                  |   | Автоматически |
| 5.3.6. | Построение структурных линий элементов рельефа                                                                                                  |  | Вручную       |

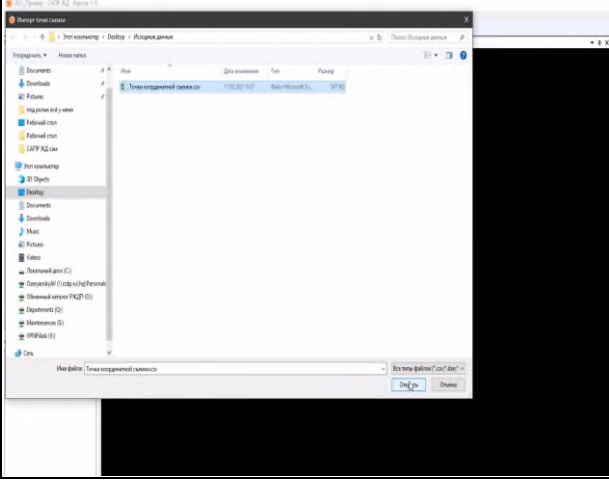
|        |                                           |                                                                                     |               |
|--------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|        |                                           |   | Автоматически |
| 5.3.7. | Построение продольных, поперечных сечений |   | Вручную       |
| 5.3.8. | Построение элементов ситуации             |  | Вручную       |

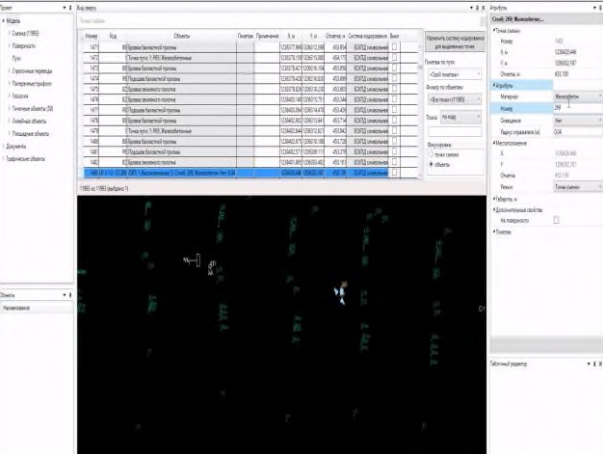
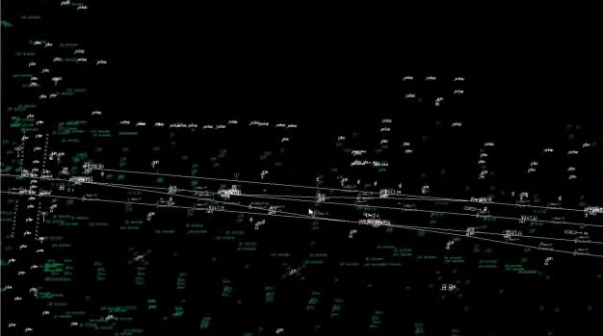
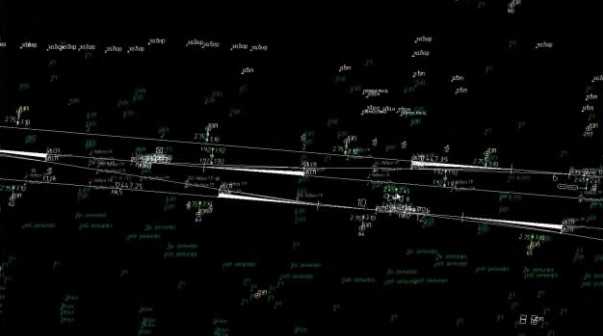
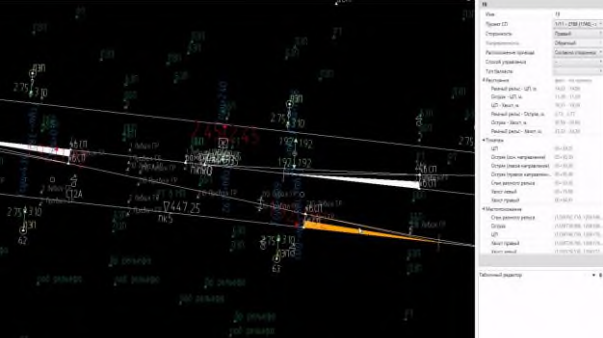
|      |                                            |                                                                                    |                                                                        |
|------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 5.4. | Получение<br>результатирующей<br>ЦИММ/ЦИМС |  | Полуавтомати-<br>чески (с ис-<br>пользованием<br>ПО Кредо<br>Топограф) |
|------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|

Результатом обработки облака точек является набор поверхностей, характеризующих уровень поверхности земли, линейные объекты ситуационного плана (дороги, проезды, ливневая канализация, ограждения и другие), точечные объекты (здания, сооружения, столбы ЛЭП, деревья и другие). Далее в разделе 3.3.2 представлены результаты эксперимента, позволяющие на практике определить точность данных ЦИММ/ЦИМС, полученной посредством воздушного лазерного сканирования.

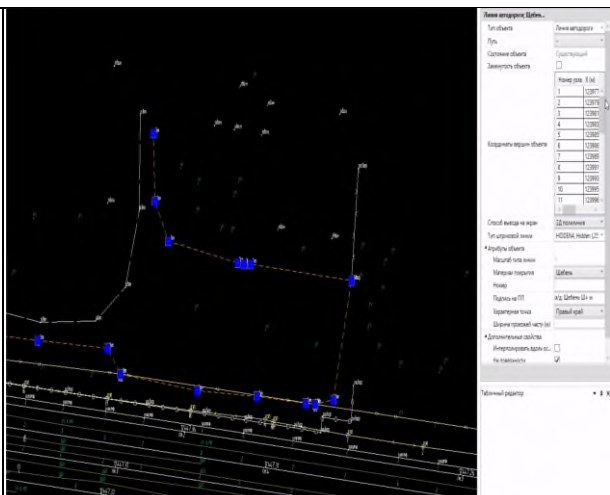
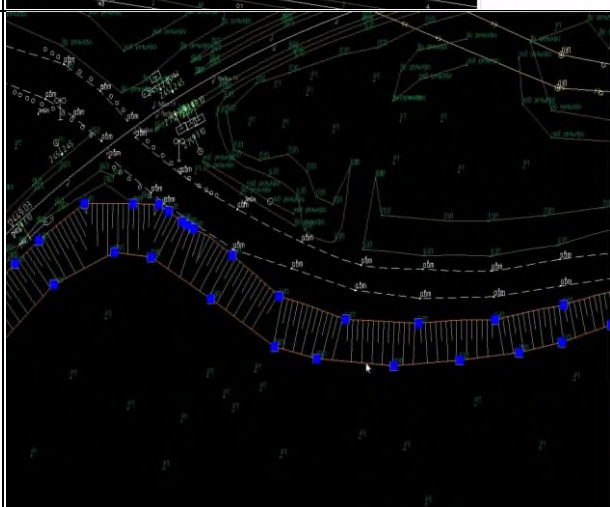
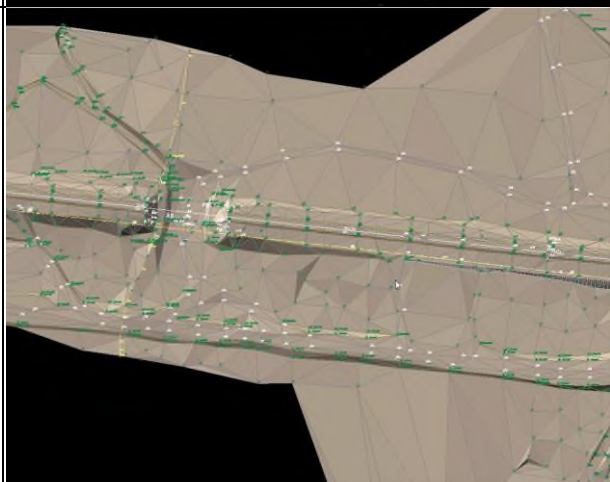
### 3.2. Автоматизированная обработка результатов топографической съемки с использованием программного обеспечения САПР ЖД

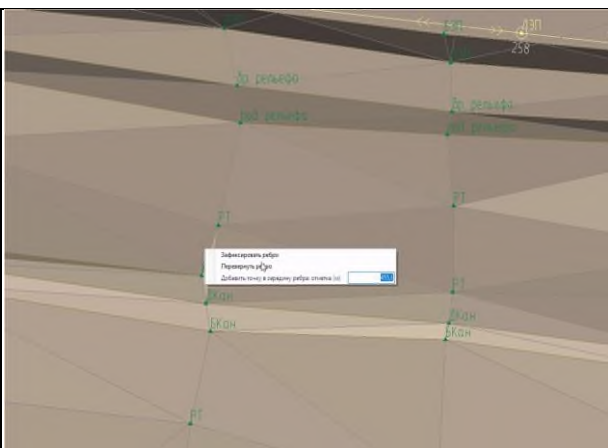
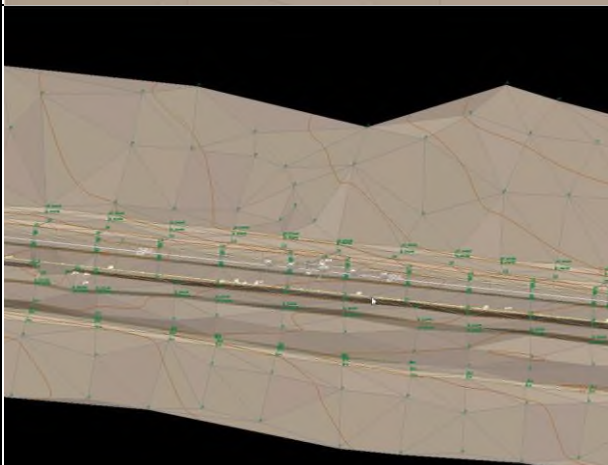
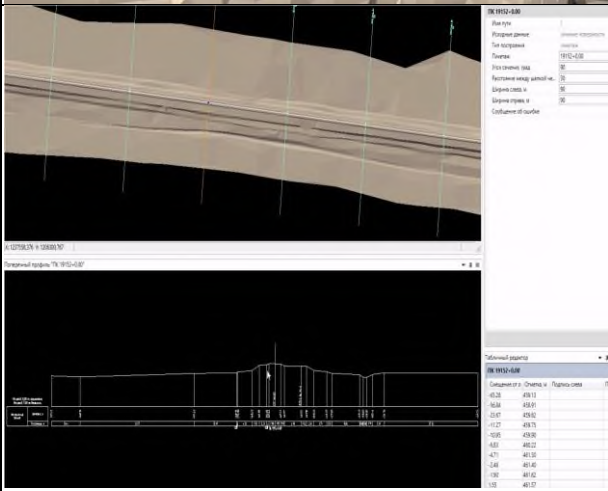
Таблица 7 – Технология обработки результатов ГНСС-съемки с использованием программного обеспечения САПР ЖД

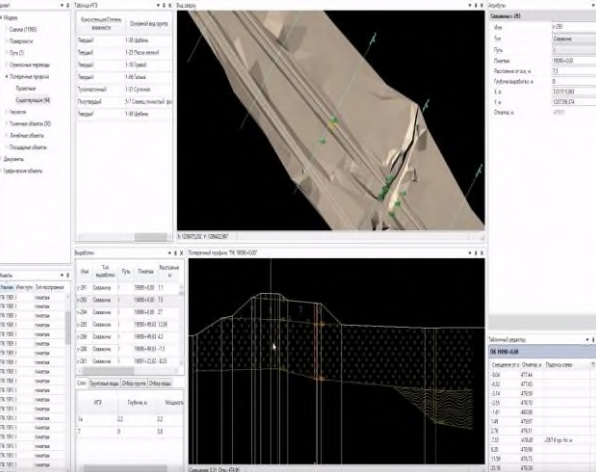
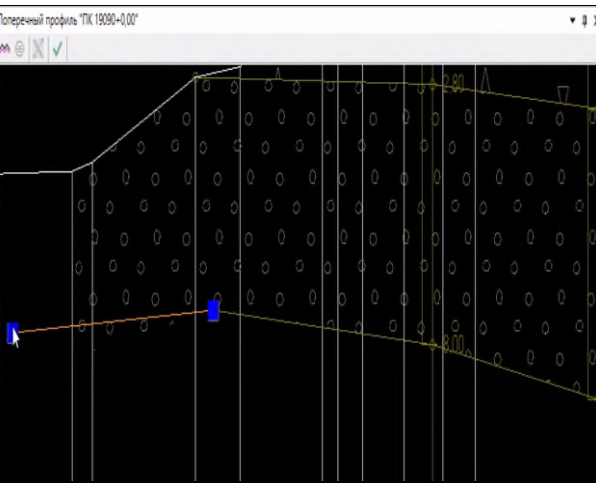
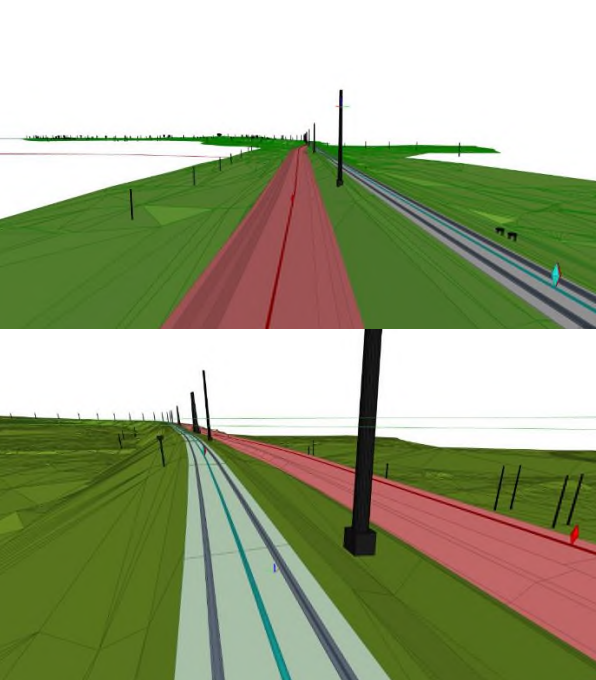
| №  | Наименование операции                                                   | Результат операции                                                                   | Способ выполнения |
|----|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 1  | 2                                                                       | 3                                                                                    | 4                 |
| 1. | Импорт топографической информации (множества точек) из текстового файла |  | Автоматически     |

|                                                                                                                  |                                                                                      |               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 2. Декодирование информации ЕСКПД, формирование конечных объектов с набором атрибутов, в соответствии с его типу |    | Автоматически |
| 3. Построение путей                                                                                              |    | Автоматически |
| 4. Построение стрелочных переводов                                                                               |   | Автоматически |
| 5. Назначение атрибутов стрелочного перевода                                                                     |  | Вручную       |

|                                                                                                                                 |                                                                                    |               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 6. Построение структурных (ситуационных) линий (используется уникальный алгоритм, учитывающий набор взаимосвязанных параметров) |  | Автоматически |
| Перечень доступных для автоматического построения объектов:                                                                     |                                                                                    |               |
| 1. Линия уреза воды                                                                                                             | 29. Линия подошвы защитного слоя                                                   |               |
| 2. Линия бровки кювета                                                                                                          | 30. Линия бровки нагорной канавы                                                   |               |
| дальнее                                                                                                                         | ближняя                                                                            |               |
| 3. Линия воздухопровода                                                                                                         | 31. Линия начала бермы                                                             |               |
| 4. Линия платформы                                                                                                              | 32. Линия бровки нагорной канавы                                                   |               |
| 5. Линия берега                                                                                                                 | дальняя                                                                            |               |
| 6. Линия подошвы выемки                                                                                                         | 33. Линия бровки бермы                                                             |               |
| 7. Линия канализации                                                                                                            | 34. Линия подошвы рельефа                                                          |               |
| 8. Линия неизвестные                                                                                                            | 35. Линия подошвы земляного полотна                                                |               |
| объекты                                                                                                                         | 36. Линия бровки рельефа                                                           |               |
| 9. Линия дна оврага                                                                                                             | 37. Линия дна кювета                                                               |               |
| 10. Линия бровки полки                                                                                                          | 38. Линия ямы                                                                      |               |
| откоса выемки                                                                                                                   | 39. Линия технологического                                                         |               |
| 11. Линия нефтепровода                                                                                                          | трубопровода                                                                       |               |
| 12. Линия бровки оврага                                                                                                         | 40. Линия верха лотка                                                              |               |
| 13. Линия начала полки                                                                                                          | 41. Линия забора                                                                   |               |
| откоса выемки                                                                                                                   | 42. Линия паропровода                                                              |               |
| 14. Линия газопровода                                                                                                           | 43. Линия дна кювета ближнее                                                       |               |
| 15. Линия автодороги                                                                                                            | 44. Линия опор КС                                                                  |               |
| 16. Линия бровки выемки                                                                                                         | 45. Линия золопровода                                                              |               |
| 17. Линия теплотрассы                                                                                                           | 46. Линия дна кювета дальнее                                                       |               |
| 18. Линия бровки                                                                                                                | 47. Линия ЛЭП                                                                      |               |
| 19. Линия дна канавы                                                                                                            | 48. Линия бензопровода                                                             |               |
| 20. Линия трубопровода                                                                                                          | 49. Линия бровки кювета                                                            |               |
| 21. Линия бровки баластной                                                                                                      | 50. Линия кабеля                                                                   |               |
| призмы                                                                                                                          | 51. Линия мазутопровода                                                            |               |
| 22. Линия дна нагорной                                                                                                          | 52. Линия бровки кювета ближнее                                                    |               |
| канавы ближнее                                                                                                                  | 53. Линия водопровода                                                              |               |
| 23. Линия подошвы                                                                                                               | 54. Линия пневмопочты                                                              |               |
| баластной призмы                                                                                                                |                                                                                    |               |

|    |                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                      |                                                          |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|    | <p>24. Линия дна нагорной канавы</p> <p>Линия рельефа в МП</p> <p>25. Линия дна нагорной канавы дальше</p> <p>26. Линия шлакопровода</p> <p>27. Линия бровки земляного полотна</p> <p>28. Линия бровки канавы</p> |                                                                                      |                                                          |
| 7. | <p>Редактирование ситуационных линий, назначение значения атрибутов</p>                                                                                                                                           |   | Вручную                                                  |
| 8. | <p>Формирование откосов земляного полотна</p>                                                                                                                                                                     |  | Полуавтоматически<br>(требуется выбор исходных объектов) |
| 9. | <p>Построение цифровой модели рельефа (ЦМР)</p>                                                                                                                                                                   |  | Автоматически                                            |

| 10. Редактирование поверхности                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Вручную                                               |           |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |               |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|---------------|
| 11. Построение горизонталей                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Автоматически                                         |           |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |               |
| 12. Назначение пикетажа пути                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Полуавтоматически<br>(требуется ввод исходных данных) |           |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |               |
| 13. Построение поперечных профилей на основе ЦМР |  <table><tr><th>Поперечный профиль ПК 1915+0.00</th><th>Высота, м</th></tr><tr><td>0+00</td><td>458.11</td></tr><tr><td>0+05</td><td>458.01</td></tr><tr><td>0+10</td><td>458.02</td></tr><tr><td>0+15</td><td>458.73</td></tr><tr><td>0+20</td><td>458.99</td></tr><tr><td>0+25</td><td>460.22</td></tr><tr><td>0+30</td><td>461.08</td></tr><tr><td>0+35</td><td>461.65</td></tr><tr><td>0+40</td><td>461.62</td></tr><tr><td>0+45</td><td>461.37</td></tr></table> | Поперечный профиль ПК 1915+0.00                       | Высота, м | 0+00 | 458.11 | 0+05 | 458.01 | 0+10 | 458.02 | 0+15 | 458.73 | 0+20 | 458.99 | 0+25 | 460.22 | 0+30 | 461.08 | 0+35 | 461.65 | 0+40 | 461.62 | 0+45 | 461.37 | Автоматически |
| Поперечный профиль ПК 1915+0.00                  | Высота, м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                       |           |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |               |
| 0+00                                             | 458.11                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                       |           |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |               |
| 0+05                                             | 458.01                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                       |           |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |               |
| 0+10                                             | 458.02                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                       |           |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |               |
| 0+15                                             | 458.73                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                       |           |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |               |
| 0+20                                             | 458.99                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                       |           |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |               |
| 0+25                                             | 460.22                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                       |           |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |               |
| 0+30                                             | 461.08                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                       |           |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |               |
| 0+35                                             | 461.65                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                       |           |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |               |
| 0+40                                             | 461.62                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                       |           |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |               |
| 0+45                                             | 461.37                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                       |           |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |               |

|     |                                                   |                                                                                      |               |
|-----|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 14. | Импорт данных о геологическом строении            |    | Автоматически |
| 15. | Редктирование информации о геологическом строении |   | Вручную       |
| 16. | Получение результирующей ЦИММ/ЦИМС                |  | Автоматически |

### 3.3. Требования к объему и точности данных съемки

Требования к качеству и полноте изыскательских данных также зависят от назначения их дальнейшего использования. В рамках имеющейся практики взаимодействия с ОАО «РЖД», выделяются следующие этапы жизненного

цикла объекта капитального строительства, предъявляющих различный набор требований к составу и точности документации:

1. Проработка основных проектных решений (ОПР) и их стоимости на этапе предпроектной проработки.
2. Разработка проектной и рабочей документации.

Ниже приведем описание проектов, выполняемых в рамках программы развития железнодорожной инфраструктуры, с характеристикой количества / плотности объектов и требованиям к данным съемки. Для удобства анализа, с целью выбора оптимального метода проведения съемки, представленные данные сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Количество моделируемых объектов в ЦИМС/ЦИММ

| №            | Тип объекта         | Количество моделируемых объектов ЦИМС                                      |                                                                                  |
|--------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|              |                     | на этапе ОПР                                                               | на этапе разработки проектной и рабочей документации                             |
| 1            | 2                   | 3                                                                          | 4                                                                                |
| Станции      |                     |                                                                            |                                                                                  |
| 1.           | Новое строительство | Более 2000 элементов (для станции, протяженностью 3 км)                    | Не менее 5000 элементов (для станции, протяженностью 3 км)                       |
| 2.           | Реконструкция       |                                                                            |                                                                                  |
| 3.           | Капитальный ремонт  |                                                                            |                                                                                  |
| Перегоны     |                     |                                                                            |                                                                                  |
| 4.           | Новое строительство | До 1000 элементов (для электрифицированного перегона, протяженностью 3 км) | Не менее 2000 элементов (для электрифицированного перегона, протяженностью 3 км) |
| 5.           | Реконструкция       |                                                                            |                                                                                  |
| 6.           | Капитальный ремонт  |                                                                            |                                                                                  |
| Объекты ИССО |                     |                                                                            |                                                                                  |
| 7.           | Новое строительство | Менее 500 элементов (для одного объекта ИССО)                              | Не менее 500 элементов (для одного объекта ИССО)                                 |
| 8.           | Реконструкция       |                                                                            |                                                                                  |
| 9.           | Капитальный ремонт  |                                                                            |                                                                                  |

### 3.3.1. Требования к объему и точности данных инженерных изысканий на этапе ОПР

Требования к объему и точности данных съемки местности на этапе ОПР определяются требованием минимизации отклонения величины предварительной оценки стоимости реализации проекта от его стоимости, определенной по итогам разработки проектной и рабочей документации. На данный момент, указанное выше отклонение по требованию Заказчика не должно быть выше 10 процентов. На данный момент, имеют место случаи, в которых величина отклонения стоимости проекта на этапе ОПР и на этапе разработки проектной документации отличалась в 1,5 и более раз, что в денежном выражении составляло сумму более 3 млрд. руб. Данное обстоятельство, при принятии решения о реализации проекта, требовало от Заказчика проведения работы по корректировке инвестиционной программы в части перераспределения средств с других проектов. Таким образом, часть проектов оставалась без финансирования, и их реализация переносилась на

более поздний срок, или приостанавливалась. Учитывая стратегическое значение проекта развития железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона, данная ситуация создает риски срыва установленных Правительством Российской Федерации темпов увеличения пропускной способности транспортных магистралей Дальнего.

### 3.3.2. Экспериментальное обоснование точности применяемых технологий съемки

Основная цель представленного материала, выяснить посредством эксперимента данные о точности технологий воздушного лазерного сканирования и наземной съёмки.

Для примера рассмотрим объект Дальневосточной дирекции инфраструктуры «Реконструкция ст. Ядрин Дальневосточной железной дороги». На рисунке 22 показаны данные наземной съемки, обработанные в программном комплексе САПР ЖД.

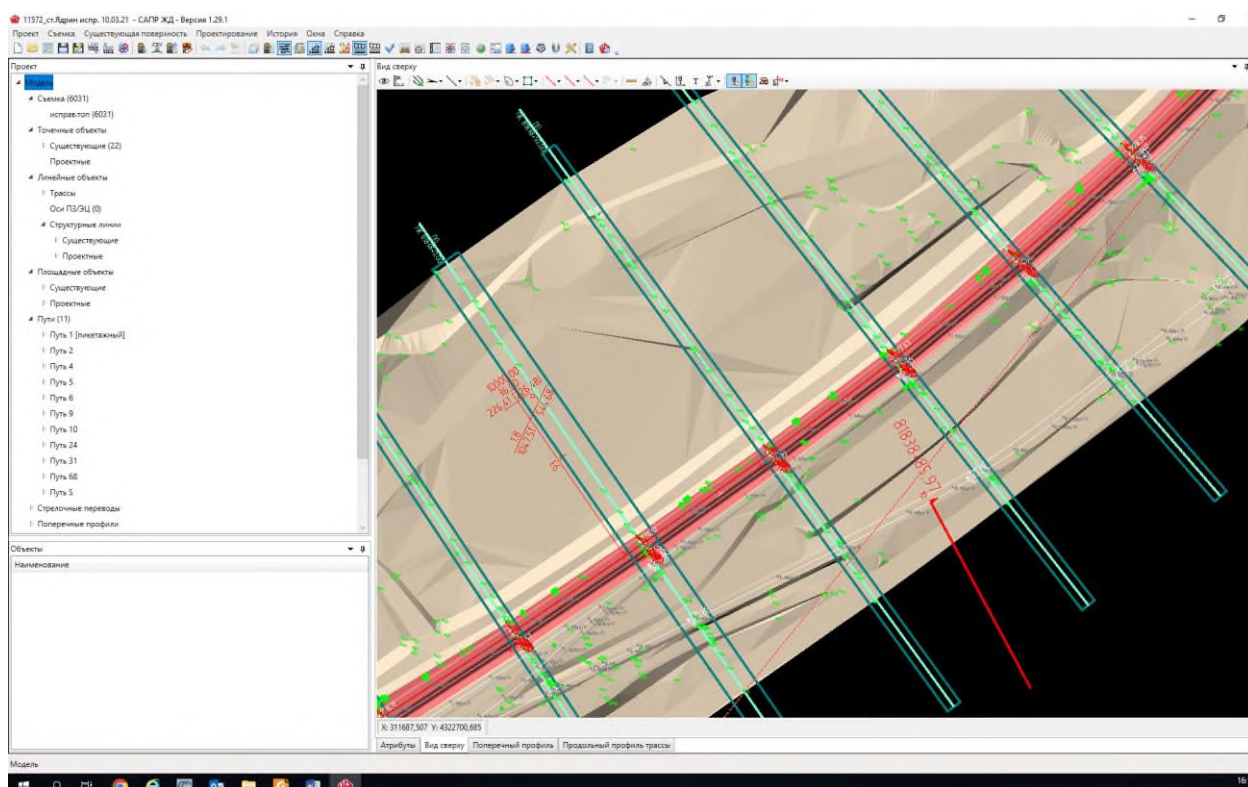


Рисунок 22 – Фрагмент модели поверхности, полученной по результатам наземной съемки

Эти данные, принимаются за эталон при сравнении с данными воздушного лазерного сканирования, обработанные в программном комплексе Agisoft Metashape – аналоге КРЕДО 3D Scan (оба программных комплекса российского производства).

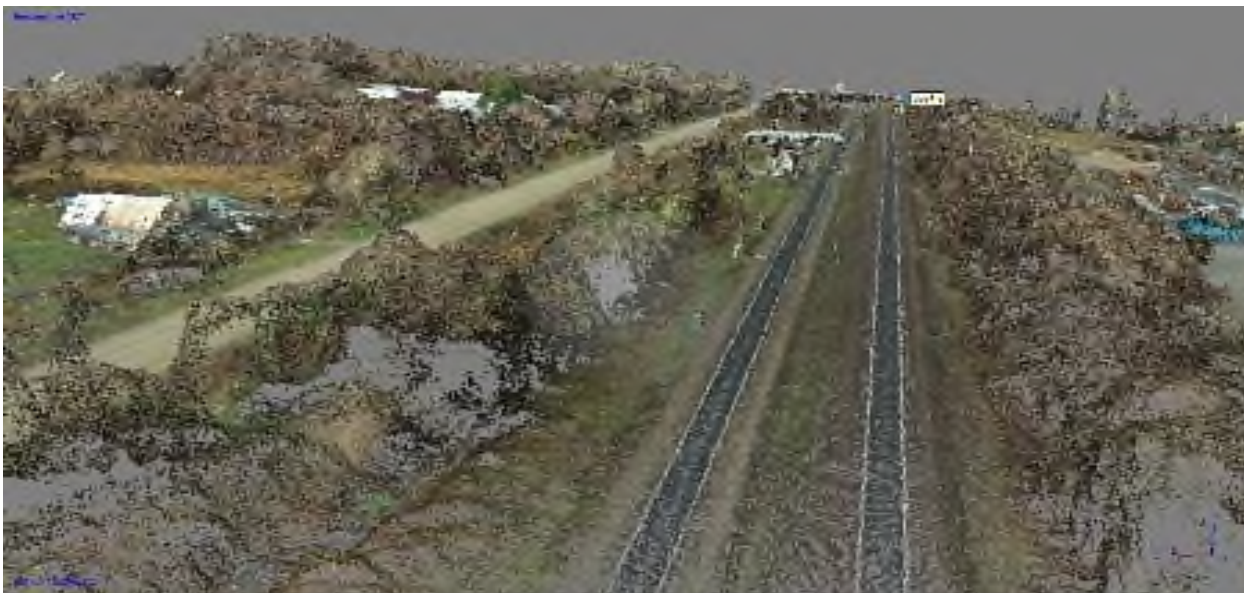


Рисунок 23 – Фрагмент модели поверхности, полученной по результатам воздушной лазерной съемки

Произведем сравнение данных двух моделей, в пяти произвольно выбранных местах. Для корректности проведения эксперимента, измерения по облачным данным производятся от оси головки рельса, поскольку её очертание хорошо просматривается в облачном массиве. Для определения габаритного значения необходимо добавить или отнять половину расстояния между осями головок рельсов. В целочисленном значении это составляет 1600 мм / 2 = 800 мм = 0,8 м. Измерение в информационной модели САПР ЖД производятся от уже построенной оси пути.

Контрольная точка №1: Погрузочная платформа, расположенная справа от станции на ПК 36142+00.

Получение данных по облаку точек:



Рисунок 24 – Фрагмент облака точек для получения данных

Получение данных по модели наземной съемки:

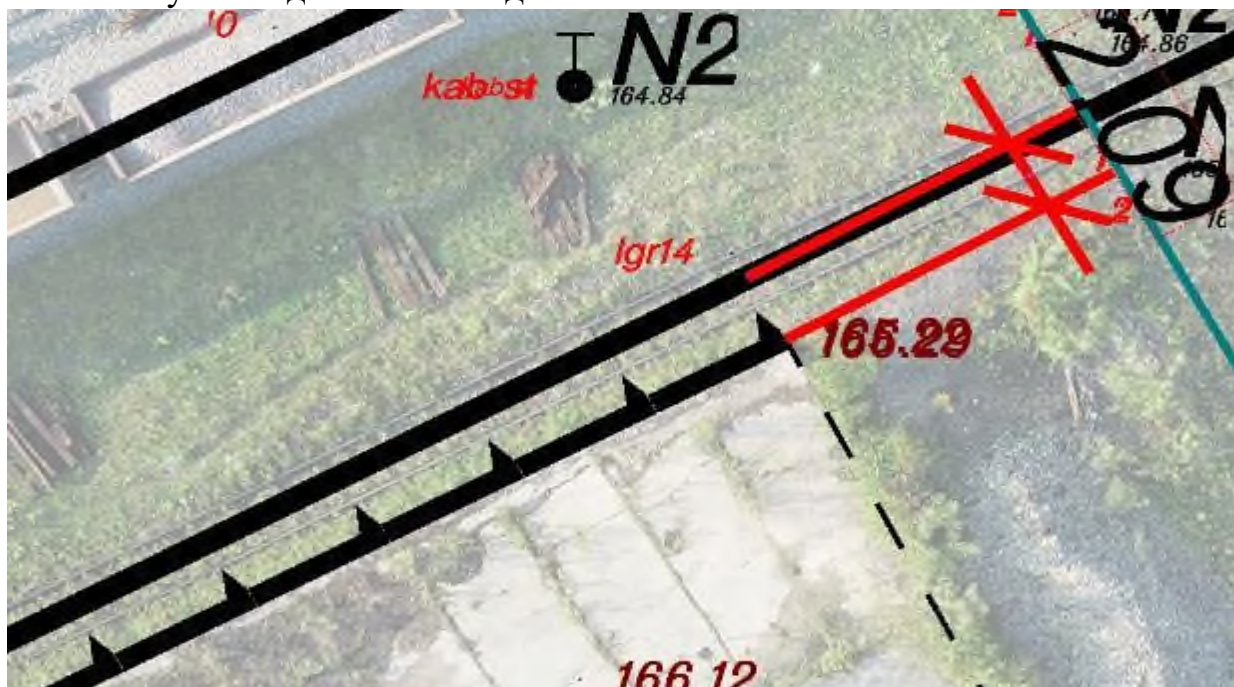


Рисунок 25 – Фрагмент модели наземной съемки для получения данных

Результат сравнения:

Габарит от оси пути по облаку точек составляет  $1,248 + 0,8 = 2,05$  м. Габарит, измеренный от оси пути ручным способом 2,09 м. Отклонение составляет 0,04 м.

Контрольная точка №2: Железобетонная опора фермы освещения №20А.

Получение данных по облаку точек:

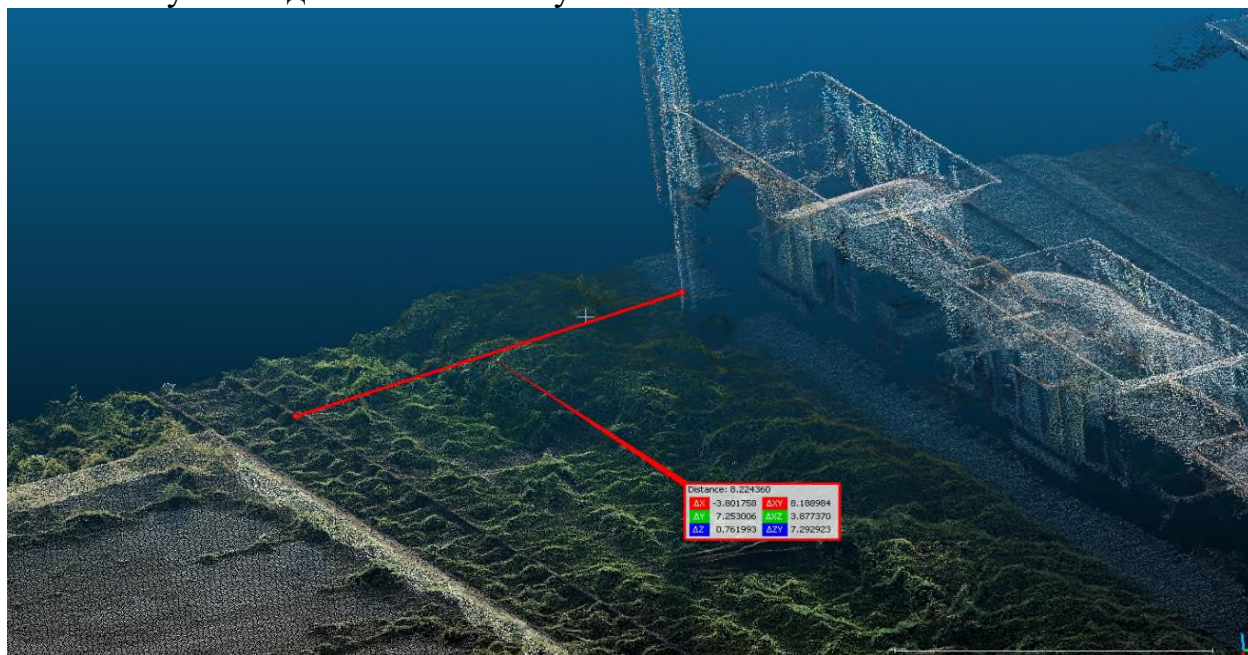


Рисунок 26 – Фрагмент облака точек для получения данных

Результат сравнения:

Контрольная точка №3: Железобетонная опора фермы освещения №28  
Получение данных по облаку точек:



74

Получение данных по модели наземной съемки:

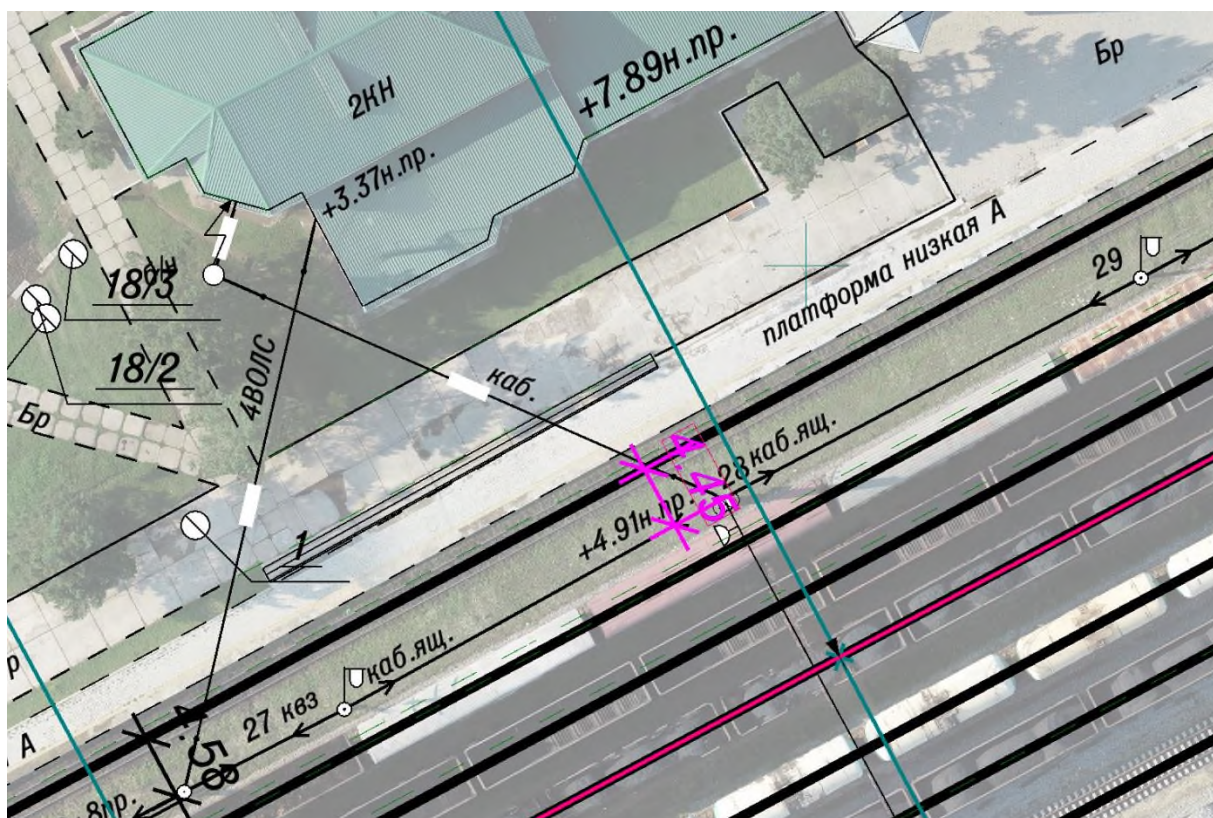


Рисунок 29 – Фрагмент модели наземной съемки для получения данных

Результат сравнения:

Габарит от оси пути по облаку точек составляет  $3,87 + 0,8 = 4,67$  м.  
Габарит, измеренный от оси пути ручным способом 4,45 м. Отклонение составляет 0,22 м.

Контрольная точка №4: Пассажирская платформа, расположенная  
справой стороны от станции ПК 36143+50.00

Получение данных по облаку точек:

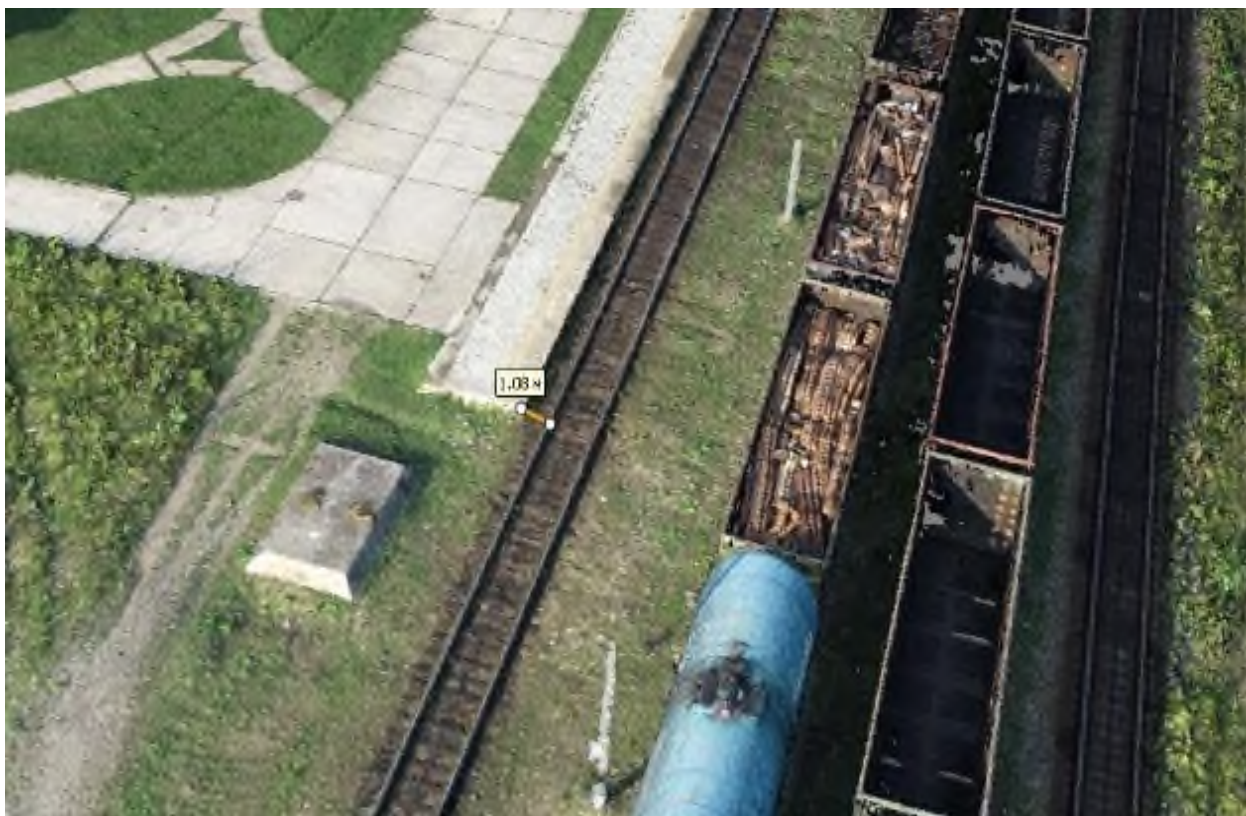


Рисунок 30 – Фрагмент облака точек для получения данных

Получение данных по модели наземной съемки:

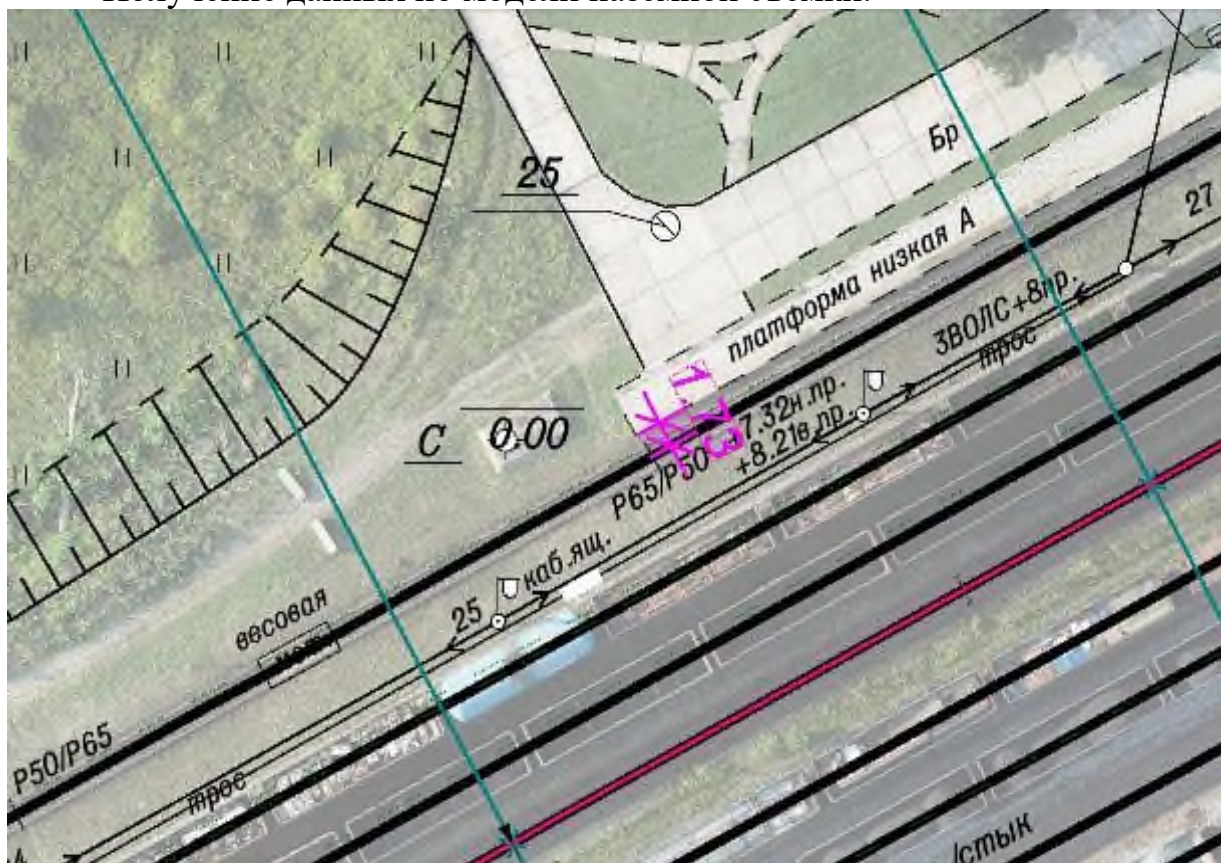


Рисунок 31 – Фрагмент модели наземной съемки для получения данных

Результат сравнения:

Габарит от оси пути по облаку точек составляет  $1,08 + 0,8 = 1,88\text{ м}$ .  
Габарит, измеренный от оси пути ручным способом  $1,73\text{ м}$ . Отклонение составляет  $0,15\text{ м}$ .

Контрольная точка №5: Железобетонная опора фермы освещения №27  
Получение данных по облаку точек:



Рисунок 32 – Фрагмент облака точек для получения данных

Получение данных по модели наземной съемки:

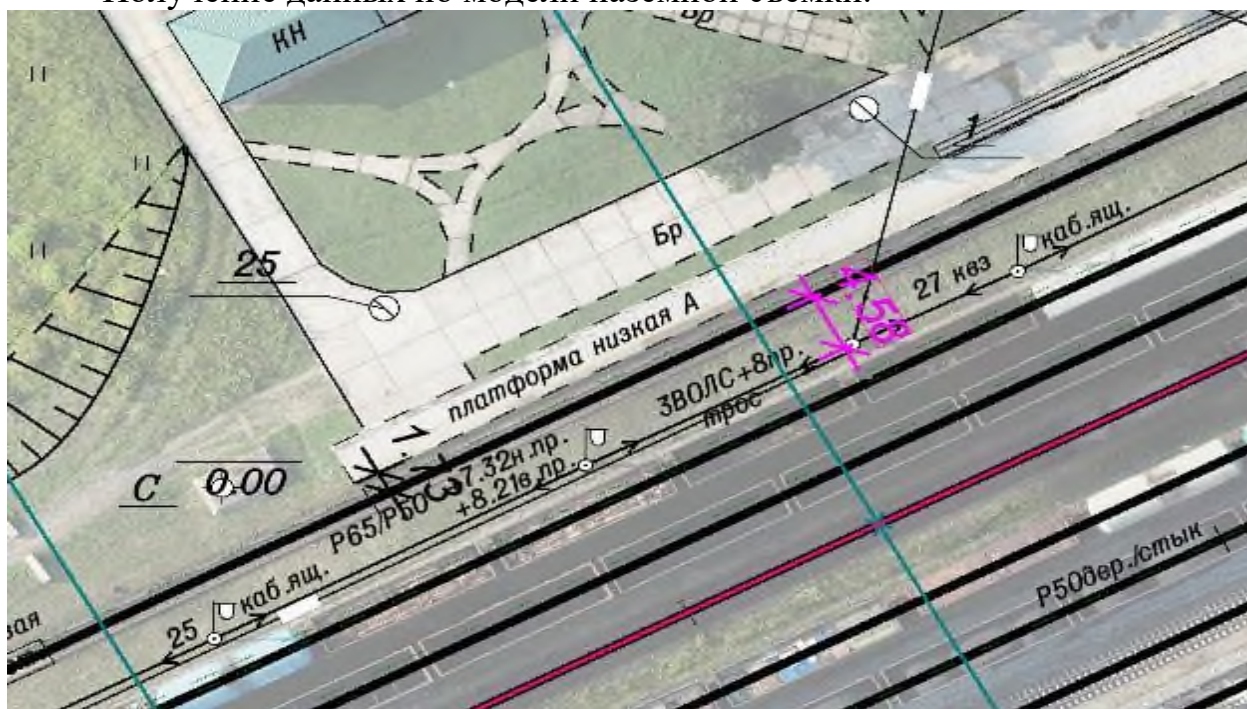


Рисунок 33 – Фрагмент модели наземной съемки для получения данных

### Результат сравнения:

Габарит от оси пути по облаку точек составляет  $3,76 + 0,8 = 4,56$  м. Габарит, измеренный от оси пути ручным способом 4,58 м. Отклонение составляет 0,02 м.

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что отклонения по данным воздушного лазерного сканирования меняются как в большую, так и в меньшую сторону на величину от 0,22 до 0,02 м, что соответствует данным исследований других авторов [1], [2]. В результате сопоставления данных проведенного эксперимента с требованиями таблицы 3 и таблицы 4, были получены сводные требования к объему и точности данных съемки и требуемый стек технологий съемки местности на этапе ОПР (разделы 3.3.3-3.3.4).

### **3.3.3. Объем, точность данных съемки и требуемый стек технологий на этапе ОПР**

Таблица 9 – Сводные требования к объему и точности данных съемки на этапе ОПР

| №  | Тип объекта         | Количество моделируемых объектов ЦИМС                                      | Требования к объему данных                                                                                                                                               | Требования к точности данных                                                                                                                                                                                     |
|----|---------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 2                   | 3                                                                          | 4                                                                                                                                                                        | 5                                                                                                                                                                                                                |
|    | Станции             |                                                                            |                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                  |
| 1. | Новое строительство | Более 2000 элементов (для станции, протяженностью 3 км)                    | Необходимы данные съемки БПЛА, фото-, видео съемка местности и имеющихся объектов инфраструктуры, наземная съемка ГНСС-оборудованием проводится точно или не проводится. | Точность определения координат и габаритов объектов ВСП и сопутствующей инфраструктуры зависит от принимаемых проектных решений и может варьироваться в пределах от 10 мм до 0,1 м для различных частей проекта. |
| 2. | Реконструкция       |                                                                            |                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                  |
| 3. | Капитальный ремонт  |                                                                            |                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                  |
|    | Перегоны            |                                                                            |                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                  |
| 4. | Новое строительство | До 1000 элементов (для электрифицированного перегона, протяженностью 3 км) | Необходимы данные съемки БПЛА, фото-, видео съемка местности и имеющихся объектов инфраструктуры, наземная съемка                                                        | Точность определения координат и габаритов объектов ВСП и сопутствующей инфраструктуры зависит от принимаемых                                                                                                    |
| 5. | Реконструкция       |                                                                            |                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                  |
| 6. | Капитальный ремонт  |                                                                            |                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                  |

|    |                     |                                               |                                                                                                                       |                                                                                                    |
|----|---------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                     |                                               | ГНСС-оборудованием проводится точно или не проводится.                                                                | проектных решений и может варьироваться в пределах от 10 мм до 0,1 м для различных частей проекта. |
|    | <b>Объекты ИССО</b> |                                               |                                                                                                                       |                                                                                                    |
| 7. | Новое строительство | Менее 500 элементов (для одного объекта ИССО) | Высокие (необходимы данные съемки БПЛА, наземной съемки лазерным и ГНСС-оборудованием, фото-, видео съемка местности) | Высокие (10 – 0,1 м для элементов конструкций объектов ИССО и ВСП)                                 |

Таблица 10 – Требуемый стек технологий съемки местности на этапе ОПР

| №  | Тип объекта         | Воздушное лазерное сканирование | Фотограмметрия по данным АФС | Наземное лазерное сканирование * | Наземная съемка с использованием ГНСС-приемников |
|----|---------------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1  | 2                   | 3                               | 4                            | 5                                | 6                                                |
|    | <b>Станции</b>      |                                 |                              |                                  |                                                  |
| 1. | Новое строительство | Требуется                       | Требуется, при отсутствии 3  | Не требуется                     | Не требуется                                     |
| 2. | Реконструкция       | Требуется                       | Требуется, при отсутствии 3  | Не требуется                     | Не требуется                                     |
| 3. | Капитальный ремонт  | Возможно                        | Возможно, при отсутствии 3   | Не требуется                     | Не требуется                                     |
|    | <b>Перегоны</b>     |                                 |                              |                                  |                                                  |
| 4. | Новое строительство | Требуется                       | Требуется, при отсутствии 3  | Не требуется                     | Не требуется                                     |
| 5. | Реконструкция       | Требуется                       | Требуется, при отсутствии 3  | Не требуется                     | Не требуется                                     |
| 6. | Капитальный ремонт  | Возможно                        | Возможно, при отсутствии 3   | Не требуется                     | Не требуется                                     |
|    | <b>Объекты ИССО</b> |                                 |                              |                                  |                                                  |
| 7. | Новое строительство | Требуется                       | Требуется, при отсутствии 3  | Не требуется                     | Не требуется                                     |
| 8. | Реконструкция       | Требуется                       | Требуется, при отсутствии 3  | Не требуется                     | Не требуется                                     |
| 9. | Капитальный ремонт  | Возможно                        | Возможно, при отсутствии 3   | Не требуется                     | Не требуется                                     |

### 3.3.4. Объем, точность данных съемки и требуемый стек технологий на этапе разработки проектной и рабочей документации

На этапе разработки проектной и рабочей документации объекта железнодорожной инфраструктуры точность к данным изыскательской съемки, определяется ГОСТ 9238-2013 «Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений» (п. 5.6.2.6), который устанавливает, что при измерении габаритов приближения строений или габаритов подвижного состава суммарная погрешность измерения должна быть не более 10 мм [34]. С учетом обозначенных выше обстоятельств, сопоставляя требования таблицы 3 и таблицы 4, были получены сводные требования к объему и точности данных съемки и требуемый стек технологий съемки местности на этапе разработки проектной и рабочей документации (таблицы 11,12).

Таблица 11 – Сводные требования к объему и точности данных съемки на этапе разработки проектной и рабочей документации

| №  | Тип объекта         | Количество моделируемых объектов ЦИМС                                      | Требования к объему данных                                                                                 | Требования к точности данных                                                                                                |
|----|---------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 2                   | 3                                                                          | 4                                                                                                          | 5                                                                                                                           |
|    | Станции             |                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                                             |
| 1. | Новое строительство | Более 5000 элементов (для станции, протяженностью 3 км)                    | Высокие (необходимы данные съемки БПЛА, наземной съемки ГНСС-оборудованием, фото-, видео съемка местности) | Высокие (отклонение точности определения координат и габаритов объектов ВСП и сопутствующей инфраструктуры не более 10 мм)  |
| 2. | Реконструкция       |                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                                             |
| 3. | Капитальный ремонт  |                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                                             |
|    | Перегоны            |                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                                             |
| 4. | Новое строительство | До 2000 элементов (для электрифицированного перегона, протяженностью 3 км) | Высокие (необходимы данные съемки БПЛА, наземной съемки ГНСС-оборудованием, фото-, видео съемка местности) | Высокие (отклонение точности определения координат и габаритов объектов, ВСП и сопутствующей инфраструктуры не более 10 мм) |
| 5. | Реконструкция       |                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                                             |
| 6. | Капитальный ремонт  |                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                                             |
|    | Объекты ИССО        |                                                                            |                                                                                                            |                                                                                                                             |
| 7. | Новое строительство | До 500 элементов (для одного объекта ИССО)                                 | Высокие (необходимы данные съемки БПЛА, наземной съемки                                                    | Высокие (10 мм для элементов конструкций объектов ИССО и ВСП                                                                |

|  |  |  |                                                               |                               |
|--|--|--|---------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|  |  |  | лазерным и ГНСС-оборудованием, фото-, видео съемка местности) | сопутствующей инфраструктуры) |
|--|--|--|---------------------------------------------------------------|-------------------------------|

Таблица 12 – Требуемый стек технологий съемки местности на этапе разработки проектной и рабочей документации

| №                   | Тип объекта         | Воздушное лазерное сканирование | Фотограмметрия по данным АФС | Наземное лазерное сканирование *                                    | Наземная съемка с использованием ГНСС-приемников |
|---------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1                   | 2                   | 3                               | 4                            | 5                                                                   | 6                                                |
| <b>Станции</b>      |                     |                                 |                              |                                                                     |                                                  |
| 1.                  | Новое строительство | Требуется                       | Требуется, при отсутствии 3  | Требуется при наличии существующей инфраструктуры в границах съемки | Обязательна                                      |
| 2.                  | Реконструкция       | Требуется                       | Требуется, при отсутствии 3  | Требуется при наличии существующей инфраструктуры в границах съемки | Обязательна                                      |
| 3.                  | Капитальный ремонт  | Возможно                        | Возможно, при отсутствии 3   | Возможно при наличии существующей инфраструктуры в границах съемки  | Обязательна                                      |
| <b>Перегоны</b>     |                     |                                 |                              |                                                                     |                                                  |
| 4.                  | Новое строительство | Требуется                       | Требуется, при отсутствии 3  | Не требуется                                                        | Обязательна                                      |
| 5.                  | Реконструкция       | Требуется                       | Требуется, при отсутствии 3  | Не требуется                                                        | Обязательна                                      |
| 6.                  | Капитальный ремонт  | Возможно                        | Возможно, при отсутствии 3   | Не требуется                                                        | Обязательна                                      |
| <b>Объекты ИССО</b> |                     |                                 |                              |                                                                     |                                                  |
| 7.                  | Новое строительство | Требуется                       | Требуется, при отсутствии 3  | Требуется, при отсутствии 3                                         | Обязательна                                      |
| 8.                  | Реконструкция       | Требуется                       | Требуется, при отсутствии 3  | Требуется, при отсутствии 3                                         | Обязательна                                      |
| 9.                  | Капитальный ремонт  | Возможно                        | Возможно, при отсутствии 3   | Возможно, при отсутствии 3                                          | Обязательна                                      |

*\* на практике, оптимальным при проведения наземной лазерной съемки, является съемка лазерной установкой, закрепленной на подвижном составе, движущемся вдоль моделируемого объекта в обе стороны. Желательно комплектация лазерной установки системой фотофиксации для присвоения точкам полученного облака цветовой характеристики объектов.*

### **3.4. Выбор технологий формирования ЦИММ/ЦИМС в зависимости от целей их дальнейшего использования**

#### **3.4.1. Выбор технологии формирования ЦИММ/ЦИМС для целей ОПР**

Если речь идет об оценке стоимости проекта на этапе формирования основных проектных решений, достаточно использования ЦИММ / ЦИМС, полученных по результатам обработки данных облака точек. Наземная съемка ГНСС - оборудованием проводится для отдельных объектов имеющейся инфраструктуры, если это требуется для формирования проектных решений. Это актуально для обеспечения высокой точности выполнения работ на объектах железнодорожного транспорта.

При формировании технологии цифровой информационной модели по результатам проведенной съемки местности необходимо решить следующие задачи:

1. Объединение данных, полученных с использованием различных технологий съемки местности.
2. Выбор ПО, в котором будет формироваться сводная ЦИММ / ЦИМС.
3. Определение форматов экспорта и импорта данных между используемым ПО.

На основании имеющегося опыта решения указанных задач, оптимальным в условиях дальнейшего использования полученных данных для многовариантного формирования общих проектных решений является наличие сводной информационной модели в программном комплексе САПР ЖД. При этом, её формирование может быть полностью выполнено в КРЕДО 3D Scan или Agisoft Metashape. При наличии данных наземной съемки с их помощью производят уточнение геометрических параметров имеющегося облака, используя механизм опорных точек.

В этом случае технология формирования ЦИММ/ ЦИМС будет выглядеть следующим образом:

1. Формирование поверхности (ЦИММ) по данным ЛИДАР-съемки в КРЕДО 3D СКАН или Agisoft Metashape.
2. Уточнение геометрических параметров имеющегося облака, используя механизм опорных точек (при наличии данных наземной съемки с использованием GNSS-оборудования)
3. Формирование линейных объектов (структурных линий), описывающих траектории прохождения левой и правой головки рельса, границы откосов, лотков, границы дорог и т.д.

4. Формирование точечных объектов, описывающих объекты ЖД инфраструктуры.

5. Передача подготовленной поверхности в САПР ЖД с использованием формата Land XML.

6. Передача структурных линий и точечных объектов в САПР ЖД.

7. Реализация алгоритмов САПР ЖД по формированию ЦИММ/ЦИМС.

Ключевым моментом в данном варианте является процесс переноса структурных линий и точечных объектов, полученных при камеральной обработке облака точек из ПО КРЕДО 3D СКАН в САПР ЖД (шестой шаг, описанного выше алгоритма).

Входными данными для работы ПО САПР ЖД являются текстовые форматы, содержащие наборы точек в системе ЕСКПД. Таким образом, перед экспортом в САПР ЖД, структурные линии и точечные объекты должны быть соответствующим образом обработаны: извлечены из формата Land XML, закодированы в ЕСКПД и переданы в САПР ЖД в текстовом файле. Предлагаемый алгоритм обработки данных представлен на рисунке 36.

#### **3.4.2. Выбор технологии формирования ЦИММ/ЦИМС для целей разработки проектной документации**

Учитывая ограниченные возможности по обеспечению точности моделей, полученных по данным воздушной съемки, для целей проектирования, автором предлагается использование комбинированной технологии инженерных изысканий, в которой создание ПВСО, а также топографическая съемка объектов верхнего строения пути осуществляется традиционным способом с использованием ГНСС-оборудования. Остальной ландшафт и находящиеся на нем объекты ситуации снимается по технологии лазерного сканирования с использованием БПЛА.

Для формирования сводной информационной модели автором предлагается использование ПО САПР ЖД.

Помимо кодирования объектов ситуационного плана, полученных из облака точек, в ЕСКПД, ключевым для предлагаемой технологии формирования ЦИММ/ЦИМС является процедура совмещения поверхностей земли, полученных по результатам наземной и воздушной съемки. Имеющиеся алгоритмы совмещения двух поверхностей для решения указанной задачи не обеспечивают нужной точности, т.к. итоговая поверхность, созданная как результат их наложения будет содержать полигоны обоих поверхностей, причем, полигоны, имеющие более высокую отметку высот будут перекрывать остальные.

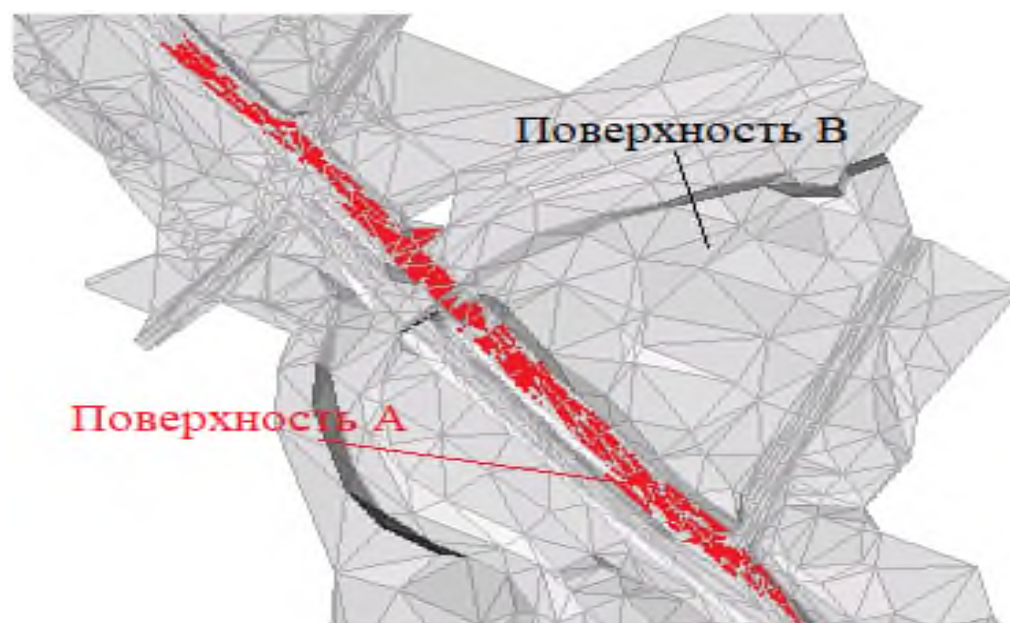


Рисунок 34 – Результат совмещения двух поверхностей.

Учитывая, что требованиям, предъявляемым к исходным данным для проектирования, соответствуют лишь данные наземной съемки производимые с использованием ГНСС и аналогичного ему оборудования, автором предлагается следующее:

1. В качестве основы ЦИММ/ЦИМС использовать цифровую информационную модель, построенную по результатам воздушного лазерного сканирования. Полученная модель в полной мере не удовлетворяет необходимой точности.

2. Для достижения требуемой точности указанную модель дополнить данными, полученными посредством обработки облака точек наземной съемки с использованием ГНСС-оборудования.

В предлагаемой технологии процесс совмещения поверхностей представляет собой врезку модели верхнего строения пути, снятой координатным способом, имеющим требуемую точность, в модель земляного полотна, полученной путем обработки данных воздушного лазерного сканирования. Операция врезки одной поверхности включает в себя следующий набор задач:

1. Определение границ врезаемой поверхности. В нашем случае, это границы модели поверхности, построенной по результатам наземной съемки с использованием ГНСС или аналогичного ему оборудования (Поверхность А).
2. Проекция границы врезаемой поверхности на поверхность, полученной посредством обработки облака точек воздушного лазерного сканирования (Поверхность Б).

3. Разделение Поверхности Б по проекции границы врезаемой Поверхности А.
4. Удаление части Поверхности Б, лежащей внутри проекции границы врезаемой Поверхности А.
5. Совмещение Поверхностей А и Б.

Данная процедура выполняется с использованием отдельного ПО, имеющего соответствующий функционал (подразумевается, что обе поверхности выполнены в едином координатном пространстве и единой системе координат). Отечественным программным обеспечением для решения данной задачи является Торматик Robug и САПР ЖД. Результат такого объединения представлен на рисунке 35.

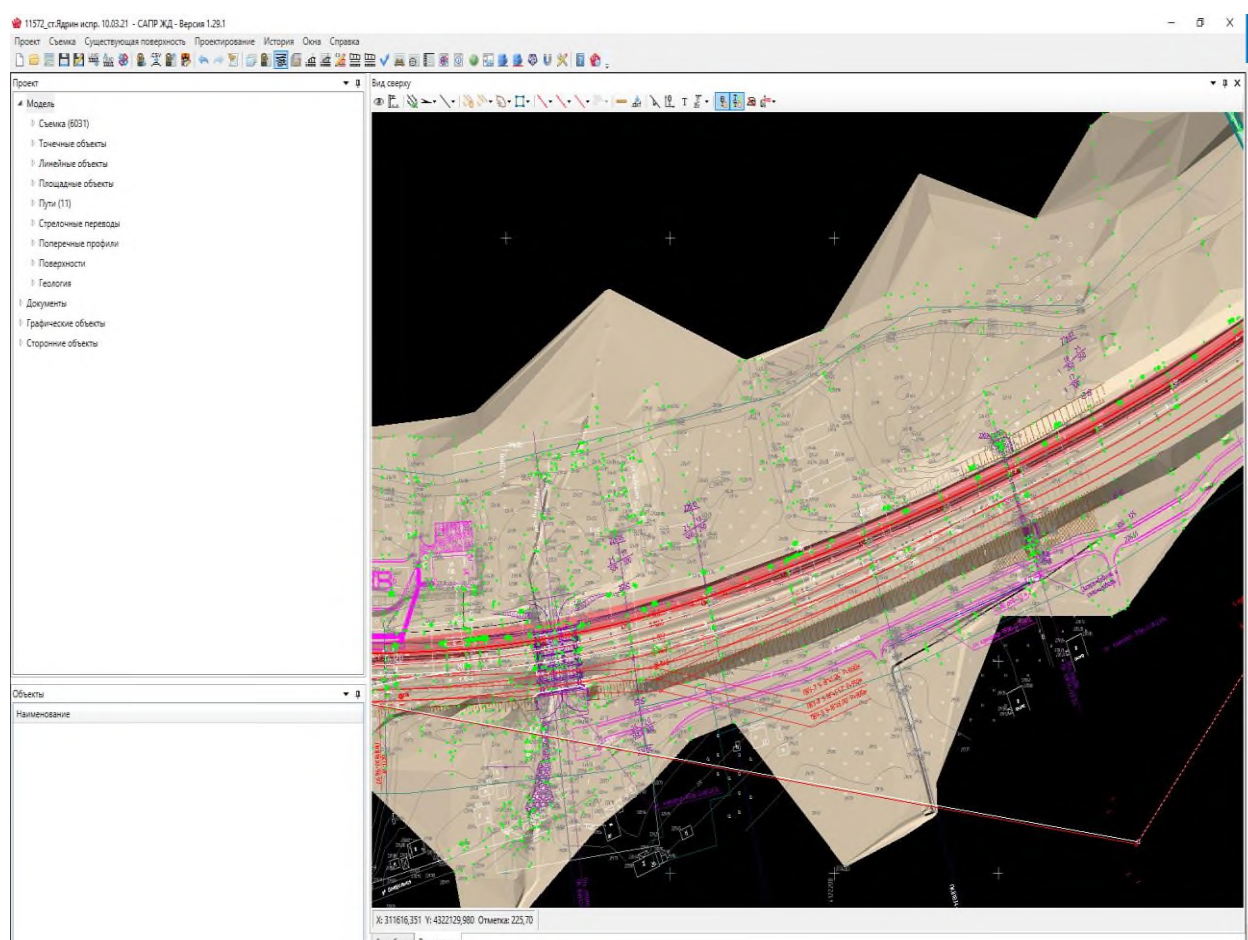


Рисунок 35 - Совмещение поверхностей методом "врезки".

Алгоритм совмещения в общем виде представлен на рисунке 36:

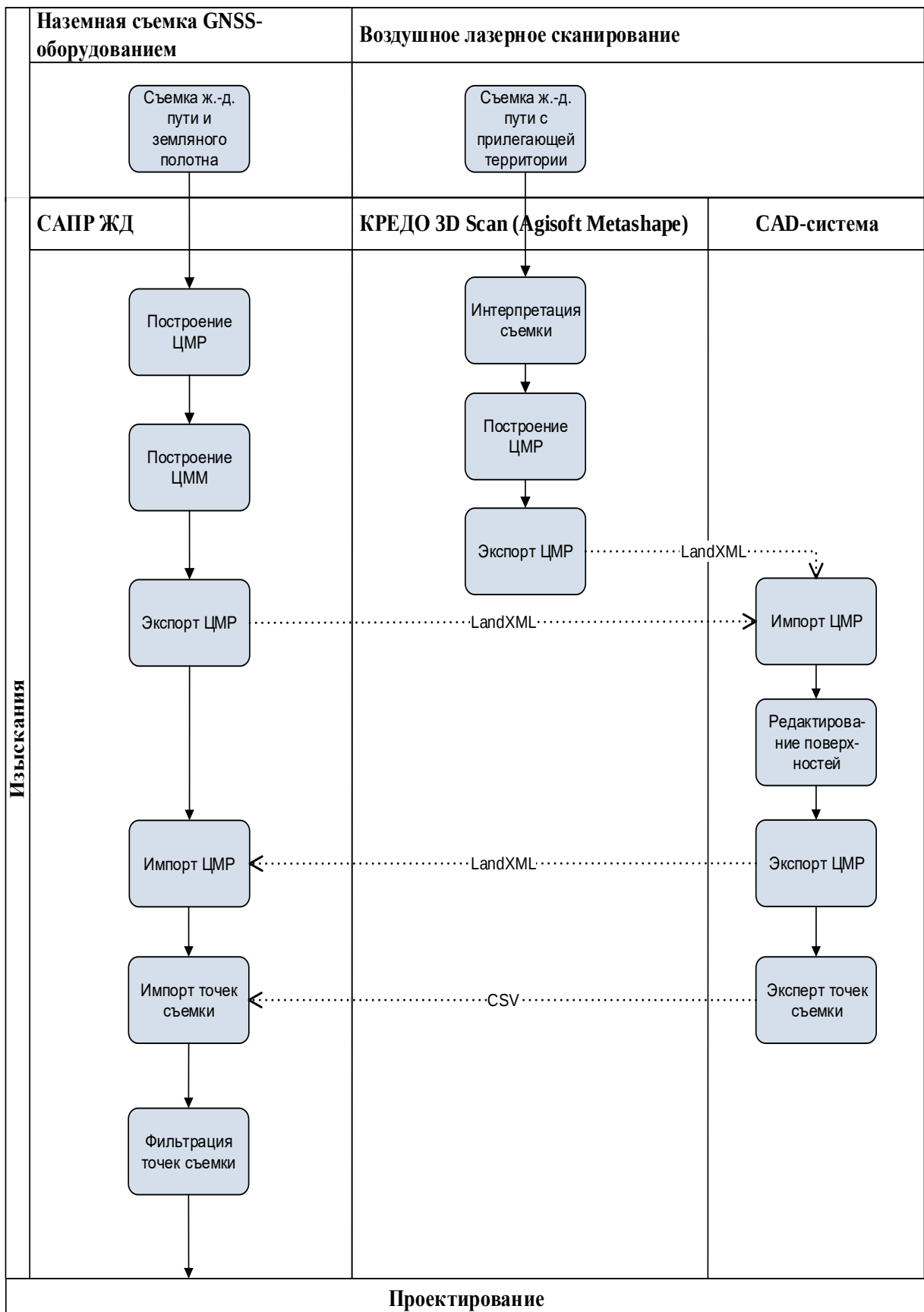


Рисунок 36 – Процесс объединения поверхностей методом "врезки" с использованием программного обеспечения

В связи с тем, что часто в процессе проектирования возникает необходимость как досъемки новых поверхностей, так и уточнения имеющихся данных (особенно при съемке в зимний период), данный процесс становится "узким местом" процесса проектирования, увеличивает его трудоемкость и повышает вероятность возникновения ошибок. Соискателем предлагается отказаться от использования отдельного ПО, в котором осуществляется объединение поверхностей в пользу разработки данного функционала в программном комплексе САПР ЖД. Авторский подход к его реализации представлен на рисунке 37.

Итоговый процесс объединения поверхностей будет в данном случае выглядеть следующим образом:



Использование авторского подхода при проектировании объекта «Реконструкция ст. Ядрин Дальневосточной железной дороги» и аналогичных ему сократил продолжительность полевых работ до 10-15 дней, что в 2 раза меньше, чем при использовании традиционной технологии. При этом, несмотря на возросшую сложность, срок камеральной обработки результатов полевых работ не увеличился, за счет высокого уровня автоматизации. Реализация предложений автора в части автоматизации камеральных работ, представленных в разделах 3.4.1 и 3.4.2, позволит дополнительно снизить их трудоемкость на 10-15%.

### **3.5 Выводы по главе**

По итогам проведенных исследований в данной главе достигнуты следующие результаты:

1. Осуществлен выбор технологических методов формирования цифровых информационных моделей местности и ситуации в разрезе различных этапов жизненного цикла проектируемого объекта.

2. Осуществлен выбор технических и программных средств, использование которых в рамках инженерных изысканий создаст предпосылки к повышению качества исходных данных и применения технологии информационного моделирования в проектировании объектов строительства и реконструкции железнодорожной инфраструктуры.

3. С целью достижения максимального уровня автоматизации формирования цифровой модели местности, с учетом имеющегося в организации опыта проектирования объектов ЖД инфраструктуры, было принято решение о расширении функциональности применяемого программного комплекса САПР ЖД в части разработки специализированных модулей ТИМ-проектирования (автоматическая расстановка опор контактной сети и разворот в пространстве, расчет геометрии провиса контактного провода, расчет структуры геологических слоев соединения структурными линиями кровли грунта с учетом рельефа и т.д.). В рамках их реализации автором предложены и решены ряд ключевых вопросов, определяющих логику функционирования системы формирования ЦИМ, которая заключается в соединении данных разной точности и выборе оптимального значения для конкретного объекта моделирования.

4. Произведен анализ требований государственных и отраслевых классификаторов, даны предложения по их доработки в процессе формирования цифровых информационных моделей объектов железнодорожной инфраструктуры.

В четвертой главе будет произведена апробация разработанных методов и технологии формирования цифровой информационной модели по результатам инженерных геодезических изысканий с целью получения сведений о целесообразности их применения в реальных условиях на объектах

строительства железнодорожной инфраструктуры. Также будет произведен анализ требований государственных и отраслевых классификаторов элементов цифровой информационной модели объектов железнодорожного транспорта и даны предложения по их доработке.

## **ГЛАВА 4 ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ ЦИММ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.**

Разработанная методика технологии формирования цифровой информационной модели объекта по результатам инженерно-геодезических изысканий использовалась в реальных условиях на объектах строительства железнодорожной инфраструктуры с анализом нормативных требований государственных и отраслевых классификаторов элементов цифровой информационной модели.

### **4.1. Применение разработанной методики построения ЦИММ при реализации проекта «Реконструкция станции Ядрин Дальневосточной железной дороги»**

Методика технологии формирования цифровой информационной модели была осуществлена на объекте реконструкции Байкало-Амурской Магистрали – станции Ядрин Дальневосточной железной дороги.

Станция Ядрин расположена на двухпутном электрифицированном участке железнодорожной линии Архара - Облучье Дальневосточной железной дороги в Облученской дистанции пути (ПЧ-1). Железнодорожная станция по характеру работы является промежуточной и отнесена к 4 классу и имеет протяженность 4,500 км. Участок проектирования пересекает 6 объектов ИССО: мост железобетонный и пять водопропускных труб железобетонных (3 прямоугольных и 2 овальных). Схема расположения участка работ представлена на рисунке 38.



Условные обозначения:  участок работ

Рисунок 38 - Схема расположения участка работ

Причиной развития станции Ядрин являются ограничения по развитию соседней, территориально рядом расположенной участковой станции Облучье. Размеры движения грузовых поездов за 2019 год на

рассматриваемом участке составляют 66 поездов в нечетном и 71 поезд в четном направлении.

Согласно письму АО «Института экономики и развития транспорта» от 04.09.2019 г. №07-02/538, размеры грузового движения на участке Известковая - Архара составят на 2030 год:

– в четном направлении 102 пары поездов в сутки.

– в нечетном направлении 100 пар поездов в сутки.

Поставленные правительством Российской Федерации задачи увеличения пропускной и провозной способности станции практически в полтора раза (на 47%). Целевые нормы массы и размеры движения грузовых поездов на проектируемом участке приведены в таблице 13.

Таблица 13 - Основные технико-экономические показатели объекта реконструкции станции Ядрин

| Наименование основных показателей                                           | Измеритель      | До реализации проекта с учетом проекта 9596            | После реализации проекта |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1. Категория ж.д. линии                                                     | категория       | особогрузонапряженная                                  |                          |
| 2. Тип станции                                                              | тип             | промежуточная                                          |                          |
| 3. Провозная способность на 2030 г.                                         | млн.т в год     | 125,7                                                  | 192,5                    |
| 4. Размеры движения поездов на 2030 г., нечетных/четных (данные ОАО «ИЭРТ») | поездов в сут   | 66/71                                                  | 100/102                  |
| 5. Полезная длина приемоотправочных путей                                   | м               | 1050                                                   | 1500                     |
| 6. Размеры движения (грузовых / пассажирских/пригородных)                   | поездов в сутки | 71/7/2                                                 | 102/7/2                  |
| 7. Наличная пропускная способность на 2030 г., нечетных/четных              | поездов в сутки | 68/73                                                  | 133/136                  |
| 8. Потребная пропускная способность на 2030 г., нечетных/четных             | поездов в сутки | -                                                      | 100/102                  |
| 9. Тип локомотива для грузовых поездов                                      | тип             | 2ЭС5К, 3ЭС5К, 3ЭС5Кн/в, 3ЭС5К+3ЭС5К, 3ЭС5Кн/в+3ЭС5Кн/в |                          |
| 10. Тип локомотива для пассажирских поездов                                 | тип             | ЭП1, ЭП1П и ЭП1М                                       |                          |
| 11. Управление стрелками и сигналами                                        | тип             | ЭЦ                                                     |                          |

Проектом развития станции Ядрин предполагается новое строительство трех приемоотправочных путей, включая устройство стрелочных переводов, устройств и кабельных линий СЦБ и связи, удлинения водопропускных труб, возведение нового железобетонного моста, производственно-технических зданий, сооружений и других объектов станционной инфраструктуры. Схема проектируемого путевого развития станции представлена на рисунке 39.

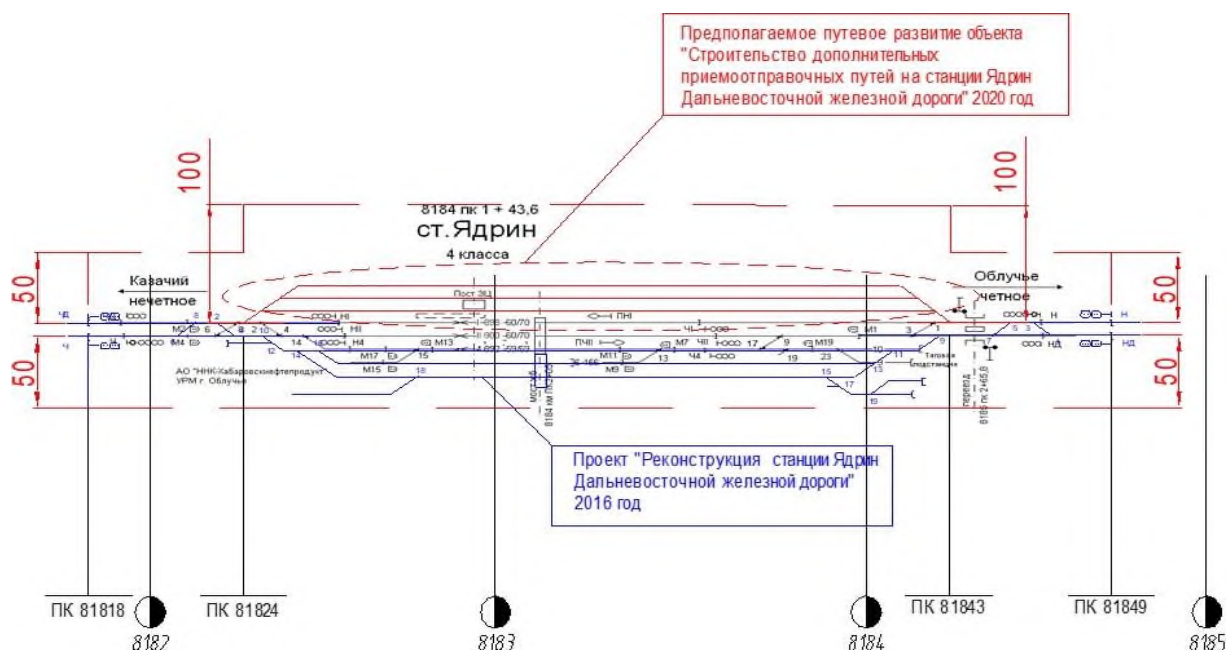


Рисунок 39 - Схема проектируемого путевого развития станции

#### 4.2. Методика и технология выполнения работ по формированию ЦИММ и ЦИМС

Участок изысканий характеризуется высокой интенсивностью движения железнодорожного транспорта. Сам участок работ имеет незастроенную холмистую местность слева от железнодорожного пути по ходу пикетажа и сельскую жилую и нежилую застройку справа от железнодорожного пути, а также станционную застройку (одноэтажные каменные здания, включая пост электрической централизации, совмещенный с пассажирским зданием и металлические модули). Инженерные коммуникации представлены наружными, а также подземными инженерными сетями – трубопроводами и кабельными трассами.

Рельеф района сильно изрезан долинами и логами ручьев. В долинах рек встречаются островки многолетней мерзлоты. Рельеф непосредственно на участке работ сильно всхолмленный, с ярко выраженными холмами – сопками. Максимальный перепад отметок по железнодорожному пути 18,4 м. Максимальное общее превышение по участку работ составляет 53,7 м. Максимальное локальное поперечное железнодорожному пути превышение по участку (в месте прижима к железнодорожному пути) составляет 49,1 м.

Участок работ с севера на юг пересекают несколько суходольных русел ручьев без названия, а также ручей Пихтовый, впадающий в достаточно крупный местный водоток реку Хинган. Пойма ручья Пихтовый характеризуется зарослями травы и кустарника. От участка работ до р. Хинган меньше, чем 0,5 км, высота расположения места производства работ над урезом воды составляет 8,0-15,0 м.

Обзорная схема района выполнения инженерных изысканий приведена на рисунке 40.



Рисунок 40 - Схема района выполнения инженерных изысканий станции  
Ядрин

Физико-географические условия района проектирования и сжатые сроки проведения проектно-изыскательских работ потребовали от проектировщиков использования инновационных технических и технологических решений как в инженерных изысканиях, так и в процессе разработки проектных решений. Основой для этого стало использование разработанной нами технологии информационного моделирования и методики формирования цифровой информационной модели местности и цифровой информационной модели ситуации.

В соответствии с заданием на выполнение инженерных изысканий и программе работ выполнены следующие инженерно-геодезические работы:

- сбор и обработка фондовых (архивных) материалов и данных, оценка и возможность их использования;
- рекогносцировочное обследование территории инженерных изысканий и отыскивание исходных пунктов;
- обновление топографической съемки участка в масштабе 1:1000 с высотой сечения рельефа через 0,5 м;
- камеральная обработка материалов.

Объемы фактически выполненных работ в таблице 14, приборы, планируемые к использованию при проведении изысканий – в таблице 15.

Таблица 14 - Виды и объемы выполненных работ

| Наименование видов работ                                                                                                                                                                                                                                 | Единицы измерения | Объемы выполненных работ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|
| Полевые работы                                                                                                                                                                                                                                           |                   |                          |
| Инженерно-топографические планы. Обновление. Масштаб съемки 1:1000. Высота сечения рельефа 0,5 м. Категория сложности I. Вид территории: действующие промышленные предприятия (длина-4500 м, ширина-20 м)                                                | 1 га              | 9,00                     |
| Инженерно-топографические планы. Обновление. Масштаб съемки 1:1000. Высота сечения рельефа 0,5 м. Категория сложности II. Вид территории: незастроенная (длина-4500 м, ширина-50 м)                                                                      | 1 га              | 22,50                    |
| Воздушная съемка местности                                                                                                                                                                                                                               | 1 га              | 72                       |
| Проверка полноты планов в эксплуатирующих организациях                                                                                                                                                                                                   | 1 проверка        | 5                        |
| Камеральные работы                                                                                                                                                                                                                                       |                   |                          |
| Создание инженерно-топографических планов с нанесением подземных коммуникаций. Обновление. Масштаб съемки 1:1000. Высота сечения рельефа 0,5 м. Категория сложности II. Вид территории: действующие промышленные предприятия (длина-4500 м, ширина-20 м) | 1 га              | 9,00                     |
| Создание инженерно-топографических планов с нанесением подземных коммуникаций, границ полосы отвода. Обновление. Масштаб съемки 1:1000. Высота сечения рельефа 0,5 м. Категория сложности II. Вид территории: незастроенная (длина-4500 м, ширина-50 м)  | 1 га              | 22,50                    |
| Разработка цифровой информационной модели местности (BIM-модели)                                                                                                                                                                                         | 1 га              | 70,9                     |

Таблица 15 - Приборы, используемые при проведении изысканий

| № | Наименование, марка прибора                               | Кол-во     |
|---|-----------------------------------------------------------|------------|
| 1 | Аппаратура геодезическая спутниковая LEICA GS18 (3601677) | 4 шт.      |
| 2 | Нивелир Sokkia C330 (395279)                              | 1 шт.      |
| 3 | Рейка РН-3 (09894)                                        | 1 шт.      |
| 4 | Квадрокоптер DJI Matrice 350 RTK (Alpha UNI 10)           | 1 комплекс |

Точки, имеющейся на участке проектирования опорной геодезической сети, использовались для съёмки плана линии, ситуации, рельефа методом координат в режиме RTK. Координатная съёмка ситуации, пути и рельефа выполнена с точек опорной геодезической сети при помощи ГНСС измерений двумя комплектами каждый из 4 приёмников (база и 3 ровера) ГНСС - оборудования в режиме реального времени (RTK).

В процессе проведения работ закоординированы по железнодорожному пути положение осей ИССО, начала и конца пролетного строения и шкафных стенок, осей промежуточных опор на мостах, контррельсов (контруголков), нулевые места выемок, начала и конца кривых, приборов обнаружения нагрева букс, рельсосмазывателей, устройств контроля схода подвижного состава УКСПС, мест со сменой типов рельсов, шпал, видов балласта, изостыков, светофоров, стыки рамных рельсов, острие пера стрелочных переводов, хвостов крестовин (характеристики стрелочных переводов), закрестовинных стыков, предельных столбиков, платформ, осей зданий, начала и конца переездов, пересечения ЛЭП, ЛС, других конструкций, км и ПК столбов, опор с номером и типом (простая, с консолью, с ригелем, с оттяжкой (анкером)), начала и конца водоотводных и видимых дренажных и противодеформационных сооружений, указаны места застоя воды, растительность в границах съёмки, по всем путям выполнены промеры габаритов до светофоров, зданий и сооружений.

Указано напряжение, количество проводов, материал опор, при прохождении инженерных коммуникаций по земле – указаны отметки земли, верха опоры, верха трубы, количество и диаметр труб.

Выполнена съёмка кривых координатным методом через 20 м. Съёмка выполнена по внутренней нитке пути с указанием превышения наружной нитки в середине кривой. Съёмка коротких кривых (до 80 м), в районе стрелочных переводов и кривых с радиусом менее 400 м произведена через 5-10 м.

Съёмка плана линии произведена методом кинематики в режиме реального времени, с использованием 2-х частотных ГНСС - приёмников Leica GS18 с пунктов опорной геодезической сети.

Съемка инженерных коммуникаций выполнена методом координатной съёмки комплектом ГНСС-оборудования. Для определения высоты провиса проводов над существующей головкой рельса использовался лазерный дальномер Leica Disto D8.

Выполнена съемка всех воздушных линий электропередач ЛЭП (ВЛ-35, ВЛ-10, ВЛ-0,4кВ, ВЛ-освещения), попадающих в границы изысканий, с указанием типа ВЛ, напряжения, нумерации опор.

При съемке территорий станций и перегонов произведена съемка наземных коммуникаций с указанием назначения, числа и марок проводов и кабелей, глубины заложения или высоты подвески, подземные коммуникации на всем участке съемки нанесены по данным, предоставленным сетедержателями.

На топографическую съёмку плана, нанесены все наземные объекты СЦБ (ящики, релейные шкафы, муфты, сигналы), устройства диагностики подвижного состава с указанием их наименования.

На линиях ЛЭП и ЛС указано напряжение, количество проводов, отметки нижнего провода в местах пересечения с железнодорожным путем.

На объекте были выполнены работы по аэрофотосъёмке участка беспилотным летательным аппаратом Квадрокоптер DJI Matrice 350 RTK (Alpha UNI 10). Высота полёта составила 60 м. Время полета 5 часов по 3 прохода с перекрытием 70-80%.

Предварительная камеральная обработка материалов изысканий максимально выполнена в полевых условиях.

Обязательной полевой обработке подлежали:

- увязка ГНСС - наблюдений;
- обработка электронных файлов полевых измерений;
- создание цифровой модели местности с последующим сличением рельефа и ситуации на местности.

Обработка материалов изысканий выполнена в экспедиционных условиях, окончательная обработка материалов и составление технического отчета с последующей передачей отчетных материалов Заказчику выполнялись камерально. Материалы инженерных изысканий оформлены согласно нормативным документам и принятым стандартам.

Все расчеты и формирование модели были выполнены с использованием преимущественно программ отечественных производителей: КРЕДО ДАТ, 3D СКАН, САПР ЖД, КАСПР, Model Studio, Nano CAD. Использование зарубежных программ исключено из процесса проектирования и используется только в процессе визуализации и оформления документации (Navis works, Excel, Word).

Стек используемого программного обеспечения и его взаимосвязь представлены на рисунке 41.

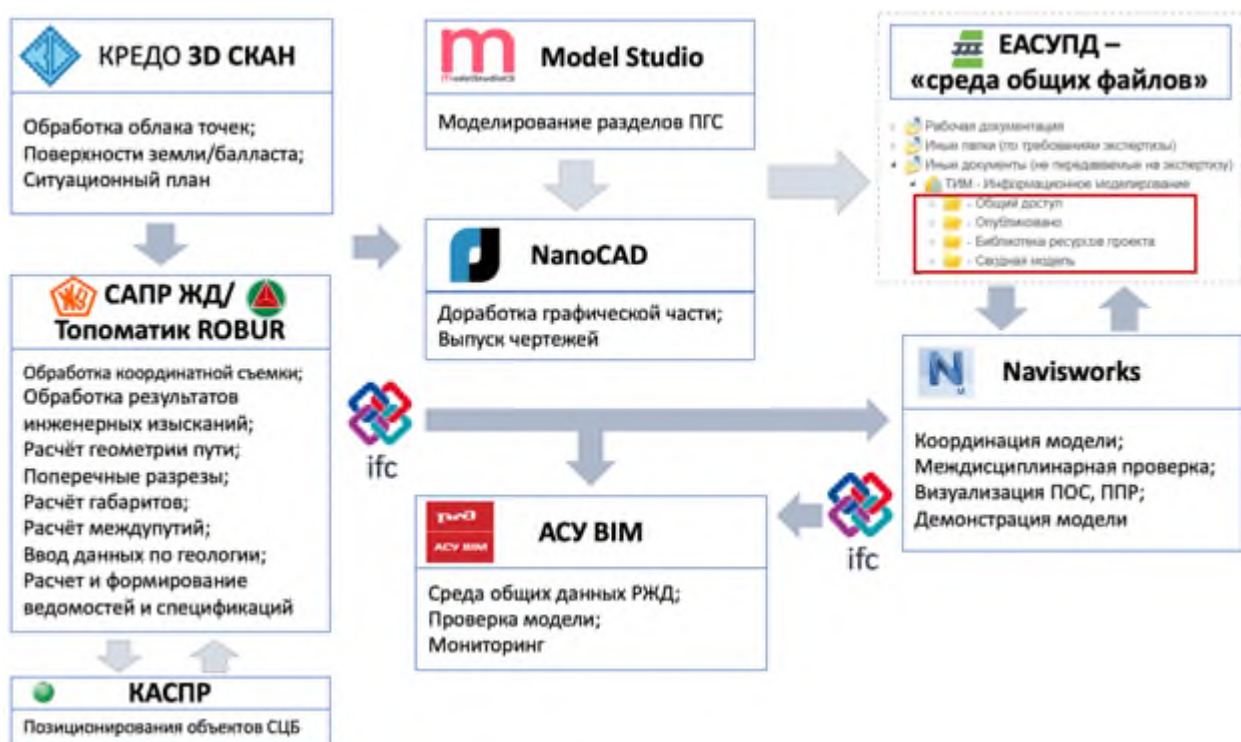


Рисунок 41 - Схема взаимодействия ПО в процессе создания ЦИМ

При формировании цифровой информационной модели инженерных изысканий требовалось выполнение следующих требований:

Информационная модель должна соответствовать требованиям к информационным моделям строительства объектов железнодорожной инфраструктуры с определением уровней детализации BIM-моделей объектов инфраструктуры на уровнях разработки предпроектной, проектной, рабочей и исполнительной документации и при эксплуатации зданий и сооружений, утвержденными распоряжением ОАО «РЖД» от 09.12.2019 № 2788/р (далее – Требования к моделям ОАО «РЖД») с учетом положений настоящего ТЗ.

Требования к ЦИММ в части сформированных моделей должны соответствовать Требованиям к моделям ОАО «РЖД» (Книга 2. Требования на стадии Обоснования инвестиций, Инженерных изысканий, Проектирования).

Элементы информационной модели, представляющие оборудование, учитываемое в спецификациях оборудования, должны быть идентифицированы:

- с помощью кодов классификатора изделий ОАО «РЖД»,
- с помощью кодов классификатора изделий КСИ, утвержденного Постановлением Правительства РФ №1416 от 12.09.2020 «Об утверждении правил формирования и ведения классификатора строительной информации».

При невозможности идентификации изделий с помощью указанных классификаторов перечень отсутствующих в классификаторах позиций указывается в итоговом отчете исполнителя.

Электронные документы в составе информационной модели представляются в следующих форматах:

а) ODT - для документов с текстовым содержанием, не включающих формулы;

б) PDF/A - для документов с текстовым содержанием, в том числе включающих формулы и (или) графические изображения, а также для документов с графическим содержанием;

в) ODS - для документов, содержащих сводки затрат, сводного сметного расчета стоимости строительства, объектных сметных расчетов (смет), локальных сметных расчетов (смет), а также для сметных расчетов на отдельные виды затрат;

г) Land XML или иной формат данных с открытой спецификацией - для цифровой модели местности;

д) IFC или иной формат данных с открытой спецификацией - для трехмерной модели.

Модели должны быть свободны от коллизий, кроме тех, наличие которых или размер допустимы на стадии разработки проектной документации.

Состав и содержание информационной модели объекта «Строительство дополнительных приемоотправочных путей на станции Ядрин Дальневосточной железной дороги» на стадии проектной документации соответствуют требованиям, изложенным в следующих нормативных документах:

- постановление Правительства РФ №1416 от 12.09.2020 «Об утверждении правил формирования и ведения классификатора строительной информации»;

- постановление Правительства РФ № 1431 от 15.09.2020 «Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов, а также о внесении изменения в пункт 6 Положения о выполнении инженерных изысканий для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства»;

- СП 328.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели» (в части форматов представления и атрибутов);

- СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла»;

- «Методические рекомендации по подготовке информационной модели объекта капитального строительства, представляемой на рассмотрение в ФАУ «Главгосэкспертиза России» в связи с проведением государственной экспертизы проектной документации и оценки информационной модели

объекта капитального строительства», утвержденные приказом Учреждения №48 от 05.03.2021 (далее, Методические рекомендации);

- «Требования к информационным моделям строительства объектов железнодорожной инфраструктуры с определением уровней детализации ВІМ – моделей объектов инфраструктуры на уровнях разработки предпроектной, проектной, рабочей и исполнительной документации и при эксплуатации зданий и сооружений», утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» №2788-р от 09.12.2019, в части, не противоречащей вышеперечисленным документам.

Результат построения цифровой информационной модели местности (ЦИММ) и цифровой информационной модели ситуации (ЦИМС) по данным облака точек, полученного по результатам воздушной съемки с использованием БПЛА в соответствии с вышеперечисленными требованиями и требования технического задания на проведение инженерно-изыскательских работ представлен на рисунках 42 – 51.

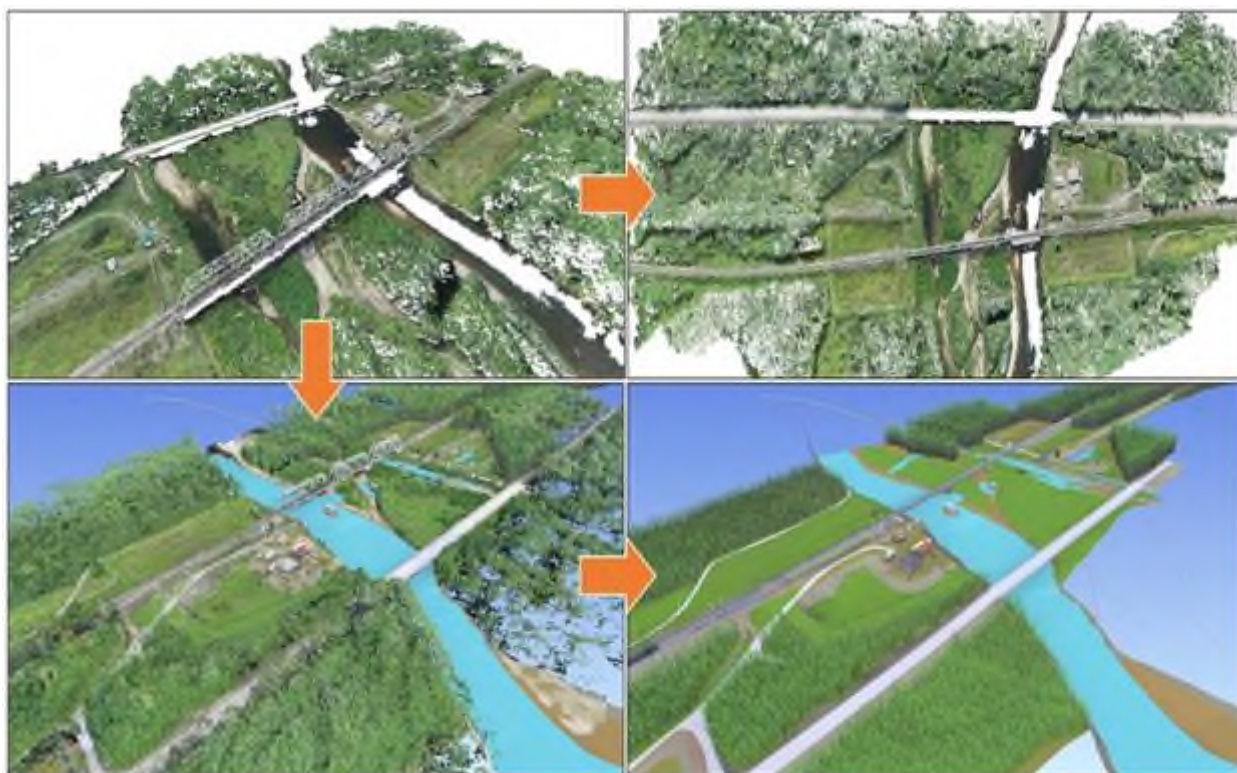


Рисунок 42 - Результат построение ЦИММ по данным облака точек

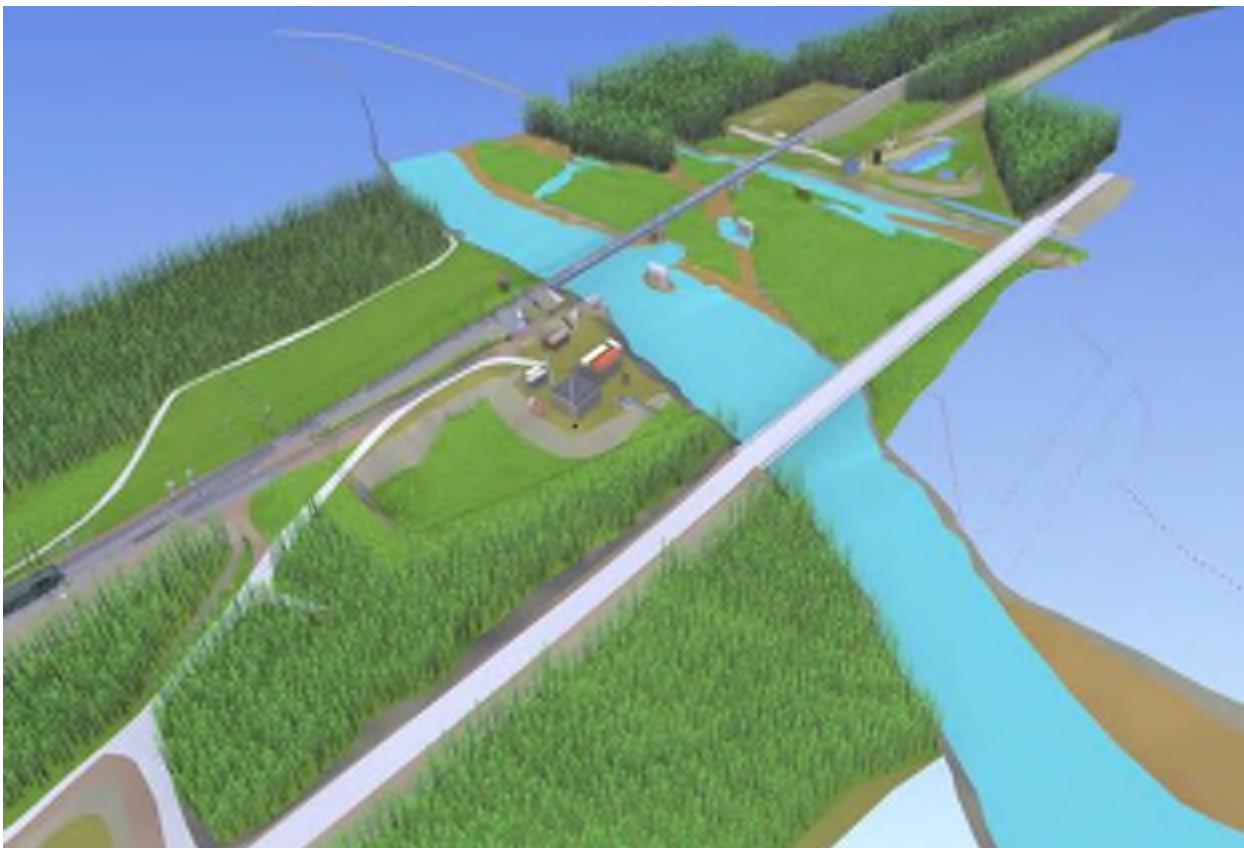


Рисунок 43 - Результирующая ЦИММ по данным облака точек

Для формирования цифровой информационной модели ситуации на базе полученной ЦИММ, были разработаны наборы моделей, имеющихся на объекте проектирования устройств и сооружений: СЦБ, ИССО, электрификации и энергоснабжения (рисунки 44 – 48).

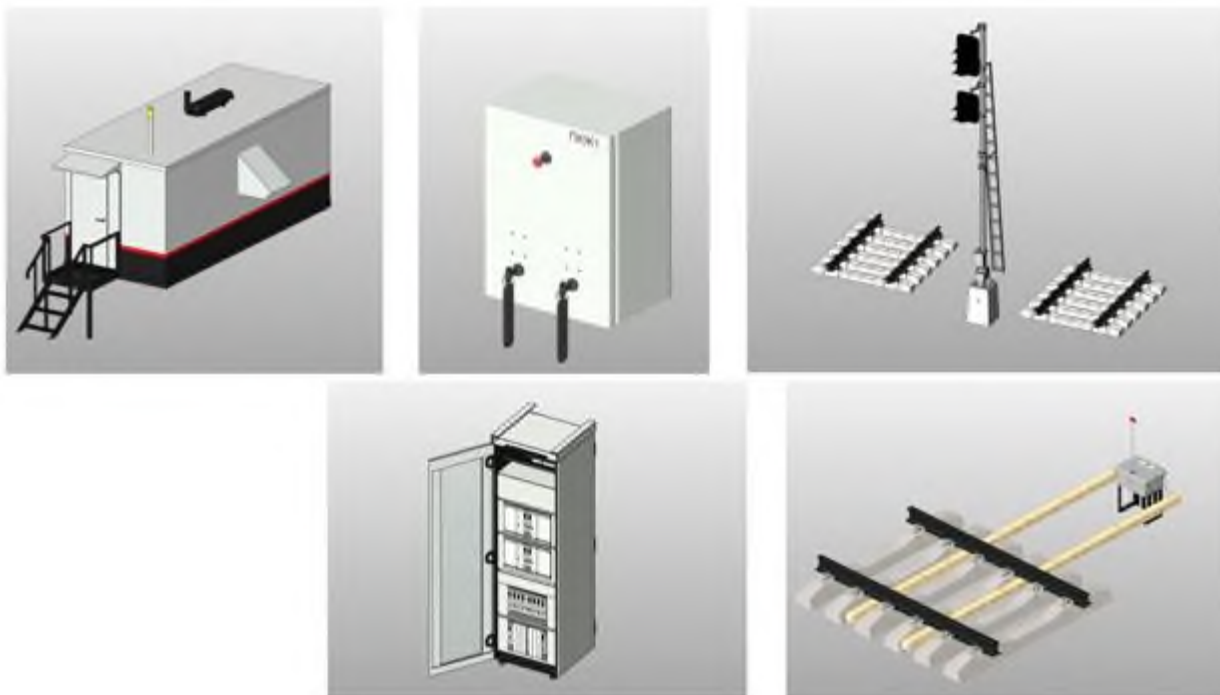


Рисунок 44 - Пример набора моделей устройств СЦБ



Рисунок 45 - Пример набора моделей устройств ИССО

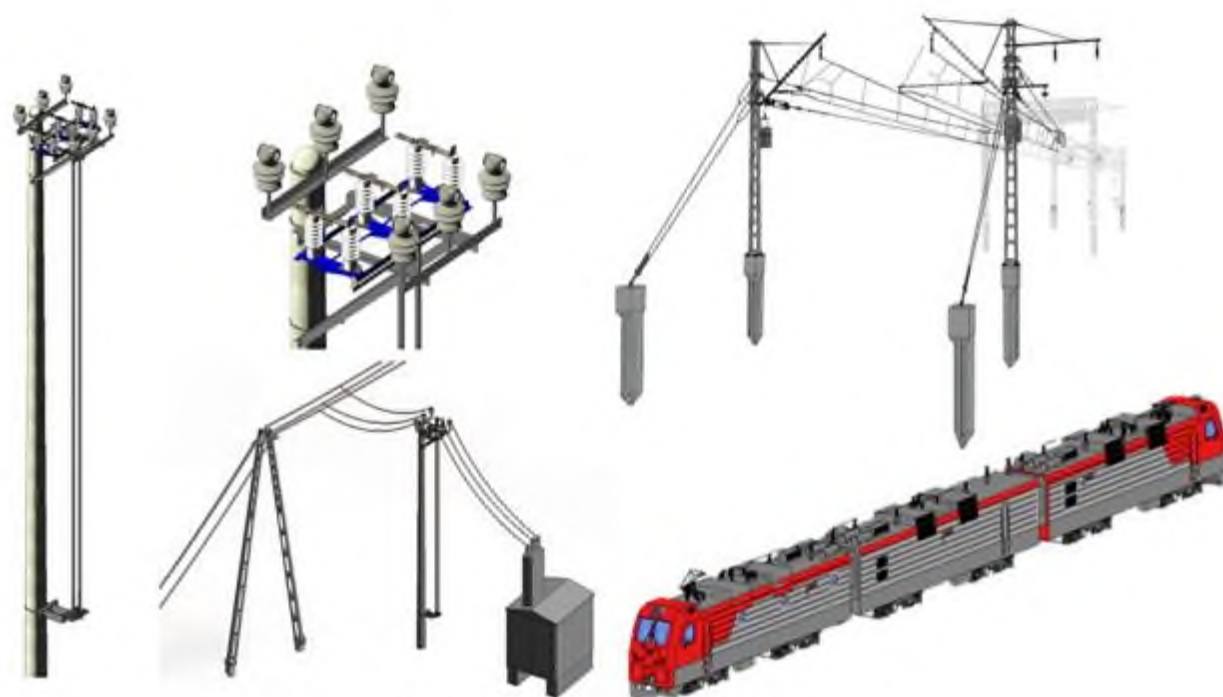


Рисунок 46 - Пример набора моделей устройств электрификации и энергоснабжения



Рисунок 47 - Модель железобетонного моста



Рисунок 48 - Модель железнодорожного переезда

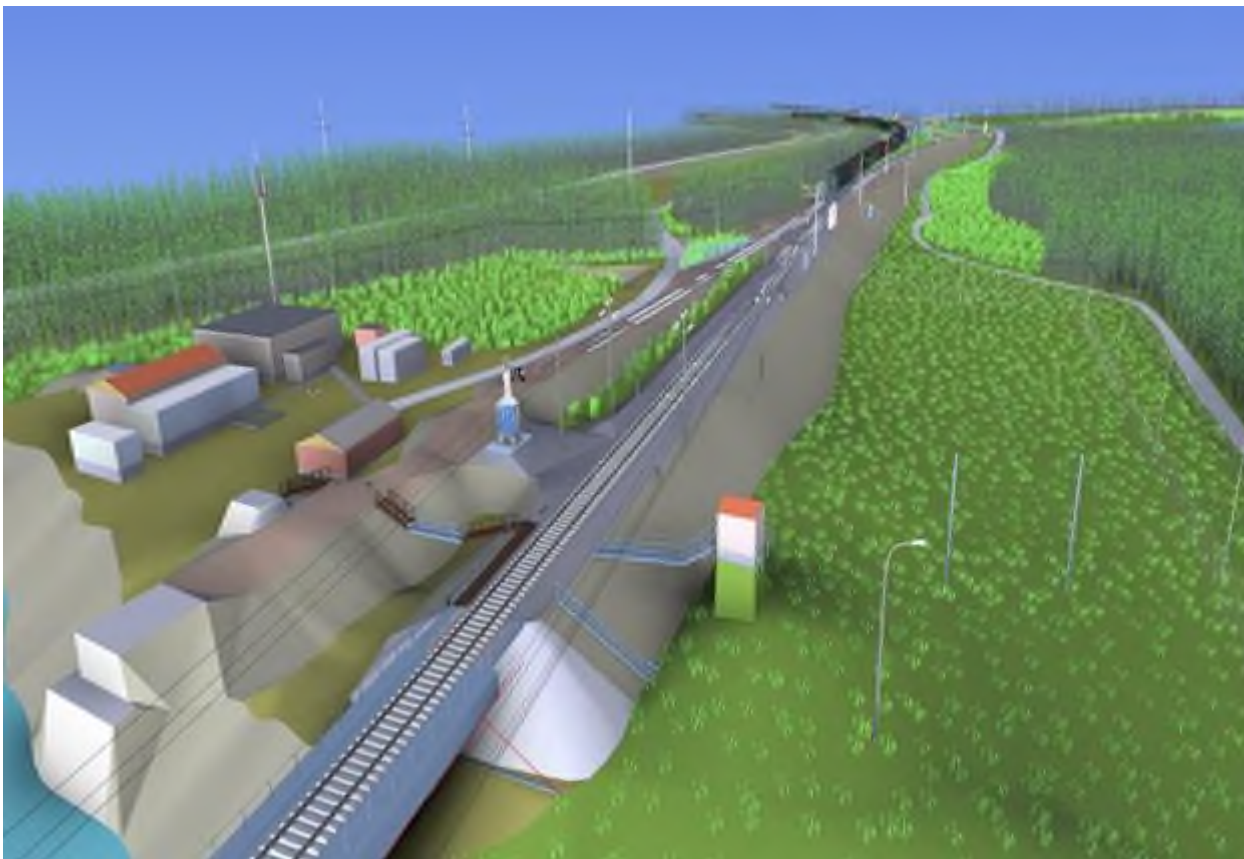


Рисунок 49 - Фрагмент цифровой информационной модели ситуации в районе водного объекта

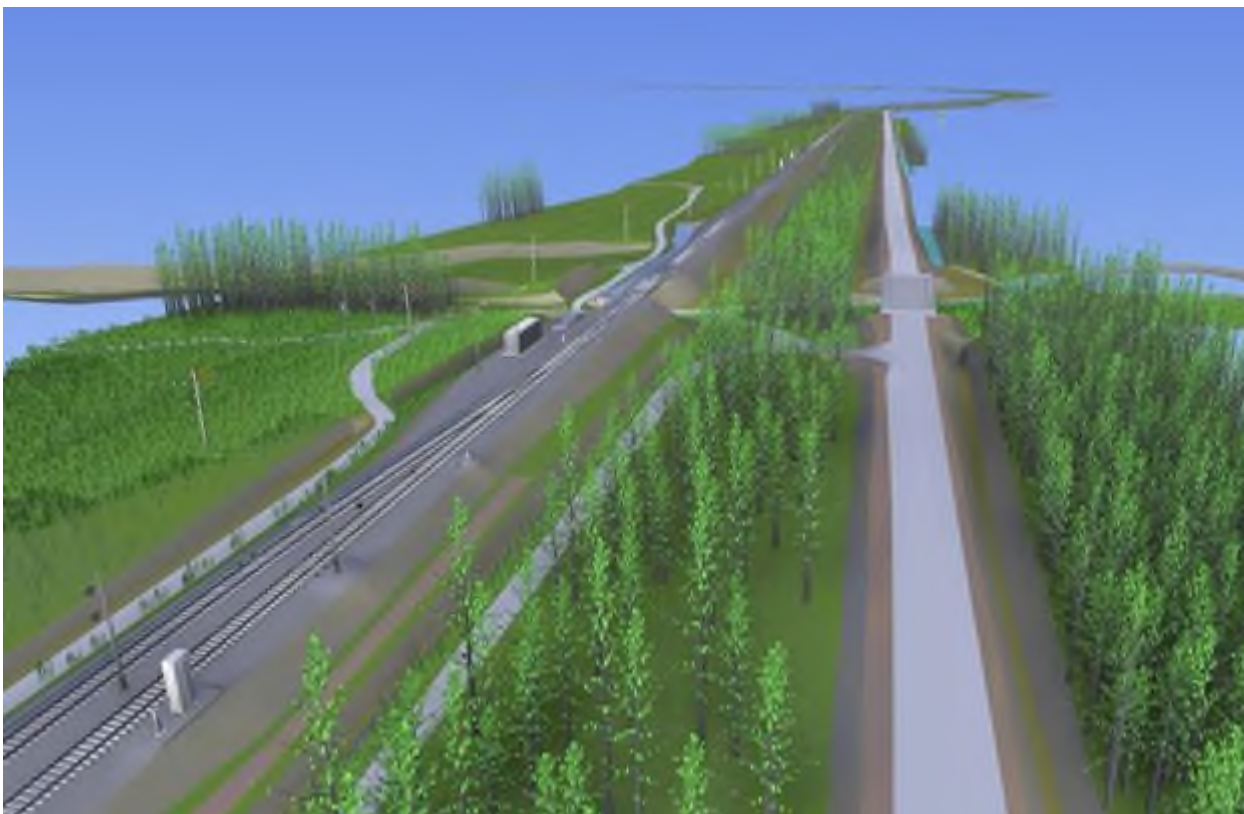


Рисунок 50 - Фрагмент цифровой информационной модели ситуации в районе водного объекта

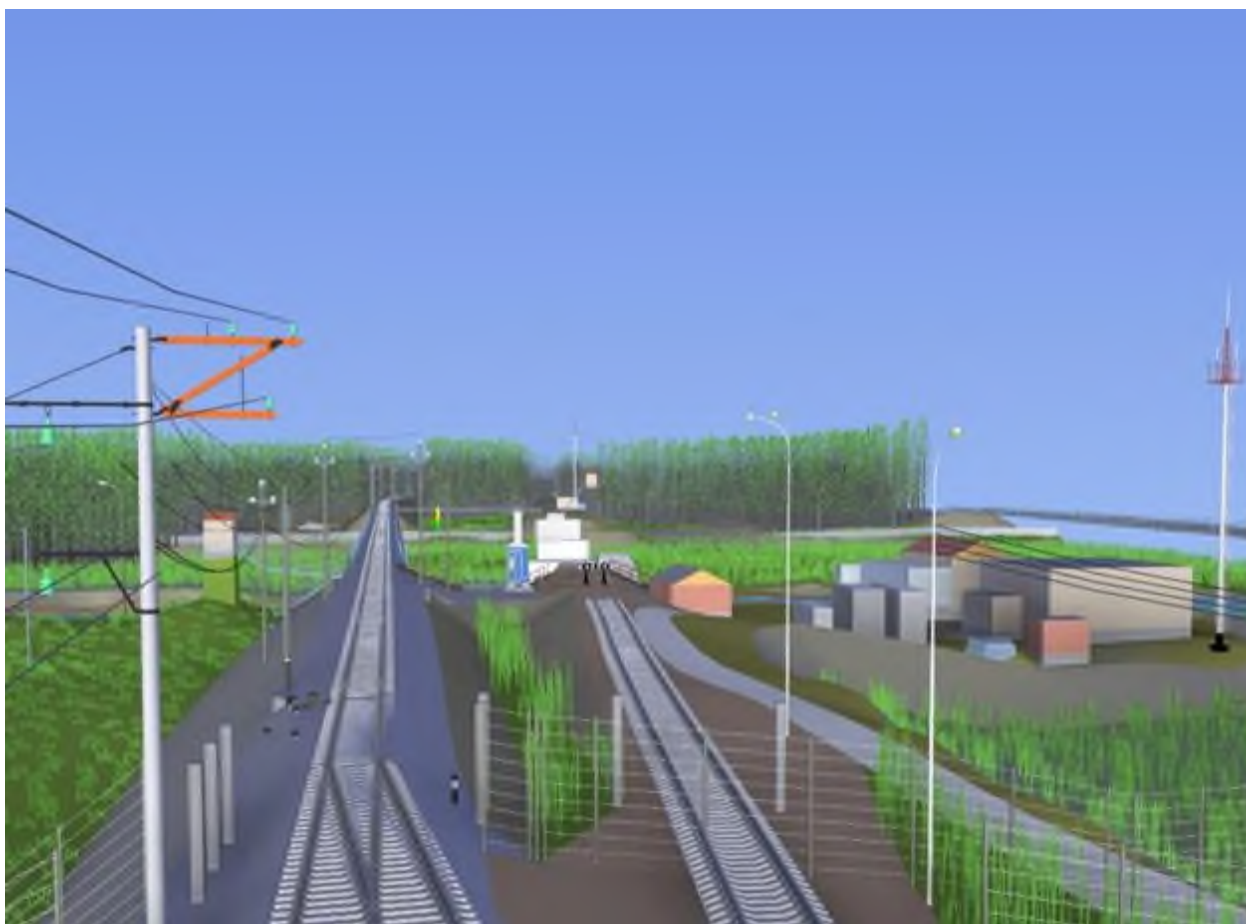


Рисунок 51 - Фрагмент итоговой цифровой информационной модели ситуации

Состав полученной информационной модели объекта представлен в Приложении А.

#### **4.3. Расчет трудоемкости формирования информационной модели и эффекта от применения авторской методики формирования ЦИММ/ЦИМС объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта**

На основе разработанной методики представлены итоговые результаты работы по созданию модели подсчета трудозатрат на создание ЦИММ/ЦИМС с использованием технологий информационного моделирования и воздушной съемки. В ходе работы были классифицированы способы создания геометрических объектов – элементов модели, создана модель оценки сложности формирования моделей различной детализации, позволяющих стандартизировать подсчет трудозатрат на реализацию проектов ЦИММ/ЦИМС объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Разработка модели подсчета трудоемкости позволяет стандартизировать подсчет стоимости реализации проекта, предоставляет возможности дальнейшей оптимизации рабочих процессов и снижения их себестоимости для проектных организаций.

Исследования существующих научных и практических исследований российских и зарубежных авторов либо показывают на значительную

теоретизированность, что усложняет возможность их практического использования и очень затруднительны или даже не применимы в реальных условиях реализации проектов информационного моделирования железнодорожной инфраструктуры в нашей стране.

В основе предлагаемой разработанной модели подсчета трудозатрат включены численные параметры объекта проектирования, которые проектная организация получает из технического задания, предоставляемого заказчиком, и в результате выполнения этапа полевых работ инженерных изысканий.

Расчет итогового значения сложности модели осуществляется по формуле:

$$N = \sum k_{lod} \times k_{loi} \times \left( k_S \times S + \frac{k_{N_e} \times N_e}{k_{N_c} \times N_c} + k_L \times L \right),$$

где

$k_S, S$  – коэффициент трудоемкости моделирования рельефа и площадь поверхности модели, км<sup>2</sup>;

$k_{N_e} \times N_e$  – коэффициент трудоемкости моделирования типового элемента модели и количество элементов модели, шт.;

$k_{N_c} \times N_c$  – коэффициент снижения трудоемкости моделирования при использовании готовых классов (семейств) элементов и количество используемых классов элементов, шт.;

$k_L, L$  – коэффициент трудоемкости моделирования линейных объектов и протяженность линейных объектов, км;

$k_{lod}, k_{loi}$  – коэффициенты повышения трудоемкости моделирования для различных значений геометрической (LOD) и геометрической (LOI) детализации объектов, км<sup>2</sup>.

Расчет проводится в следующем порядке:

1. Производится группировка элементов по уровню требуемой детализации (совокупность значений LOD и LOI).
2. Для каждой совокупности производится вычисление значения трудоемкости моделирования;
3. Полученные по выделенным группам элементов значения суммируются.

Значения коэффициентов  $k_S, k_{N_e}, k_{N_c}, k_L, k_{lod}, k_{loi}$  были определены экспертным способом, на основании данных о фактических трудозатратах, полученных в процессе формирования ЦИММ/ ЦИМС реализованных ранее проектов и откорректированы в дальнейшем эмпирически.

Исходные данные, расчетные и фактические значения трудозатрат по проектам, выполненным до внедрения авторской методики формирования ЦИММ/ ЦИМС представлены в таблице 16.

Таблица 16 - Расчетные значения ранее выполненных проектов

| Наименование объекта                                                                  | Год реализации | Площадь поверхности модели, км <sup>2</sup> | Кол-во используемых семейств (классов), шт. | Кол-во элементов модели, шт. | Протяженность линейных объектов, м | Расчетная трудоемкость, человеко-часов | Фактическая трудоемкость, человеко-часов |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
| Реконструкция высокой платформы о.п. Юбилейная                                        | 2018           | 0,022                                       | 24                                          | 178                          | 178                                | 1480                                   | 1550                                     |
| Высокогорная. Монтаж модуля для пожарного поезда                                      | 2019           | 0,01                                        | 17                                          | 95                           | 95                                 | 716                                    | 741                                      |
| Строительство контейнерного терминала на территории железнодорожной станции Гродеково | 2020           | 0,27                                        | 38                                          | 346                          | 346                                | 2329                                   | 2413                                     |

Возникающие отклонения расчетных и фактических показателей трудоёмкости, находящиеся в диапазоне от 5 до 7 процентов, на практике не оказывают значительного влияния на общий срок выполнения проекта, и в связи с этим, были приняты как допустимые.

Расчет эффективности применения данной методики формирования ЦИММ/ ЦИМС производился на основании сравнения расчетных трудозатрат на моделирование объекта и фактических трудозатрат, полученных в процессе апробации авторской методики на объекте «Реконструкция станции Ядрин Дальневосточной железной дороги» приведены в таблице 17.

Таблица 17 - Данные расчетной и фактической трудоемкости формирования ЦИММ/ ЦИМС на объекте «Реконструкция станции Ядрин Дальневосточной железной дороги»

| Наименование объекта          | Год реализации | Площадь поверхности модели, км <sup>2</sup> | Кол-во используемых семейств (классов), шт. | Кол-во элементов модели, шт. | Протяженность линейных объектов, км | Расчетная трудоемкость, человеко-часов | Фактическая трудоемкость, человеко-часов |
|-------------------------------|----------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
| «Реконструкция станции Ядрин» | 2022           | 0,71                                        | 183                                         | 9834                         | 47,5                                | 3829                                   | 2020                                     |

Выявленная разница значений расчётной и фактической трудоемкости иллюстрирует эффективность предложений автора по оптимизации процесса информационного моделирования.

Для приведения расчетных значений трудоемкости формирования ЦИММ/ ЦИМС объектов железнодорожной инфраструктуры производимой использованием авторской методики к фактическим значениям, была произведена корректировка описанных выше коэффициентов  $k_S, k_L$ . Проверка корректности произведенной корректировки была проверена на объектах, выполненных в период с 2021 по 2022 год. Её результаты приведены в таблице 18.

Таблица 18 - Данные расчетной и фактической трудоемкости формирования ЦИММ/ ЦИМС с применением авторской методики

| Наименование объекта                                                                                             | Год реализации | Площадь поверхности модели, км <sup>2</sup> | Кол-во используемых семейств (классов), шт. | Кол-во элементов модели, шт. | Протяженность линейных объектов, км | Расчетная трудоемкость, человеко-часов | Фактическая трудоемкость, человеко-часов |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
| Двухпутная вставка на перегоне Катама –Харпичан с примыканием к станции Харпичан Дальневосточной железной дороги | 2023           | 1,52                                        | 678                                         | 15000                        | 10,5                                | 3967                                   | 3778                                     |
| Второй главный путь на перегоне Дуки – Болен Дальневосточной железной дороги                                     | 2024           | 1,678                                       | 646                                         | 16070                        | 9,4                                 | 4215                                   | 4178                                     |

В результате оптимизации процесса камеральной обработки изыскательских данных, по итогам внедрения предложенной методики формирования ЦИММ/ ЦИМС в проектной организации удалось сократить время выполнения полевых работ с 25-30 дней до 10-15 дней на объект, что в 2 раза меньше, чем при работе традиционным методом.

Ключевым условием достижения результата, приведенного выше, является использование для описания элементов информационной модели

единого классификатора, применяемого на всех этапах жизненного цикла информационной модели строительного объекта. Помимо решения задачи формирования стандартизированного и однозначно интерпретируемого описания каждого элемента информационной модели, необходимо также обеспечение соответствия требованиям федеральных и отраслевых нормативных документов. Учитывая данное обстоятельство в рамках реализации пилотного проекта была проведена апробация классификатора строительной информации (далее - КСИ), утвержденного Приказом Минстроя России от 6 августа 2020 года № 430/пр для целей информационного моделирования объектов железнодорожного транспорта.

Основными отличиями линейных объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, которые не могут быть учтены средствами просмотра, рассчитанными на информационные модели зданий и сооружений, следует считать:

- большую протяженность объекта, при которой, во-первых, объект может располагаться в двух и более местных системах координат, а во-вторых, проекционная длина в МСК уже сильно отличается от длины на местности. В этом случае невозможно обеспечить точное соответствие размеров модели, выполненной в масштабе 1:1 с учетом плоского размещения уровня горизонта, и взаимного положения объектов в равноугольной проекционной системе координат;

- отсутствие набора базовых классов, из-за которого фильтрация по компонентам, как это делается в средствах просмотра Ifc-моделей зданий, невозможна;

- необходимость применения линейных систем координат, в которых положение объекта определяется относительно существующей или проектируемой оси трассы. Для железнодорожного пути такой координатой всех сооружений является пикетаж и габарит. Указанные параметры используются в документации и очень важны для проверки правильности проектирования, но существующие средства просмотра для IFC-моделей не имеют возможности пересчета прямоугольных координат в линейные и наоборот;

- абсолютно другая структура объекта с точки зрения деления и объединения пространств и конструкций. В отличие от набора взаимно-перпендикулярных или упорядоченных по определенной системе осей и уровней зданий, инфраструктура железной дороги устроена по-другому - одна или несколько осей путей, имеющих в каждой точке собственную геометрию в плане и профиле. Наличие множества объектов, отметки которых зависят от конкретного положения относительно оси пути и возвышения наружного рельса. Из чего следует, что просмотр модели по осям и уровням, аналогично моделям зданий, невозможен;

- отсутствие типовых библиотечных элементов, в отличие от элементов для зданий, находящихся в открытом доступе;

- невозможность получения документации с помощью элементарных

проекций – разрезом, фасадов. Специализированные средства просмотра должны обеспечить возможность производства планов, продольных и поперечных профилей;

- необходимость учета в модели движения подвижного состава.

Для учета представленных выше особенностей информационных моделей объектов транспортной инфраструктуры разработаны предложения по доработке КСИ.

Разработанные предложения сформированы в формате определения атрибутов элементов, в том числе с определением наборов пользовательских характеристик в соответствии с правилами IFC, которые могут применяться к существующим элементам инфраструктуры железнодорожного транспорта и фиксируются на этапе формирования информационной модели по результатам изысканий и представлены в Приложении Б.

Реализация указанных предложений, по мнению соискателя, позволит повысить эффективность и качество реализации проектов информационного моделирования объектов железнодорожного транспорта.

#### **4.4 Выводы по главе**

По результат проведенных исследований в главе 4 получены следующие результаты:

1. Произведена успешная и реализованная апробация разработанных методов и технологии формирования цифровой информационной модели по результатам инженерно-геодезических изысканий на реальном объекте, включенном в программу модернизации БАМ.

2. Разработана система оценки трудоемкости информационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры.

3. Произведена оценка эффективности авторской методики формирования ЦИММ/ЦИМС, представлены доказательства целесообразности её применения в реальных условиях на объектах строительства железнодорожной инфраструктуры.

4. Произведен анализ требований государственных и отраслевых классификаторов элементов цифровой информационной модели объектов железнодорожного транспорта и даны предложения по их доработке.

## СОДЕРЖАНИЕ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Слой: Инженерно-геодезические изыскания

Содержание: Существующая поверхность

Файл модели: Yadrin\_EGS\_1\_AC21\_I4021.ifc

| №  | Объекты                  | Представление в модели | Набор характеристик                                                                        |
|----|--------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Существующая поверхность | TIN поверхность        | RZD_Идентификация:<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RZD_Обозначение имя объекта: ЦМР |

Слой: Инженерно-геодезические изыскания

Содержание: Проектная поверхность

Файл модели: Yadrin\_EGS\_2\_AC21\_I4021.ifc

| №  | Объекты               | Представление в модели | Набор характеристик                                                                         |
|----|-----------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Проектная поверхность | TIN поверхность        | RZD_Идентификация:<br>RZD_Статус объекта: Проектируемый<br>RZD_Обозначение имя объекта: ЦМР |

Слой: Инженерно-геодезические изыскания

Содержание: Железнодорожные пути

Файл модели: Yadrin\_EGS\_3\_AC1\_I4021.ifc

| № | Объекты                     | Представление в модели | Набор характеристик                                                                     |
|---|-----------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Рельс Стрелочный<br>Перевод | Объемные 3D тела       | RZD_Идентификация Рельс СП:<br>RF_КСИ функциональный код: FCA010<br>RZD_Статус объекта: |

| № | Объекты                  | Представление в модели | Набор характеристик                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|--------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                          |                        | <p>Существующий</p> <p>RF_Тип объекта съемки геометрический:</p> <p>Ifc Linear Object_RZD</p> <p>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: AAD.01</p> <p>RZD_Наименование типа Ifc Proxy(Name Type):Rail</p> <p>RZD_Номер пути: I</p> <p>RZD_Линейная координата конца на основном пути (со стороны крестовины): 81823+18.44м</p> <p>RZD_Линейная координата начала на основном пути (со стороны острьяка): 81822+85.12м</p> <p>RZD_Номер стрелки станционный: СП1</p> <p>RZD_Направление стрелочного перевода: Левый</p> <p>RZD_Ориентация по отношению к преимущественному движению: Обратный</p> <p>RZD_Основная характеристика стрелочного перевода Марка крестовины:1/11</p> <p>RZD_Полная (практическая) длина стрелочного перевода: 33.32м</p> <p>RZD_Способ управления: ЭЦ</p> <p>RZD_Тип рельса: Р65</p> <p>RZD_Тип стрелочного перевода: Съезд</p> <p>RZD_Ширина колеи:1520</p> <p>RZD_Пикетаж:</p> <p>RZD_Пикетаж: 81822+85.12</p> <p>RZD_Пикетаж К: 81823+18.44</p> |
| 2 | Шпала Стрелочный Перевод | Объемные 3D тела       | <p>RZD_Идентификация Шпала СП:</p> <p>RF_КСИ функциональный код: FAA010</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

| № | Объекты       | Представление в модели | Набор характеристик                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---|---------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |               |                        | RZD_Статус объекта:<br>Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический:<br>IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: AAD.01<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): Ifc Шпала_RZD<br>RZD_Номер пути: I<br>RZD_Номер стрелки станционный: СП1<br>RZD_Основная характеристика стрелочного перевода_Марка крестовины:1/11<br>RZD_Полная (практическая) длина стрелочного перевода: 33.38м<br>RZD_Тип шпал: Железобетон<br>RZD_Пикетаж:<br>RZD_Пикетаж: 81822+85.12<br>RZD_Пикетаж К: 81823+18.44 |
| 3 | Участок Рельс | Объемные 3D тела       | RZD_Идентификация Рельс:<br>RF_КСИ функциональный код: FCA010<br>RZD_Статус объекта:<br>Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический:<br>Ifc Linear Object_RZD<br>RZD_Наименование типа Ifc Proxy (NameType):Rail<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: AAD.01<br>RZD_Номер пути: I<br>RZD_Пикетаж:<br>RZD_Пикетаж: 81815+13.01                                                                                                                                                                                |

| № | Объекты       | Представление в модели | Набор характеристик                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---|---------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |               |                        | RZD_Пикетаж К: 81822+85.12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 4 | Участок Шпала | Объемные 3D тела       | RZD_Идентификация Шпала:<br>RF_КСИ функциональный код: FAA010<br>RZD_Статус объекта:<br>Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический:<br>Ifc Point Object_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: AAD.01<br>RZD_Наименование типа Ifc Proxy (NameType): Ifc Шпала_RZD<br>RZD_Номер пути: I<br>RZD_Тип шпал: Железобетон<br>RZD_Пикетаж:<br>RZD_Пикетаж: 81815+13.01<br>RZD_Пикетаж К: 81822+85.12 |

Слой: Инженерно-геодезические изыскания

Содержание: Инженерные коммуникации

Файл модели: Yadrin\_EGS\_4\_AC21\_I4021.ifc

| № | Объекты | Представление в модели | Набор характеристик                                                                                                                                                                                          |
|---|---------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Кабель  | Объемные 3D тела       | RZD_Идентификация Сети:<br>RF_КСИ функциональный код: HE010<br>RZD_Статус объекта:<br>Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический:<br>Ifc Cable Network_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: ЕВА |

|   |         |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|---------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |         |                  | RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): Cable<br>RF_Глубина:-1.0м<br>RF_Назначение: Питающий<br>RF_Номинальное напряжение: 10<br>RZD_Балансодержатель: ЭЧ-1<br>RZD_Идентификатор линейного объекта: Фидер II<br>RZD_Обозначение имя объекта:Фидер                                                                |
| 2 | Колодец | Объемные 3D тела | RZD_Идентификация Колодцы:<br>RF_КСИ функциональный код: CCCD080<br>RF_Тип объекта съемки геометрический:<br>IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: Not assigned<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): IfcКолодец_RZD<br>RF_Глубина:-0.7м<br>RZD_Обозначение имя объекта: Колодец кабельный |

Слой: Инженерно-геодезические изыскания

Содержание: Дороги и озеленение

Файл модели: Yadrin\_EGS\_5\_AC21\_I4021.ifc

| № | Объекты             | Представление в модели | Набор характеристик                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---|---------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Существующие дороги | Объёмные 3D тела       | RZD_Идентификация объекта<br>RF_Идентификатор объекта съемки: Not assigned<br>RF_Идентификатор сеанса съемки: Not assigned<br>RF_КСИ функциональный код: F<br>RF_Материал конструкции: Грунт<br>RF_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: ifc Linear Object |

|   |                             |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---|-----------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                             |                  | RZD_КТИМ РЖД функциональный код: MBC<br>RZD_Наименование типа ifc Proxy (NameType):<br>ifcДорога RZD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 2 | Растительность<br>травяная  | Объёмные 3D тела | RZD_Растительность_травяная_кустарник:<br>RF_Идентификатор объекта съемки: Not assigned<br>RF_Идентификатор сеанса съемки:<br>Not assigned<br>RF_КСИ функциональный код: Not assigned<br>RF_Статус объекта: Существующий<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>IfcРастительность<br>RZD_Тип объекта съемки геометрический: Ifc Areal Object<br>RZD_Тип растительности: Травяная; луговая                                                                                                                     |
| 3 | Растительность<br>древесная | Объёмные 3D тела | RZD_Растительность_древесная:<br>RF_Идентификатор объекта съемки: Not assigned<br>RF_Идентификатор сеанса съемки:<br>Not assigned<br>RF_КСИ функциональный код: Not assigned<br>RF_Статус объекта: Существующий<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>IfcРастительность<br>RZD_Тип объекта съемки геометрический: Ifc Areal Object<br>RZD_Тип растительности: Леса естественные<br>высокоствольные<br>RZD_Состав леса: Дуб<br>RZD_Высота: 8<br>RZD_Толщина ствола: 0.12<br>RZD_Расстояние между деревьями: 4 |

Слой: Инженерно-геодезические изыскания  
 Файл модели: Yadrin\_EGS\_6\_AC21\_I4021.ifc  
 Содержание: Объекты ИССО

| № | Объекты            | Представление в модели | Набор характеристик                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---|--------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Пролетное строение | Объемные 3D тела       | RZD_Идентификация моста:<br>RF_КСИ функциональный код: CJH<br>RZD_Статус объекта:<br>Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический:<br>Ifc Linear Object_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: БАА.02<br>RZD_Наименование типа Ifc Proxy (NameType): Ifc Пролетное Строение_RZD<br>RF_Материал конструкции: Железобетон<br>RF_Тип препятствия: Ручей<br>RZD_Номер пути: I<br>RZD_Расчетная схема моста: 3x6.5м<br>RZD_Номер сооружения в разделе:1 |
| 2 | Шкафная стенка     | Объемные 3D тела       | RZD_Идентификация моста:<br>RF_КСИ функциональный код: GAC<br>RZD_Статус объекта:<br>Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический:<br>IfcLinearObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: БАА.02<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): IfcШкафнаяСтенка_RZD                                                                                                                                                                              |

|   |                |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---|----------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                |                  | RF_Материал конструкции: Железобетон<br>RF_Тип препятствия: Ручей<br>RZD_Номер пути: I<br>RZD_Расчетная схема моста: 3х6.5м<br>RZD_Номер сооружения в разделе:1                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 3 | Опора моста    | Объемные 3D тела | RZD_Идентификация моста:<br>RF_КСИ функциональный код: Not assigned<br>RZD_Статус объекта:<br>Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический:<br>IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: BAA.02<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): IfcОпораМоста_RZD<br>RF_Материал конструкции: Железобетон<br>RF_Тип препятствия: Ручей<br>RZD_Номер пути: I<br>RZD_Расчетная схема моста: 3х6.5м<br>RZD_Номер сооружения в разделе:1 |
| 4 | Стена откосная | Объемные 3D тела | RZD_Идентификация объекта:<br>RF_КСИ функциональный код: DBAB020<br>RZD_Статус объекта:<br>Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический:<br>IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: ВН RZD_Наименование типа<br>IfcProxy(NameType): IfcСтенаОткосная_RZD<br>RF_Материал конструкции: Железобетон                                                                                                                                |
| 5 | Укрепление     | Объемные 3D тела | RZD_Идентификация объекта:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|   |          |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---|----------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |          |                  | RF_КСИ функциональный код: EA<br>RZD_Статус объекта:<br>Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический:<br>Ifc Point Object_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: СAE.01<br>RZD_Наименование типа Ifc Proxy (NameType):<br>IfcУкрепление_RZD<br>RF_Материал конструкции: Бетон                                              |
| 6 | Оголовок | Объемные 3D тела | RZD_Идентификация объекта:<br>RF_КСИ функциональный код: DBAB050<br>RZD_Статус объекта:<br>Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический:<br>Ifc Point Object_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: ВН<br>RZD_Наименование типа Ifc Proxy (Name Type):<br>Type Tube Headpiece Form<br>RF_Материал конструкции: Железобетон |

|   |                      |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---|----------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7 | Мост<br>автодорожный | Объемные 3D тела | RZD_Идентификация моста:<br>RF_КСИ функциональный код: GA<br>RZD_Статус объекта:<br>Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcLinearObject<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: BAB.01<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>IfcАвтодорожныйМост_RZD<br>RF_Материал конструкции: Железобетон<br>RF_Тип препятствия: Ручей<br>RZD_Номер пути: Not assigned<br>RZD_Расчетная схема моста: Not assigned<br>RZD_Номер сооружения в разделе: Not assigned |
|---|----------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Слой: Инженерно-геодезические изыскания

Содержание: Объекты ситуации

Файл модели: Yadrin\_EGS\_7\_AR21\_I4021.ifc

| №  | Объекты  | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|----------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Опора КС | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: НВС-030<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: ЕА<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): PoleOCS<br>RZD_Идентификатор линейного объекта: Элетрофикация<br>нечетный путь<br>RZD_Идентификатор ВОЛС: ВОЛС |

| № | Объекты | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---|---------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |         |                        | RZD_Идентификатор высоковольтной линии: Фидер<br>RZD_Идентификатор линии ДПП: ДПП<br>RZD_Идентификатор низковольтной линии: Not assigned<br>RZD_Номер пути: I<br>RZD_Конструктивное назначение опоры контактной сети:<br>Консольная<br>RZD_Назначение опоры контактной сети:<br>Анкерная<br><br>Текст:<br>RF_Описание: Опора КС<br>RZD_Обозначение_имя объекта: 7<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Железобетон<br>Размеры:<br>RZD_Высота: Not assigned<br>RZD_Габарит:-3.52<br>RZD_Отметка верха: Not assigned<br>RZD_Пикетаж: 81847+54.10<br>Прочие:<br>RZD_Количество дополнительных проводов контаткной<br>сети:0<br>RZD_Количество кронштейнов:2<br>RZD_Количество проводов с полевой стороны:3<br>RZD_Наличие кронштейна ВОЛС: да<br>RZD_Наличие кронштейна ДПП: нет |

| №  | Объекты             | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|---------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                     |                        | RZD_Наличие кронштейна высоковольтной линии: да<br>RZD_Наличие кронштейна низковольтной линии: нет<br>RZD_Наличие прожектора: нет<br>RZD_Наличие тумбы: да<br>RZD_Наличие фундамента: да<br>RZD_Центр объекта: нет                                                                                                                                                                                                                                     |
| 2. | Анкер               | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: AKADA<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: EA<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): Anchor<br>RZD_Номер пункта ВКС: Not assigned<br>RZD_Номер пути: I<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: 7<br>Размеры:<br>RZD_Габарит:-3.70<br>RZD_Пикетаж: 81847+46.22<br>Прочие:<br>RZD_Центр объекта: нет |
| 3  | Стойка фиксатора КС | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: FDAT<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: EA                                                                                                                                                                                                                                                               |

| № | Объекты           | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|-------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                   |                        | RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>IfcСтойкаФиксатора_RZD<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Стойка фиксатора КС                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 4 | Контактный провод | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: CNU_0050<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический:<br>IfcCableNetwork_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: ЕАА<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): Overhead<br>Contact System<br>RZD_Номер опорного точечного объекта: 7<br>RZD_Номер опорного точечного объекта_К: 9<br>RZD_Тип пролета: Промежуточный<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Подвеска_КС<br>Размеры:<br>RZD_Высота точки подвеса провода: 6.180<br>RZD_Высота точки подвеса провода_К: 6.350<br>RZD_Отметка головки рельса: 234.260<br>RZD_Отметка головки рельса_К: 234.710 |
| 5 | Провод            | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: FFAC<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

| № | Объекты   | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---|-----------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |           |                        | <p>IfcCableNetwork_RZD<br/> RZD_КТИМ РЖД функциональный код: EBB<br/> RZD_Наименование типа IfcProху(NameType): E_Line<br/> RZD_Идентификатор линейного объекта: Элетрофикация нечетный путь<br/> RZD_Идентификатор провода: Фидер<br/> RF_Тип изоляции: Подвесной<br/> RZD_Тип подвеса_опорного узла: Кронштейн<br/> Текст:<br/> RZD_Обозначение_имя объекта: 7<br/> Прочие:<br/> RZD_Количество изоляторов:3</p>                                                                                                      |
| 6 | Опора ЛЭП | Объемные 3D тела       | <p>Идентификация:<br/> RF_КСИ функциональный код: HBB<br/> RZD_Статус объекта: Существующий<br/> RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br/> RZD_КТИМ РЖД функциональный код: EB<br/> RZD_Наименование типа IfcProху(NameType): E_Pole<br/> RZD_Идентификатор линейного объекта: ЛЭП 3пр._2<br/> RZD_Идентификатор высоковольтной линии:<br/> Высоковольтный<br/> RZD_Идентификатор низковольтной линии: Not assigned<br/> RZD_Номер пути: Not assigned</p> <p>Текст:<br/> RF_Описание: Опора ЛЭП</p> |

| № | Объекты  | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---|----------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |          |                        | RZD_Обозначение_имя объекта: Б/Н<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Железобетон<br>Размеры:<br>RZD_Высота: Not assigned<br>RZD_Габарит:Not assigned RZD_Отметка верха: Not assigned<br>RZD_Пикетаж: Not assigned<br>Прочие:<br>RZD_Количество проводов с полевой стороны:6<br>RZD_Центр объекта: нет |
| 7 | Муфта    | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: CAAF090<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: F<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): Box<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Муфта                           |
| 8 | Светофор | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: CGJ030<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: Not assigned<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): Signal<br>RZD_Номер пути: I<br>Текст:                               |

| № | Объекты | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|---------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |         |                        | RZD_Обозначение_имя объекта: ЧД<br>RZD_Назначение светофора: Выходной<br>RZD_Наименование типа конструктивного исполнения светофора: Мачтовый<br>Размеры:<br>RZD_Габарит:-3,47<br>RZD_Пикетаж: 81820+55.82<br>Прочие:<br>RZD_Наличие фундамента:да<br>RZD_Центр объекта:нет                                                                                                                                                                                                                   |
| 9 | Изостык | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: FCFB RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: Not assigned<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): IfcИзолирующийСтык_RZD<br>RZD_Номер пути: I<br>RZD_Тип рельса: P65<br>RZD_Тип шпал: Железобетон<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Изостык<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Металл<br>Прочие:<br>RZD_Центр объекта: да |

| №  | Объекты                        | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----|--------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10 | Шкаф релейный                  | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: CGCB120<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: F<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): Cabinet<br>RZD_Номер пути: I<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Релейный шкаф<br>Размеры:<br>RZD_Габарит:-3,33<br>RZD_Пикетаж: 81823+04.98<br>Прочие:<br>RZD_Центр объекта:нет |
| 11 | Стрелочный электропривод       | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: FFD<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: FVB<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>IfcСтрелочныйЭлектропривод_RZD<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: 8                                                                                                           |
| 12 | ДПС опора с громкоговорителями | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: HLAD210<br>RZD_Статус объекта: Существующий                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

| №  | Объекты           | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----|-------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                   |                        | RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: GBA<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): SoundSignal<br>RZD_Номер пути: I<br>Текст:<br>RF_Описание: Громкоговоритель<br>RZD_Обозначение_имя объекта: 2/2<br>Размеры:<br>RZD_Габарит: -4,36<br>RZD_Пикетаж: 81831+53.57<br>Прочие:<br>RZD_Центр объекта:нет                                                                                                                                                                |
| 13 | Звено оголовочное | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: DBAB050<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: BDA<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): Culvert<br>RF_Тип препятствия: Ручей<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Звено оголовочное<br>RZD_Положение оголовка водопропускной трубы: Входной<br>RZD_Расположение относительно направления роста километража:<br>Слева<br>RZD_Тип оголовка водопропускной трубы по форме: |

| №  | Объекты                  | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----|--------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                          |                        | Прямоугольный<br>RZD_Тип поперечного сечения водопропускной трубы:<br>Прямоугольный<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Железобетон<br>Размеры:<br>RF_Высота: 2,0<br>RF_Отметка верха: 216,68<br>RF_Отметка дна: 214,76<br>RF_Ширина: 1,5<br>RZD_Отметка оголовка: 217,20<br>RZD_Схема отверстий трубы: ПЖБТ отв. 1.50 x 2.00 м                                           |
| 14 | Стена откосная           | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: DBAB020<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: ВН<br>RZD_Наименование типа IfcProху(NameType):<br>IfcСтенаОткосная_RZD<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Стена откосная<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Железобетон |
| 15 | Высоковольтный разрядник | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: CGCC<br>RZD_Статус объекта: Существующий                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

| №  | Объекты       | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|---------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |               |                        | RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: E<br>RZD_Наименование типа IfcProху(NameType):<br>IfcВысоковольтныйРазрядник_RZD<br>Текст:<br>RF_Описание: Высоковольтный разрядник<br>RZD_Обозначение_имя объекта: 73<br>Прочие:<br>RZD_Центр объекта:нет                                 |
| 16 | Разъединитель | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: CGFD<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: E<br>RZD_Наименование типа IfcProху(NameType):<br>IfcРазъединитель_RZD<br>Текст:<br>RF_Описание: Разъединитель<br>RZD_Обозначение_имя объекта: 91 |
| 17 | Трансформатор | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: CGGB<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: E<br>RZD_Наименование типа IfcProху(NameType):<br>IfcТрансформатор_RZD                                                                            |

| №  | Объекты                     | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|-----------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                             |                        | Текст:<br>RF_Описание: Трансформатор<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Б/Н                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 18 | Подстанция трансформаторная | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: CGGB020<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: EDB.07<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>Ifc ПодстанцияТрансформаторная_RZD<br>Текст:<br>RF_Описание: Подстанция трансформаторная<br>RZD_Обозначение_имя объекта: ТП             |
| 19 | Здание                      | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: НАН<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcBuilding_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: FAA<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): IfcBuilding<br>Текст:<br>RF_Материал: Кирпич<br>RZD_Количество надземных этажей: 1<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Пост ЭЦ<br>RZD_Состояние: Нежилое |
| 20 | Забор                       | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: EFH                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

| №  | Объекты                     | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|-----------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                             |                        | RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcLinearObject<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: CFB<br>RZD_Наименование типа IfcProху(NameType): IfcЗабор_RZD<br>RZD_Идентификатор линейного объекта: Забор деревянный_7<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Деревянное ограждение<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Дерево<br>Размеры:<br>RF_Высота: 1.0                                                             |
| 21 | Ворота                      | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: EFP<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcLinearObject<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: Not assiged<br>RZD_Наименование типа IfcProху(NameType): IfcЗабор_RZD<br>RZD_Идентификатор линейного объекта: Забор деревянный_4<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Деревянное ограждение<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Дерево<br>Размеры:<br>RF_Высота: 1.5 |
| 22 | Антенно-мачтовое сооружение | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: HBD020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

| №  | Объекты            | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----|--------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                    |                        | RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: GAB.01<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>IfcАнтенноМачтовоеСооружение_RZD<br>Текст:<br>RF_Описание: Антенно-мачтовое сооружение<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Б/Н<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Железобетон                                                                  |
| 23 | Столбик предельный | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: Not assigned<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: Not assigned<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>IfcПредельныйСтолбик_RZD<br>RZD_Номер пути: I<br>Текст:<br>RF_Описание: Предельный столбик<br>RZD_Обозначение_имя объекта: 8<br>Размеры:<br>RZD_Габарит: 2.0<br>RZD_Пикетаж: 81822+59.14 |
| 24 | Столбик пикетный   | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: FAJ030                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| №  | Объекты                        | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----|--------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                |                        | RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: Not assigned<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>IfcСтолбикПикетный_RZD<br>Текст:<br>RF_Описание: Столбик пикетный<br>RZD_Обозначение_имя объекта: 8<br>RZD_Обозначение_имя объекта_2: 9                                                                      |
| 25 | Столб километровый             | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: Not assigned<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: Not assigned<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>IfcСтолбикПикетный_RZD<br>Текст:<br>RF_Описание: Столб Километровый<br>RZD_Обозначение_имя объекта: 8182<br>RZD_Обозначение_имя объекта_2: 8183 |
| 26 | Столбик ограждения<br>переезда | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: FAJ020<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: Not assigned<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):                                                                                                                                                          |

| №  | Объекты             | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|---------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                     |                        | IfcСтолбикОграждения_RZD<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Столбик ограждения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 27 | Настил переезда     | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: FCD<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: ВСА<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>IfcНастилПереезда_RZD<br>RZD_Номер пути: I<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Настил переезда<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Резина |
| 28 | Светофор переездной | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: CGJ030<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: ВСА.05<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): Signal<br>Текст:<br>RF_Описание: Светофор переездной<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Б<br>RZD_Назначение светофора: Заградительный<br>Прочие:                |

| №  | Объекты   | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----|-----------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |           |                        | RZD_ Центр объекта: нет                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 29 | Упор пути | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: ABCDA<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: Not assigned<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>IfcТупиковыйУпор_RZD<br>RZD_Номер пути: 6<br>Текст:<br>RF_Описание: Упор пути<br>RZD_Обозначение_имя объекта: 6<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Дерево |
| 30 | Укос      | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: Not assigned<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: Not assigned<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): IfcУкос_RZD<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Укос<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Железобетон<br>Прочие:<br>RZD_ Центр объекта: нет       |

| <b>№</b> | <b>Объекты</b>   | <b>Представление в модели</b> | <b>Набор характеристик:<br/>Атрибуты: Значения</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------|------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 31       | Пасынок          | Объемные 3D тела              | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: АВАВЕ020<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: Not assigned<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>IfcПасынок_RZD<br>RZD_Номер пути: I<br>Текст:<br>RF_Описание: Пасынок<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Б/Н<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Железобетон<br>Размеры:<br>RZD_Высота: Not assigned<br>RZD_Габарит:-10.34<br>RZD_Отметка верха: Not assigned<br>RZD_Пикетаж: 81830+93.33<br>Прочие:<br>RZD_Наличие тумбы: да<br>RZD_Наличие фундамента: да<br>RZD_Центр объекта: нет |
| 32       | Стакан под опору | Объемные 3D тела              | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: FAFN<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

| №  | Объекты          | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----|------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                  |                        | RZD_ КТИМ РЖД функциональный код: Not assigned<br>RZD_ Наименование типа IfcProxy(NameType): HasStand<br>RZD_ Идентификатор линейного объекта: Not assigned<br>RZD_ Номер пути: I<br>RZD_ Тип опоры контактной сети: Not assigned<br>Текст:<br>RF_ Описание: Стакан под опору<br>RZD_ Обозначение_имя объекта: Б/Н<br>Материалы и отделка:<br>RF_ Материал конструкции: Железобетон<br>Размеры:<br>RZD_ Высота: 1.2<br>RZD_ Габарит:-4.76<br>RZD_ Отметка верха: Not assigned<br>RZD_ Пикетаж: 81839+06.97<br>Прочие:<br>RZD_ Центр объекта: да |
| 33 | Стакан под анкер | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_ КСИ функциональный код: FAFN<br>RZD_ Статус объекта: Существующий<br>RF_ Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_ КТИМ РЖД функциональный код: Not assigned<br>RZD_ Наименование типа IfcProxy(NameType): HasStand<br>RZD_ Идентификатор линейного объекта: Not assigned<br>RZD_ Номер пути: I<br>RZD_ Тип опоры контактной сети: Not assigned                                                                                                                                                       |

| №  | Объекты       | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----|---------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |               |                        | Текст:<br>RF_Описание: Стакан под анкер<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Б/Н<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Железобетон<br>Размеры:<br>RZD_Высота: Not assigned<br>RZD_Габарит: Not assigned<br>RZD_Отметка верха: Not assigned<br>RZD_Пикетаж: Not assigned<br>Прочие:<br>RZD_Центр объекта: да                                                                                                                              |
| 34 | Бетонный блок | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: FA<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: Not assigned<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>IfcБлокБетонный_RZD<br>RZD_Номер пути: I<br>Текст:<br>RF_Описание: Бетонный блок<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Б/Н<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Железобетон<br>Размеры: |

| №  | Объекты              | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----|----------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                      |                        | RZD_Высота: Not assigned<br>RZD_Габарит: Not assigned<br>RZD_Отметка верха: Not assigned<br>RZD_Пикетаж: Not assigned<br>Прочие:<br>RZD_Центр объекта: да<br>RZD_Наличие фундамента: да                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 35 | Рельсосмазователь    | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: Not assigned<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: Not assigned<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>IfcРельсосмазователь_RZD<br>RZD_Номер пути: II<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Рельсосмазователь<br><br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Металл<br>Размеры:<br>RZD_Габарит: Not assigned<br>RZD_Пикетаж: Not assigned |
| 36 | Труба водопропускная | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: СААВ<br>RZD_Статус объекта: Существующий                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

| №  | Объекты    | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |            |                        | RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: BDA<br>RZD_Наименование типа IfcProху(NameType): IfcТруба_RZD<br>RF_Тип препятствия: Ручей<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: КМ<br>RZD_Положение оголовка водопропускной трубы: Not assigned<br>RZD_Тип оголовка водопропускной трубы по форме: Отсутствует<br>RZD_Тип поперечного сечения водопропускной трубы: Круглая<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Металл<br>Размеры:<br>RF_Высота: 0.8<br>RF_Отметка верха: 211.06<br>RF_Отметка дна: 210.64<br>RF_Ширина: 0.8<br>RZD_Отметка оголовка: Not assigned RZD_Схема отверстий трубы: КМ отв.0.8м |
| 37 | Тело трубы | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: DBAB010<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcLinearObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: BDA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

| №  | Объекты | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|---------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |         |                        | RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType): Culvert<br>RF_Тип препятствия: Ручей<br>Текст:<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Тело трубы<br>RZD_Тип поперечного сечения водопропускной трубы:<br>Прямоугольный<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Железобетон<br>Прочее:<br>RZD_Центр объекта: нет                                                                                                              |
| 38 | Фонарь  | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: AGA<br>RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcPointObject_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: EBСA<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>IfcФонарь_RZD<br>Текст:<br>RF_Описание: Фонарь<br>RZD_Обозначение_имя объекта: 88<br>Материалы и отделка:<br>RF_Материал конструкции: Металл<br>Прочее:<br>RZD_Центр объекта: нет |
| 39 | KTCM    | Объемные 3D тела       | Идентификация:<br>RF_КСИ функциональный код: DBA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

| № | Объекты | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---|---------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |         |                        | RZD_Статус объекта: Существующий<br>RF_Тип объекта съемки геометрический: IfcBuilding_RZD<br>RZD_КТИМ РЖД функциональный код: FAE.03<br>RZD_Наименование типа IfcProxy(NameType):<br>Signal_TMFDevice<br>Текст:<br>RF_Материал: Кирпич<br>RZD_Количество надземных этажей: 1<br>RZD_Обозначение_имя объекта: Пункт KTCM<br>RZD_Состояние: Нежилое |

Слой: Инженерно-геологические изыскания

Содержание: Объемная геологическая модель

Файл модели: Yadrin\_GES\_1\_AC21\_I4021.ifc

| №  | Объекты                 | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|-------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Геологические выработки | Объемные 3D тела       | RZD_Идентификация:<br>RZD_Набор_характеристик_геологичес-<br>ких_данных_по_выработке<br>RF_Категория_сложности_<br>инженерно-геологических_условий: II Проектный<br>RF_Вид_инженерно_геологической_<br>выработки: Скважина<br>RZD_Идентификатор_выработки_<br>(в_пространстве_съемки): 01<br>RF_Глубина_(бурения_геологической_выработки): 5 |

| № | Объекты | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---|---------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |         |                        | RF_Диаметр_выработки: 146<br>RF_Отметка_забоя_выработки: 226.75<br>RF_Отметка_земли_<br>(устья_геологической_выработки): 231.75<br>RZD_Идентификатор_съемки: Not assigned<br>RF_Номер_ИГЭ: 12<br>RF_Наименование_ИГЭ: Щебенистый грунт<br>RF_Геологический_индекс: dQ <sub>IV</sub><br>RF_Естественная_влажность_грунта: 1.9<br>RF_Влажность_грунта_на_границе_<br>текучести: 18.1<br>RF_Влажность_грунта_на_границе_<br>раскатывания: 14.1<br>RF_Число_пластичности_грунта: 4.1<br>RF_Показатель_текучести_грунта: -1.2<br>RF_Плотность_частиц_грунта: 2.62<br>RF_Плотность_грунта: 2.6<br>RF_Плотность_сухого_грунта: 1.12<br>RF_Коэффициент_пористости: 0.24<br>RF_Удельное_сцепление_грунта: 14<br>RF_Угол_внутреннего_трения: 39<br>RF_Модуль_деформации: 51 |

| №  | Объекты                          | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----|----------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2. | Инженерно-геологические элементы | Объемные 3D тела       | RZD_Идентификация:<br>RZD_Набор_характеристик_геологических_данных_по_ИГЭ<br>RF_Наименование_ИГЭ: Щебенистый грунт<br>RF_Номер_ИГЭ: 12<br>RF_Геологический_индекс: dQ <sub>IV</sub><br>RZD_Примечание: Ожелезненный<br>RZD_Объем: 3296791.54<br>RF_Природная_влажность_грунта: 1.9<br>RF_Природная_влажность_заполнителя: 9.2<br>RF_Влажность_на_границе_текучести: 18.1<br>RF_Влажность_на_границе_раскатывания: 14.1<br>RF_Число_пластичности_грунта: 4.1<br>RF_Показатель_текучести: -1.2<br>RF_Плотность_частиц_грунта: 2.62<br>RF_Плотность_грунта: 2.16<br>RF_Плотность_сухого_грунта: 1.12<br>RF_Коэффициент_пористости: 0.24<br>RF_Коэффициент_водонасыщения: 0.2<br>RZD_Гранулометрический_состав_1: 81.8<br>RZD_Гранулометрический_состав_2: 5.1<br>RZD_Гранулометрический_состав_3: 3.2<br>RZD_Гранулометрический_состав_4: 1.7<br>RZD_Гранулометрический_состав_5: 1.6<br>RZD_Гранулометрический_состав_6: 6.5 |

| № | Объекты | Представление в модели | Набор характеристик:<br>Атрибуты: Значения                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---|---------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |         |                        | RZD_Расчетное_сопротивление_<br>грунта: 450<br>RZD_Предел_прочности_на_одноосное_<br>сжатие: 0<br>RF_Удельное_сцепление_грунта: 14<br>RF_Угол_внутреннего_трения: 39<br>RF_Модуль_деформации: 51<br>RF_Коэффициент_размягчаемости_в_<br>воде: 0<br>RF_Группа_грунта_по_степени_<br>разработки: 41б |

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### ПЕРЕЧЕНЬ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОАО "РЖД" ДЛЯ ВКЛЮЧЕНИЯ В КСИ

| № | Наименование характеристики       | Код класса | Определение                                                                                     | Источник | Тип значения |                                                                            |
|---|-----------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|----------------------------------------------------------------------------|
|   |                                   |            |                                                                                                 |          | Тип данных   | Список значений                                                            |
| 1 | Статус объекта                    | XNU_0001   | Характеристика объекта по принадлежности к стадии жизненного цикла. Из списка                   |          | Текстовый    | Существующий, вновь возводимый, демонтируемый, реконструируемый, временный |
| 2 | Тип объекта съемки геометрический | XNU_0002   | Тип объекта съемки по способу фиксации местоположения и размеров                                |          | Текстовый    |                                                                            |
| 3 | Тип объекта функциональный        | XNU_0003   | Тип объекта по функциональному назначению, визуально определяемый во время геодезической съемки |          | Текстовый    |                                                                            |
| 4 | Идентификатор объекта съемки      | XNU_0004   | Уникальный идентификатор объекта в составе ЦИМ                                                  |          | Текстовый    |                                                                            |

| № | Наименование характеристики             | Код класса | Определение                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Источник | Тип значения |                 |
|---|-----------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|-----------------|
|   |                                         |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |          | Тип данных   | Список значений |
| 5 | Обозначение_ имя объекта                | XNU_0005   | Обозначение объекта по правилам наименования или нумерации, назначаемое при проектировании. Для существующих - обозначение или номер объекта в соответствии с визуально идентифицируемой маркировкой. Собственные наименования объектов - рек, водоемов, именованных объектов местности, станций, платформ. |          | Текстовый    |                 |
| 6 | Идентификатор участка линейного объекта | XNU_0006   | Идентификатор участка линейного объекта                                                                                                                                                                                                                                                                     |          |              |                 |
| 7 | Код EPSG                                | XLU_0021   | Международный код системы координат                                                                                                                                                                                                                                                                         |          | Текстовый    |                 |

| №  | Наименование характеристики    | Код класса | Определение                                                 | Источник | Тип значения |                 |
|----|--------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------|----------|--------------|-----------------|
|    |                                |            |                                                             |          | Тип данных   | Список значений |
| 8  | Наименование системы координат | XLU_0022   | Наименование системы координат                              |          | Текстовый    | Справочник      |
| 9  | Координата_ X                  | XLU_0023   | Координата_ X в проекционной системе координат              |          | Числовой     |                 |
| 10 | Координата_ Y                  | XLU_0024   | Координата_ Y в проекционной системе координат              |          | Числовой     |                 |
| 11 | Широта                         | XLU_0025   | Широта в геодезической системе координат                    |          | Числовой     |                 |
| 12 | Долгота                        | XLU_0026   | Долгота в геодезической системе координат                   |          | Числовой     |                 |
| 13 | Система высот                  | XLU_0027   | Система высот                                               |          | Текстовый    |                 |
| 14 | Идентификатор сеанса съемки    | XLU_0028   | Идентификатор сеанса съемки                                 |          | Текстовый    |                 |
| 15 | Координата_ H                  | XLU_0029   | Отметка в указанной систем высот                            |          | Числовой     |                 |
| 16 | X_ ВКС                         | XLU_0030   | Координата X_ в высокоточной координатной системе ОАО "РЖД" |          | Числовой     |                 |

| №  | Наименование<br>характеристики | Код<br>класса | Определение                                              | Источник | Тип значения  |                 |
|----|--------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------|----------|---------------|-----------------|
|    |                                |               |                                                          |          | Тип<br>данных | Список значений |
| 17 | Y_ ВКС                         | XLU_0031      | Y_ ВКС в высокоточной координатной системе ОАО "РЖД"     |          | Числовой      |                 |
| 18 | H_ ВКС                         | XLU_0032      | H_ ВКС в высокоточной координатной системе ОАО "РЖД"     |          | Числовой      |                 |
| 19 | Номер пункта ВКС               | XLU_0033      | Номер пункта высокоточной координатной системы ОАО "РЖД" |          | Текстовый     |                 |
| 20 | Код станции                    | XLAU_0020     | Код станции по тарифному справочнику ОАО "РЖД"           |          | Текстовый     |                 |
| 21 | Номер пути                     | XLLU_0020     | Номер пути по принятой в ОАО "РЖД" системе нумерации     |          | Текстовый     |                 |
| 22 | Идентификатор пути             | XLLU_0021     | Уникальный идентификатор пути в проекте                  |          | Текстовый     |                 |
| 23 | Пикетаж                        | XLLU_0022     | Значение в формате КМПК+                                 |          | Текстовый     |                 |

| №  | Наименование<br>характеристики | Код<br>класса | Определение                                                                                                                                                      | Источник | Тип значения          |                 |
|----|--------------------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|-----------------|
|    |                                |               |                                                                                                                                                                  |          | Тип<br>данных         | Список значений |
| 24 | Тип пикетажа                   | XLLU_<br>0023 | Система нумерации<br>пикетов                                                                                                                                     |          | Текстовый             |                 |
| 25 | Номер пикета                   | XLLU_<br>0024 | Порядковый номер<br>пикета                                                                                                                                       |          | Числовой              |                 |
| 26 | Станция перегона               | XLLU_<br>0025 | Наименование<br>начальной станции<br>пергона                                                                                                                     |          | Текстовый             |                 |
| 27 | Код станции_ резерв            | XLLU_<br>0026 | Код станции по<br>тарифному<br>справочнику                                                                                                                       |          | Текстовый             |                 |
| 28 | Станция                        | XLLU_<br>0027 | Наименование<br>станции                                                                                                                                          |          | Текстовый             |                 |
| 29 | Габарит объекта                | XLLU_<br>0028 | Горизонтальное<br>расстояние от оси<br>пути до объекта в<br>поперечной к оси пути<br>плоскости,<br>измеренное или<br>рассчитанное по<br>определенным<br>правилам |          | Числовой<br>со знаком |                 |
| 30 | Ордината                       | XLLU_<br>0029 | Расстояние от оси ПЗ<br>вдоль выбранного<br>пути                                                                                                                 |          | Числовой<br>со знаком |                 |

| №  | Наименование характеристики                   | Код класса | Определение                                                                                        | Источник | Тип значения |                                        |
|----|-----------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|----------------------------------------|
|    |                                               |            |                                                                                                    |          | Тип данных   | Список значений                        |
| 31 | Номер узла                                    | XLLU_0030  | Уникальный номер точки начала, разветвления, или конца участка пути в топологической схеме станции |          | Текстовый    |                                        |
| 32 | Тип узла                                      | XLLU_0031  | Тип узла - тупик, управляемый, неуправляемый (глухое пересечение)                                  |          | Текстовый    | Стрелочный перевод, тупик, пересечение |
| 33 | Идентификатор участка с непрерывным пикетажем | XLLU_0032  | Уникальный идентификатор участка от узла до узла в топологической схеме                            |          | Текстовый    |                                        |
| 34 | Номер стрелочного перевода                    | XLLU_0033  | Номер стрелочного перевода по принятой системе нумерации                                           |          | Текстовый    |                                        |
| 35 | Идентификатор родительского объекта           | XLLU_0034  | Уникальный идентификатор родительского объекта в проекте                                           |          | Текстовый    |                                        |

| №  | Наименование характеристики | Код класса | Определение                                                                                    | Источник | Тип значения |                 |
|----|-----------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|-----------------|
|    |                             |            |                                                                                                |          | Тип данных   | Список значений |
| 36 | Наличие фундамента          | XLLU_0035  | Признак наличия фундамента. Если есть, то точка вставки по уровню фундамента, если нет - земля |          | Логический   |                 |
| 37 | Центр объекта               | XLLU_0036  | Признак соответствия координаты центру объекта, например, люк, столбик.                        |          | Логический   |                 |
| 38 | Пикетаж_ К                  | XLLU_0037  | Пикетаж конца отрезка                                                                          |          | Текстовый    |                 |
| 39 | Номер узла_ К               | XLLU_0038  | Номер узла в конце отрезка                                                                     |          | Текстовый    |                 |
| 40 | Отметка земли_ К            | XLLU_0039  | Отметка земли в конце отрезка                                                                  |          | Числовой     |                 |
| 41 | Отметка в начале            | XLLU_0040  | Отметка элемента в начале отрезка                                                              |          | Числовой     |                 |
| 42 | Отметка в конце             | XLLU_0041  | Отметка элемента в конце отрезка                                                               |          | Числовой     |                 |
| 43 | Габарит провода             | XLLU_0042  | Расстояние от провода до земли в точке максимального провеса                                   |          | Числовой     |                 |

| №  | Наименование<br>характеристики           | Код<br>класса | Определение                                                                                 | Источник | Тип значения  |                 |
|----|------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|-----------------|
|    |                                          |               |                                                                                             |          | Тип<br>данных | Список значений |
| 44 | Отметка низа провода в точке провеса     | XLLU_0043     | Отметка нижней точки провода в точке максимального провеса                                  |          | Числовой      |                 |
| 45 | Отметка точки подвеса несущ.его троса    | XLLU_0044     | Отметка точки подвеса несущего троса                                                        |          | Числовой      |                 |
| 46 | Отметка точки подвеса несущ.его троса_ К | XLLU_0045     | Отметка точки подвеса несущего троса в конце пролета                                        |          | Числовой      |                 |
| 47 | Пикетаж аналитический                    | XLLU_0046     | Пикетаж по результатам съемки                                                               |          | Текстовый     |                 |
| 48 | Длина проекции линейного элемента        | XPGU_0020     | Длина отрезка линейного объекта в плане                                                     |          | Числовой      |                 |
| 49 | Высота_ К                                | XPGU_0021     | Высота в конце отрезка                                                                      |          | Числовой      |                 |
| 50 | Глубина_ К                               | XPGU_0022     | Глубина в конце отрезка                                                                     |          | Числовой      |                 |
| 51 | Провес                                   | XPGU_0023     | Расстояние от нижней точки провода до земли в месте максимального провеса провода в пролете |          | Числовой      |                 |

| №  | Наименование характеристики                  | Код класса | Определение                                                             | Источник | Тип значения |                                                                 |
|----|----------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|-----------------------------------------------------------------|
|    |                                              |            |                                                                         |          | Тип данных   | Список значений                                                 |
| 52 | Балансодержатель                             | BNU_0020   | Организация, у которой данный объект содержится на балансе              |          | Текстовый    |                                                                 |
| 53 | Тип поперечного сечения водопропускной трубы | BNU_0021   | Форма поперечного сечения трубы                                         |          | Из списка    | Круглая, овоидальная, арочная, прямоугольная, арочно-лотковая   |
| 54 | Номер сооружения в разделе                   | BNU_0022   | Порядковый номер для описания однотипных объектов                       |          | Числовой     |                                                                 |
| 55 | Тип препятствия                              | BNU_0023   | Тип препятствия для моста                                               |          | Из списка    | Река, озеро, овраг, пролив, ущелье, автодорога, железная дорога |
| 56 | Расчетная схема моста                        | BQU_0020   | Структурированное текстовое обозначение количества и длин пролетов      |          | Текстовый    |                                                                 |
| 57 | Схема отверстий трубы водопропускной         | BQU_0021   | Структурированное текстовое обозначение количества и диаметра отверстий |          | Текстовый    |                                                                 |

| №  | Наименование характеристики      | Код класса | Определение                                                                                                                                                            | Источник            | Тип значения |                                                     |
|----|----------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------|-----------------------------------------------------|
|    |                                  |            |                                                                                                                                                                        |                     | Тип данных   | Список значений                                     |
| 58 | Перечень дефектов объекта        | BFU_0020   | Текстовое описание дефектов здания или сооружения                                                                                                                      |                     | Текстовый    |                                                     |
| 59 | Состояние объекта                | BFU_0021   | Характеристика состояния объекта капитального строительства                                                                                                            | СП 333.1325800.2020 | Из списка    | Эксплуатируется, строится, реконструкция, разрушено |
| 60 | Наличие жилых помещений          | BFU_0022   | Наличие жилых помещений Да/Нет                                                                                                                                         |                     | Логический   |                                                     |
| 61 | Дефектная ведомость              | BFU_0023   | Гиперссылка на дефектную ведомость относительная                                                                                                                       |                     | Ссылка       |                                                     |
| 62 | Наименование объекта - источника | SNU_0020   | Распределительное или преобразующее устройство - узел в сетевой структуре, источник ресурса в сегменте линейного объекта - трубопровода, воздушной или кабельной линии |                     | Текстовый    |                                                     |

| №  | Наименование характеристики        | Код класса | Определение                                                                                                                                                                          | Источник          | Тип значения |                 |
|----|------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|-----------------|
|    |                                    |            |                                                                                                                                                                                      |                   | Тип данных   | Список значений |
| 63 | Наименование объекта - потребителя | SNU_0021   | Оконечное, распределительное или преобразующее устройство - узел в сетевой структуре, потребитель ресурса в сегменте линейного объекта - трубопровода, воздушной или кабельной линии |                   | Текстовый    |                 |
| 64 | Категория линии                    | SNU_0022   | Категория железнодорожной линии                                                                                                                                                      | СП 119.13330.2017 | Текстовый    |                 |
| 65 | Тип контактного провода            | SNU_0023   | Тип (марка) контактного провода контактной подвески                                                                                                                                  |                   | Текстовый    |                 |
| 66 | Тип несущ.его троса                | SNU_0024   | Тип (марка) несущего троса контактной подвески                                                                                                                                       |                   | Текстовый    |                 |
| 67 | Ширина колеи                       | SPGU_0020  | Расстояние между внутренними гранями головок рельсов                                                                                                                                 | ГОСТ 9238-2013    | Числовой     |                 |

| №  | Наименование характеристики                     | Код класса | Определение                                                                                          | Источник          | Тип значения |                                                                     |
|----|-------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------|
|    |                                                 |            |                                                                                                      |                   | Тип данных   | Список значений                                                     |
| 68 | Максимальная разрешенная скорость движения      | SPDU_0020  | Предельная по условиям безопасности движения скорость, принятая для данной категории железной дороги | СП 119.13330.2020 | Числовой     |                                                                     |
| 69 | Конструктивное назначение опоры контактной сети | CNU_0020   | Указывается тип опоры по характеру нагрузки                                                          |                   | Из списка    | Консольная, ригеля, гибкой поперечины                               |
| 70 | Функциональное назначение опоры контактной сети | CNU_0021   | Указывается тип опоры по основной функции расположенных на ней поддерживающих конструкций            |                   | Из списка    | Промежуточная, переходная, анкерная, средней анкеровки, фиксирующая |
| 71 | Тип опоры контактной сети                       | CNU_0022   | Указывается визуально определяемый тип опоры, например, для металлических (МШП, МШК, МГП, МГК)       |                   | Из списка    | (МШП, МШК, МГП, МГК)                                                |

| №  | Наименование<br>характеристики | Код<br>класса | Определение                                                                             | Источник | Тип значения  |                 |
|----|--------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|-----------------|
|    |                                |               |                                                                                         |          | Тип<br>данных | Список значений |
| 72 | Наличие тумбы                  | CNU_<br>0023  | Признак наличия<br>тумбы в конструкции<br>опоры контактной<br>сети                      |          | Логический    |                 |
| 73 | Наличие прожектора             | CNU_<br>0024  | Указывается наличие<br>прожектора на опоре<br>контактной сети                           |          | Логический    |                 |
| 74 | Наличие пункта ВКС             | CNU_<br>0025  | Признак наличия на<br>анкере или на опоре<br>геодезического пункта<br>ВКС               |          | Логический    |                 |
| 75 | Идентификатор провода          | CNU_<br>0028  | Идентификатор<br>провода в линии                                                        |          | Текстовый     |                 |
| 76 | Тип провода                    | CNU_<br>0029  | Тип (марка) провода                                                                     |          | Текстовый     |                 |
| 77 | Тип подвеса_ опорного узла     | CNU_<br>0030  | Тип узла,<br>обеспечивающего<br>закрепление провода<br>на поддерживающей<br>конструкции |          | Текстовый     |                 |
| 78 | Тип изоляторов                 | CNU_<br>0031  | Тип (марка)<br>изоляторов                                                               |          | Текстовый     |                 |
| 79 | Тип защитной конструкции       | CNU_<br>0032  | Тип защитной<br>конструкции<br>линейного объекта                                        |          | Текстовый     |                 |

| №   | Наименование<br>характеристики             | Код<br>класса | Определение                                                                        | Источник | Тип значения  |                  |
|-----|--------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|------------------|
|     |                                            |               |                                                                                    |          | Тип<br>данных | Список значений  |
| 80  | Тип участка                                | CNU_<br>0033  | Из списка - станция,<br>перегон                                                    |          | Текстовый     | Станция, перегон |
| 81  | Тип рельсов                                | CNU_<br>0034  | Тип (марка) рельсов                                                                |          | Текстовый     |                  |
| 82  | Тип шпал                                   | CNU_<br>0035  | Тип (марка) шпал                                                                   |          | Текстовый     |                  |
| 83  | Тип скреплений<br>промежуточных            | CNU_<br>0036  | Тип скреплений<br>(марка)<br>промежуточных                                         |          | Текстовый     |                  |
| 84  | Идентификатор линейного<br>объекта         | CNU_<br>0037  | Идентификатор<br>линейного (марка)<br>объекта                                      |          | Текстовый     |                  |
| 85  | Идентификатор участка<br>железной дороги   | CNU_<br>0038  | Идентификатор<br>участка железной<br>(марка) дороги                                |          | Текстовый     |                  |
| 86  | Идентификатор отрезка<br>линейного объекта | CNU_<br>0039  | Идентификатор<br>отрезка линейного<br>(марка) объекта                              |          | Текстовый     |                  |
| 134 | Идентификатор скважины                     | RNU_<br>020   | Идентификатор<br>скважины                                                          |          | Числовой      |                  |
| 135 | Идентификатор съемки                       | RNU_<br>021   | Идентификатор<br>съемки по видам<br>изысканий,<br>выполняемой в рамках<br>договора |          | Текстовый     |                  |

| №   | Наименование<br>характеристики                      | Код<br>класса | Определение                                                                                                                   | Источник            | Тип значения  |                                                 |
|-----|-----------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------|-------------------------------------------------|
|     |                                                     |               |                                                                                                                               |                     | Тип<br>данных | Список значений                                 |
| 136 | Номер ИГЭ                                           | RNU_022       | Номер инженерно-геологического элемента в геолого-литологической колонке                                                      |                     | Числовой      |                                                 |
| 137 | Глубина скважины                                    | RPGU_0001     | Глубина (марка) скважины                                                                                                      |                     | Числовой      |                                                 |
| 138 | Вид выработки                                       | RPGU_0002     | Вид по глубине выработки и условиям применения, из списка - траншея, расчистка, канава, шурф, дудка, скважина, шахта, штольня | СП 446.1325800.2010 | Текстовый     |                                                 |
| 139 | Категория сложности инженерно-геологических условий | RPGU_0003     | Категория сложности инженерно-геологических (марка) условий                                                                   | СП 11-105.97        | Текстовый     | I(простая), II(средней сложности), III(сложная) |
| 140 | Толщина защитной изоляции трубопровода              | RPTU_0020     | Общая толщина защитной изоляции трубопровода как сумма толщин слоев                                                           |                     | Числовой      |                                                 |

| №   | Наименование характеристики                 | Код класса | Определение                                                                                              | Источник | Тип значения |                 |
|-----|---------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|-----------------|
|     |                                             |            |                                                                                                          |          | Тип данных   | Список значений |
| 141 | Обозначение документа                       | DNU_0020   | Обозначение документа в соответствии с составом документации                                             |          | Текстовый    |                 |
| 142 | Наименование документа                      | DNU_0021   | Наименование документа в соответствии с составом документации                                            |          | Текстовый    |                 |
| 143 | Наименование файла документа                | DNU_0022   | Наименование файла документа                                                                             |          | Текстовый    |                 |
| 144 | Гиперссылка на файл документа относительная | DNU_0023   | Путь к файлу относительно каталога, в котором расположен, содержащий ссылку                              |          | Текстовый    |                 |
| 145 | Гиперссылка на ресурс                       | DNU_0024   | Гиперссылка на ресурс в сети Internet                                                                    |          | Текстовый    |                 |
| 146 | Идентификатор этапа строительства           | PNU_0010   | Уникальный идентификатор этапа строительства в цифровом представлении календарного графика строительства |          | Текстовый    |                 |

| №   | Наименование характеристики          | Код класса | Определение                                                                                     | Источник | Тип значения |                 |
|-----|--------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|-----------------|
|     |                                      |            |                                                                                                 |          | Тип данных   | Список значений |
| 147 | Номер этапа строительства            | PNU_0011   | Номер этапа строительства в календарном графике                                                 |          | Текстовый    |                 |
| 148 | Наименование этапа строительства     | PNU_0012   | Наименование этапа строительства в календарном графике, вид работ, соответствующие номеру этапа |          | Текстовый    |                 |
| 149 | Идентификатор родительского процесса | PFU_0020   | Уникальный идентификатор родительского процесса в пространстве проекта                          |          | Текстовый    |                 |
| 150 | Наименование родительского процесса  | PFU_0021   | Наименование родительского процесса                                                             |          | Текстовый    |                 |

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Andrde M. Virtual 3D Models as a Basis for Property Formation. [Электронный ресурс] / M. Andrde, S. Seipel, G. Milutinovic // FIG Working Week 2016 Recovery from Disaster Christchurch, New Zealand, 2016. Режим доступа: [http://www.gdmc.nl/3DCadastres/liter- ture/3Dcad\\_2016\\_04.pdf](http://www.gdmc.nl/3DCadastres/liter- ture/3Dcad_2016_04.pdf)
2. Badenko V., Fedotov A., Zotov D., Lytkin S., Volgin D., Garg R.D., Min L. Scan-to-BIM methodology adapted for different application // Int. Arch. Photogramm., Remote Sens. Spatial Inf. Sci. - 2019. - Vol. 42. - P.49-55.
3. Baltsavias E. P. A comparison between photogrammetry and laser scanning // ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing, 1999. Vol. 54. No. 2. P. 83-94.
4. Bassier M., Vergauwen M., Van Genechten B. Standalone terrestrial laser scanning for efficiently capturing AEC buildings for as-built BIM // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sens. Spatial Inf. Sci. - 2016. - Vol. III-6. - P. 49-55.
5. Bird P. An updated digital model of plate boundaries // Geochemistry. Geophysics, Geosystems. 2003. Vol. 4. No. 3.
6. Borcard D., Legendre P. All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbour matrices//Ecological Modelling. 2002. T. 153. № 1-2. C. 51-68.
7. Burrough, P. A., McDonnell, R. A. (1998): Principles of Geographical Information Systems (Spatial Information Systems), Oxford University Press, New York, p. 333.
8. Cong Hong. Phong Nguyena. Young Choi. Comparison of point cloud data and 3D CAD data for onsite dimensional T inspection of industrial plant piping systems // Automation in Construction. - 2018. - Vol. 91,-P. 44-52.
9. Daniotti, B. Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment. 2019. P. 4-5.
10. De Lange N, Plass C. WebGIS with Google Maps // Digital Earth Summit on Geoinformatics.
11. Devrim Akca, Mark Freeman, Armin Gruen, Isabel Sargent. Quality assessment of 3D building data by 3D surface matching // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. - Beijing, 2008. - Vol. XXXVII. - Part B2, CD-ROM.
12. Digital elevation model from non-metric camera in UAS compared with lidar technology / O. M. Dayamit, M. F. Pedro, R. R. Ernestoa, B. L. Fernandoa // International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics : The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (30 Aug-02 Sep 2015). - Toronto, Canada, 2015. Vol. XL-1/W4.-P. 411-413.
13. Dimopoulou E. 3D Cadastres Best Practices, Chapter 2: Initial Registration of 3D Parcels [Электронныйресурс] / E. Dimopoulou, S. Karki, M. Roic, J. Almeida and C. Griffith-Charles // FIG Congress 2018, May 6-11, 2018, Istanbul, Turkey. Режим доступа: [http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad20l 8\\_47.pdf](http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad20l 8_47.pdf).

14. Fotheringham S., Rogerson P. (ed.). Spatial analysis and GIS. - CRC Press, 2013.
15. Gamayunova O. The role of Civil Engineering Institute in increasing the international competitiveness of the St. Petersburg State Polytechnical University C3 -Procedia Engineering. 2015. №117. P. 1070-1077.
16. Gandor F., Rehak M., Skaloud J. Photogrammetric mission planner for RPAS //2015 International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics : The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (30 Aug-02 Sep 2015). - Toronto, Canada, 2015. Vol. XL-1/W4. -P. 61-65.
17. Gayet L. E. et al. Biomechanical study and digital modeling of traction resistance in posterior thoracic implants // Spine, 2002. Vol. 27. No. 7. P. 707-714.
18. Gomez D., Guzman A. Digital model for three-dimensional surface representation. - Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Instituto de Investigaciones en Matematicas Aplicadas y en Sistemas, 1978.
19. Graya N., Mitishita E., Goncalves J. Photogrammetric mapping using unmanned aerial vehicle // ISPRS Technical Commission I Symposium : The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (17-20 November 2014). - Denver, Colorado, USA, 2014. Vol. XL-E -P. 129-133.
20. Herle S., Becker R., Wollenberg R., Blankenbach J. GIM and BIM. PFG // Journal of Photogrammetry, Remote Sens. Spatial Inf. Sci. - 2020. - Vol. 88. - P. 33-42.
21. Hill Linda L. Georeferencing: The Geographic Associations of Information - MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England. 2009. 272 p.
22. Hubner S. et al. Ontology-based search for interactive digital maps // IEEE Intelligent Systems, 2004. Vol. 19. No. 3. P. 80-86.
23. Hutchinson M. F, Stein J. A., Stein J. L. GEODATA 9 second digital elevation model
24. Hyojoo Son, Changmin Kim, Changwan Kim. 3D reconstruction of as-built industrial instrumentation models from laser-scan data and a 3D CAD database based on prior knowledge // Automation in Construction. - 2015. - Vol. 49. - P. 193-200.
25. Jaroslaw Bydlosz The 3D Cadastre Aspects in International Standards and Solutions FIG Commission 3 Workshop 2012 Spatial Information, Informal Development, Property and Housing Athens, Greece, 10-14 December 2012
26. Kaula W.M. Theory of satellite geodesy: applications of satellites to geodesy. - Courier Corporation, 2013.
27. Macchi A. et al. Three-dimensional digital modeling and setup // American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2006. Vol. 129. No. 5. P. 605-610.
28. Mah S. B., Cryderman C. S. Implementation of an unmanned aerial vehicle system for large scale mapping // International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics : The International Archives of the Photogrammetry,

Remote Sensing and Spatial Information Sciences (30 Aug-02 Sep 2015). - Toronto, Canada, 2015. Vol. XL-1/W4. - P. 47-54.

29. Malekitabara H., Ardeshira A., Sebta M., Stouffsb R. Construction safety risk drivers: A BIM approach. Safety Science. 2016. №82. P. 445-455.

30. Moore, I. D., Grayson, R. B. and Ladson, A. R. (1991): Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications, Hydrological Processes, Volume 5 Issue 1, pp. 3 - 30.

31. Pichler G. Computer-Programme der Geostatistik. Master's Uresis. Institut fur Statistik, Technische Universitat, Graz, Austria, 1982.

32. Schafer T. et al. Deformation measurement using terrestrial laser scanning at the hydropower station of Gabeikovo // INGEO and Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying. - Bratislava, Slovakia, 2004. - P. 11-13.

33. Seeber G. Satellite geodesy: foundations, methods, and applications. - Walter de gruyter, 2008.

34. Sithole G., Vosselman G. Experimental comparison of fdter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds // ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 2004. Vol. 59. No. 1. P. 85-101.

35. Smith D. K., Tardif M. Building Information Modeling: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers. - New Jersey : John Wiley and Sons. 2009.

36. Tang P., Huber D., Akinci B., Lipman R., Lytle A. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques // Automation in Construction. - 2010. - Vol. 19. - P. 829-843.

37. Tejkal M. The application of laserscan system in tire field of building documentation // GEODIS news. English edition. - 2004. - Vol. 2. - P. 26-27.

38. Tulenheimo R. Challenges of Implementing New Technologies in the World of BIM - Case Study from Construction Engineering Industry in Finland. Procedia Economics and Finance. 2015. №21. P. 469-477.

39. Vosselman G., Maas H. G. (ed.) Airborne and terrestrial laser scanning. - Whittles Publishing, 2010.

40. Woodhouse J. H., Dziewonski A. M. Mapping the upper mantle: Three-dimensional modeling of Earth structure by inversion of seismic waveforms // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 1984. Vol. 89. No. B7. P. 5953-5986.

41. Аврунев Е. И., Дорош М. П. Разработка информационной модели для повышения достоверности кадастровой информации // Вестник СГУГиТ. - 2018. - Т. 23, № 1. - С.156-166.

42. Азаров Б. Ф. BIM-технологии: проектирование, строительство, эксплуатация // Ползуновский альманах. - 2018. -№ 2. - С. 8-11.

43. Азаров Б. Ф. Опыт использования сканера GLS-1500 при выполнении инженерно-геодезических изысканиях автодорог // Инженерные изыскания. - 2019. - Т. 13, № 2. - С. 26-35.

44. Азаров Б. Ф., Карелина И. В. Наземное лазерное сканирование как инструмент для формирования информационных моделей зданий и сооружений // Геодезия и картография. - 2019. - Т. 80, № 6. - С.16-23.
45. Алтынцев М. А., Карпик П. А. Методика создания цифровых трехмерных моделей объектов инфраструктуры нефтегазодобывающих комплексов с применением наземного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. - 2020. - Т. 25, № 2. - С. 131-139.
46. Анализ внедрения технологии информационного моделирования в Российских строительных компаниях по проектированию и строительству инженерных систем / Рашев В.С., Астафьева Н.С., Рогожкин Л.С., Григорьев В.Ю.
47. Астраханцев В. Д. Особенности современных технологий выполнения геодезических работ//Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар, науч, конгр.: Междунар, науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10-20 апреля 2012 г.). - Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. - С. 43-45.
48. Астраханцев В. Д., Золотарев И. И. О возможности интеграции развития геосистем и BIM-технологий // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар, науч, конгр. : Междунар, науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18-22 апреля 2016 г.). - Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. - С. 73-75.
49. Астраханцев В. Д., Золотарев И. И. О необходимости адаптации геодезических и BIM-технологий //Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар, науч, конгр. : Междунар, науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13-25 апреля 2015 г.). - Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. - С. 110-112.
50. Афонин Д. А., Богомолова Н. Н., Брынтьев М. Я., Никитчин А. А. Опыт применения наземного лазерного сканирования при обследовании инженерных сооружений // Геодезия и картография. - 2020.-Т. 81, №4.-С. 2-8.
51. Ахмедов Б.Н. Построение цифровых трехмерных моделей геопространства // Инженерная графика и трехмерное моделирование. Молодежная научно-практическая конференция : сб. научных докладов. - Новосибирск : СГУГиТ, 2017. - С. 9—13.
52. Большаков В. Д., Ключин Е. Б., Васютинский И. Ю. Геодезия. Изыскания и проектирование инженерных сооружений: Справ, пособие — М.: Недра, 1991.— 238 с.:
53. Бугаков П. Ю., Касьянова Е. Л., Черкас М. В. Создание геоморфологической 3Н-карты // Вестник СГУГиТ. - 2017. - Т. 22, № 4. - С. 102-112.
54. Бударова В. А., Мартынова Н. Г., Шереметинский А. В., Привалов А. В. Наземное лазерное сканирование объектов промышленных площадок на территории нефтегазовых месторождений // Московский экономический журнал. - 2019. - № 6. - С. 8-14.
55. Буравцев А.В. Стратифицированный метод построения сложной системы // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. № 3 (20). С. 23-32.

56. Васютинская С.И. Динамические визуальные модели в образовательных технологиях // Современное дополнительное профессиональное педагогическое образование. 2016. № 2. С. 70-83.
57. Волкович Е. В. Разработка технологии получения электронных крупномасштабных планов сложных инженерных сооружений по результатам наземной лазерной съемки: дис. ... кандидата техн. наук. -М., 2007. - 117 с.
58. Галахов В. П., Жуков Г. А. Вынос ВІМ модели на строительную площадку и контроль строительства // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От введения до внедрения : сборник материалов II международной научно-практической конференции. - Санкт-Петербургская ассоциация геодезии и картографии. - 2017. - С. 216-222.
59. Гапанович В.А. О роли саморегулирования в инновационном развитии инфраструктуры железнодорожного транспорта // Саморегулирование и Бизнес. 2014. №10(54). С. 32-35.
60. Глушков В.В., Насретдинов КК, Шаравин А.А. Космическая геодезия: методы и перспективы развития. - Институт политического и военного анализа, 2002.448 с.
61. Господинов Г. С. Геодезическая астрономия и космическая геоинформатика // Наука и технологии железных дорог. 2017. № 1(1). С.45-50.
62. ГОСТ Р 52440-2005 Модели местности цифровые. Общие требования
63. Гук А. П., Евстратова Л. Г. Особенности подготовки широкого круга магистров методам обработки аэрокосмических снимков для создания различных видов продукции по данным дистанционного зондирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар, науч. конгр. : Междунар, науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17-21 апреля 2017 г.). -Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. - С. 7-11.
64. Гук А. П., Евстратова Л.Г. Мониторинг технических сооружений по ортофотопланам построенным по технологии true ortho // Всероссийская конф. «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2017)»: сб. трудов. (Бердск, 29-31 августа 2017 г.). - Новосибирск: НВТ СО РАН, 2017. - С. 262-266.
65. Гук А. П., Лазерко М. М. Разработка методик создания 3D-моделей по аэрокосмическим снимкам высокого и сверхвысокого разрешения и другим данным дистанционного зондирования // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2011. - № 2. - С. 32-34.
66. Гук А. П., Шляхова М. М. Некоторые проблемы построения реалистических измерительных 3D-моделей по данным дистанционного зондирования // Вестник СГУГиТ. - 2015. - Вып. 4 (32). - С. 51-60.
67. Демьянов, Г.В. Планетарные модели гравитационного поля Земли, их роль в современных условиях развития геодезии [Текст] / Г.В. Демьянов, Р.А. Сермягин // Геодезия и картография. - 2009. - №10. - С.8-12.

68. Демьянов, Г.В. Построение общеземной системы нормальных высот [Текст] / Г.В. Демьянов, А.Н. Майоров, М.И. Юркина // Геодезия и картография. - 2009. - №1. - С.12-16.
69. Евстратова Л. Г. Использование «истинных» ортофотопланов (true ortho) в географических исследованиях //Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13-25 апреля 2015 г.). - Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 2. - С. 24-28.
70. Евстратова Л. Г. Создание «реальных» ортофотопланов (True Ortho) по аэрофотоснимкам с использованием программного комплекса INPHO // Геодезия и картография. - 2011.-№3.-С. 29-32.
71. Журкин И. Г., Хлебникова Т. А. Результаты экспериментальных исследований технологии получения измерительной трехмерной видеосцены по материалам аэрокосмических съемок //Геодезия и картография. - 2010. - № 7. - С. 27-31.
72. Журкин И. Г., Хлебникова Т.А. Цифровое моделирование измерительных трехмерных видеосцен: монография. - Новосибирск : СГГА, 2012. -246 с.
73. И. Красноштанова Н. Е., Черкашин А. К. Оценочное картографирование опасности возникновения кризисных природно-экономических ситуаций // Геодезия и картография. - 2017. -№ И. -С. 40-49.
74. Игонин А. И. Геоинформационный анализ устойчивости административных границ российско-украинского порубежья // Геодезия и картография. - 2016. - № 9. - С. 54-59.
75. Инвентаризация городских зеленых насаждений средствами ГИС / Л. К. Трубина, О.Н. Николаева, П. И. Муллаярова, Е. И. Баранова // Вестник СГУГиТ. - 2017. - Т. 22, № 3.-С. 107-118.
76. Использование многороторных БПЛА для целей ДЗЗ / В. К. Барбасов, Н. М. Гаврюшин, Д. О. Дрыга, М. С. Батаев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2013. - № 5. - С.122-126.
77. Карлик А. П., Лисицкий Д. В. Основные принципы формирования единого геоинформационного пространства территорий // ГЕО-Сибирь-20Г1. VII Междунар. научн. контр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 19-29 апреля 2011 г.). - Новосибирск : СГГА, 2011. -С. 19-24.
78. Карлик А. П., Никитин А. В. Теория моделирования пространственной длины трассы // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15-26 апреля 2013 г.). - Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. - С. 49-53.
79. Карлик А. П. Информационное обеспечение геодезической пространственной информационной системы// Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2013. - № 4/С. - С. 70-73.

80. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территории : монография. - Новосибирск : СГГА, 2004. - 260 с.
81. Карпик А. П., Мурзинцев П. П., Падве В. А. Прикладная геодезия. Геодезическое обеспечение изысканий, строительства и мониторинга мостовых сооружений : учеб, пособие. -Новосибирск : СГУГиТ, 2015. - 222 с.
82. Карпик А.П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий : монография. - Новосибирск : СГГА, 2004. - 260 с.
83. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. 2015. № 2. С. 42-46.
84. Комиссаров А. В. Теория и технология лазерного сканирования для пространственного моделирования территорий: дис. ... д-ра техн. наук. - Новосибирск, 2015. - 278 с.
85. Корнейчук А. И., Семенов В. И. Территориальный план развития как виртуальная реальность //Геодезия и картография. - 2017. - № 10.-С. 40-49.
86. Кравцова В. И., Чалова Е. Р. Картографирование ландшафтно-морфологической структуры северо-западной части Анапской пересыпи по цифровым аэрофотоснимкам высокого разрешения //Геодезия и картография. - 2017. - № 11. - С. 29-39.
87. Кужелев П.Д. Интеллектуальное многоцелевое управление // Государственный советник. 2014. № 4. С. 65-68.
88. Кужелев П.Д. Сценарии обучения с использованием мультимедиа // Образовательные ресурсы и технологии. 2015. № 2 (10). С. 17-22.
89. Кузнецова А. А. Применение наземного лазерного сканирования для выявления отклонений конструкций от их проектных значений // Геодезия и картография. - 2019. - Т. 79, № 12. - С. 2-7.
90. Кулагин В.П. Геореференция в пространственных отношениях // Образовательные ресурсы и технологии. 2016. № 5 (17). С. 80-86.
91. Кулагин В.П., Цветков В.Я. Геознание: представление и лингвистические аспекты // Информационные технологии. 2013. № 12. С. 2-9.
92. Куприянов А. О., Цветков В. Я. Применение ГНСС в прикладной геоинформатике // Образовательные ресурсы и технологии, 2016. № 1 (13). С. 135-144.
93. Куприянов А.О. Геодезическое обеспечение при строительстве трассы туннелей//Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о земле». 2013. №1(9). С. 32-38.
94. Куприянов А.О. Цифровое моделирование при подземных геодезических работах// Образовательные ресурсы и технологии. 2015. № 4(12). С. 57-65.
95. Лазерко М. М. Анализ современных средств для создания трехмерных моделей по различным данным // ГЕО-Сибирь-2008. IV

- Международ, науч, конгр.: сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22-24 апреля 2008 г.). - Новосибирск : СГГА, 2008. Т. 3. - С. 122-126.
96. Лисицкий Д. В., Бугаков П. Ю. Методические основы цифрового трехмерного карто-графирования// Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2012. - № 6. - С. 37-42.
97. Лисицкий Д. В., Хорошилов В. С., Бугаков П. Ю. Картографическое отображение трехмерных моделей местности// Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2012. - №2 доп. - С. 216-218.
98. Лобанов А.Н. Фотограмметрия. : учебник для вузов. - М. : Недра, 1984. - 552 с.
99. Майоров А.А. Стратификация в геоинформатике // Славянский форум. 2017. № 2 (16). С. 45-51.
100. Майоров А.А., Цветков В.Я. Геоинформатика как важнейшее направление развития информатики // Информационные технологии. 2013. № 11. С. 2-7.
101. Миронов С.А. ГЛОНАСС/GPS – измерения на архипелаге Новая Земля // Геодезия и картография. 2013. №1.С.2-7.
102. Михайлов А. П., Перес Вальдез Мануэль де Хесус. Создание цифровых моделей памятников истории и архитектуры по материалам перспективной и плановой аэрофотосъемки // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2013. - № 5. - С. 72-73.
103. Мохирев А. П., Горяева Е. В., Егармин П. А. Создание геоинформационного ресурса для планирования лесозаготовительного производства // Вестник СГУГиТ. - 2017. - Т. 22, №2.-С. 137-153.
104. Мурзинцев П. П., Карпик А. П., Осипов А. Г. Управление территорией в геоинформационном дискурсе: монография. - Новосибирск, СГГА, 2010- 280 с.
105. Непоклонов В.Б., Куприянов А.О., Максимова М.В., Ханзадян М.А. Преобразования прямоугольных геоцентрических в геодезические координаты с использованием итеративных и неитеративных методов. // Славянский форум. 2015. 2(8) С. 201-215.
106. Никитин А. В. Оптимальные методы построения инфраструктуры геопространственных данных для транспортных коридоров : монография. - Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2015,- 159 с.
107. Никитин А. В. Повышение точности измерения трассы // Мир транспорта. - 2006.-№ 1.-С. 22-24.
108. Обиденко В. И., Опритова О. А. Об определении метрических параметров больших по площади территорий средствами программного обеспечения геоинформационных систем //Геодезия и картография. - 2016. - Вып. 3. - С. 41-49.
109. Ожерельева Т.А. Дескриптивные модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 5-4. С. 675-675.

110. Ожерельева Т.А. Информационное соответствие и информационный морфизм в информационном поле // ИТНОУ. 2017.-№ 4. С. 86-92.
111. Ознамец В.В., Цветков В.Я. Бизнес геодезия: Монография. - М.: МАКС Пресс, 2018. 112 с. ISBN 978-5-317-05825-8
112. Омельченко А.С. Геоинформационная база данных транспортных объектов большой протяженности: дис. канд. техн. наук: Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог. Москва, 2006. 137 с.
113. Павлов А.И. Большие данные в фотограмметрии и геодезии // Образовательные ресурсы и технологии. 2015. № 4 (12). С. 96-100.
114. Писарев В. С. Использование современных сканирующих систем на открытых горных выработках // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры «От идеи до внедрения». Сборник материалов международной научно-практической конференции. - 2015. - С. 61-64.
115. Плахов Ю.В., Краснорылов И.И. Геодезическая астрономия. - М.: Картоцентр-Геодезиздат, 2002. 390 с.
116. Попов В.А., Бойков В.Н. Об информационных моделях дорог в технической политике Госкомпании «Автодор»// САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. №2(3). С. 8-12.
117. Построение трехмерной модели гиперболической башни Шухова по материалам стереофотограмметрической съемки / С. Ю. Желтов, А. П. Михайлов, Ю. Б. Блохинов, С. В. Скрябин, Т. Н. Скрыпицина // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2015. - № 1. - С. 53-58.
118. Пошивайло Я. Г., Чахлова А. П., Уставич Г. А. Создание топографо-информационной системы для целей проектирования инженерных сооружений в горных условиях. // Геодезия и картография. - 2013, - № 3. - С. 17-21.
119. Пространственное моделирование средствами ГИС для морфотектонического анализа [Электронный ресурс] / Е.А. Вишневская, А.В. Елобогоев, Е.М. Высоцкий, Н.Н. Добрецов. - Электрон, текст, и граф, данные // Из материалов международной конференции «Интеркарто-6» - Новосибирск: Объединённый институт геологии, геофизики и минералогии Сибирского отделения РАН, 2000. - Режим доступа: <http://www.masters.donntu.edu.ua/2004/ggeo/solovjov/library/lib8.htm>.
120. Рахмедьянов Ч. М., Чернов А.В., Ершов А.В. Анализ возможностей применения ВМ для развития системы пространственных данных
121. Розенберг И.Н. Информационная ситуация как сложная система // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. № 3 (20). С. 69-77.
122. Рыбин Е. Н., Амбарян С. К., Аносов В. В., Гальцев Д. В., Фахратов М. А. ВМ-технологии // Изв. вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. - 2019. - Т. 1, № 1 (28). - С. 98-105.
123. Савиных В. П., Майоров А. А., Матерухин А. В. Построение пространственной модели загрязнения воздуха на основе использования

- потоков данных от сетей геосенсоров // Геодезия и картография. -2017. - Вып. 12. - С. 39-43.
124. Савиных В. П., Цветков В. Я. Развитие методов искусственного интеллекта в геоинформатике // Транспорт Российской Федерации, 2010. № 5. С. 41-43.
125. Савиных В.П. Геознание. - М.: МАКС Пресс, 2016. 132 с.
126. Савиных В.П. Информационное обеспечение космических исследований // Перспективы науки и образования. 2014. № 2. С. 9-14.
127. Савиных В.П. Информационные пространственные отношения // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. № 1(18). С. 79-88.
128. Савиных В.П. Моделирование явлений на земной поверхности на основе космических исследований. - М.: МАКС Пресс, 2016. 100 с. ISBN 978-5-317-05372-7
129. Савиных В.П. Система получения координатно-временной информации для решения задач мониторинга // Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о Земле». 2012. № 03. С. 5-10.
130. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоданные как системный информационный ресурс // Вестник Российской Академии Наук. 2014. Т. 84. № 9. С. 826-829.
131. Сарычев Д.С. Мобильное лазерное сканирование// САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. № 1(1). С. 36-41.
132. Сигов А.С., Цветков В.Я. Неявное знание: оппозиционный логический анализ и типо-логизация // Вестник Российской Академии Наук. 2015. Т. 85. № 9. С. 800-804.
133. Скворцов А. В., Сарычев Д. С. Жизненный цикл проектов автомобильных дорог в контексте информационного моделирования // САПР и ГИС автомобильных дорог. - 2015. - № 1 (4). - С. 4-14.
134. Скворцов А.В. BIM автомобильных дорог: оценка зрелости технологии // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 12-21.
135. Скворцов А.В. BIM для дорожной отрасли: что-то новое или мы этим уже занимаемся? // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. №1(2). С. 8-11.
136. Скворцов А.В., Сарычев Д.С. Жизненный цикл проектов автомобильных дорог в контексте информационного моделирования // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1 (4). С. 4-14.
137. Скоренов С.Я., Репин А.С. Актуальность 3D-моделирования в геодезии.
138. Современное состояние и направления развития геодезического обеспечения РФ. Системы координат/ В.П. Горобец [и др.]// Геопрофи. 2013. №6. С. 4-9.
139. Создание геодезической основы для строительства объектов энергетики / Г. А. Уставич, Г. Г. Китаев, А. В. Никонов, В. Г. Сальников // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2013. -№ 4/С. - С. 48-54.

140. Суконников О.Г., Гулин В.Н., Чиркина Н.И. Аэрофотосъемка с БПЛА для моделирования искусственных сооружений на автомобильных дорогах.
141. Суконников О.Г., Неретин АА., Гурьев В.А. Анализ применимости БПЛА при геодезическом контроле строящихся и эксплуатируемых автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2017. №2(9). С. 44-48. DOI: 10.17273/CADGIS.2017.2.5
142. Талапов В. В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. - М. : ДМК Пресс, 2011. - 392 с.
143. Талапов В.В. Внедрение BIM в Сингапуре: впечатляющий опыт // САПР и Графика. 2016. № 1(6). С. 60-63.
144. Тетерин Г.Н. Структурное «древо» геодезии // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2007. № 3. С. 77-83.
145. Уставич Г. А., Чахлова А. П., Пошивайло Я. Г. Создание инженерных топографических планов для проектирования объектов в горной местности // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2015. - № 5. - С. 183-187.
146. Хлебникова Т. А., Оприлова О. А. Экспериментальные исследования технологии моделирования геопространства по материалам аэрофотосъемки // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар, науч, конгр. : Междунар, науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18-22 апреля 2016 г.). - Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. - С. 16-20.
147. Хорошилов В. С. Методология реализации информационной системы «Геодезические работы при монтаже технологического оборудования» // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. -2007. -№ 1. - С. 154-162.
148. Цветков В. Я. Информационно измерительные системы и технологии в геоинформатике. - М.: МАКС Пресс, 2016. 94 с.
149. Цветков В. Я. Цифровое моделирование: учеб, пособие. - М.: МАКС Пресс, 2016. 72 с.
150. Цветков В. Я. Цифровые карты и цифровые модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2016. № 4 (часть 2). С. 348-351.
151. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Международный научно-технический и производственный журнал «НАУКИ О ЗЕМЛЕ». 2012. № 4. С.54-58.
152. Цветков В.Я. Модель геоданных для управления транспортом // Успехи современного естествознания. 2009. № 4. С. 50-51.
153. Цветков В.Я. Пространственные отношения в геоинформатике // Науки о Земле. 2012. № 1. С. 59-61.
154. Цветков В.Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. 2014. № 6. С. 64-69.
155. Цветков В.Я. Формирование пространственных знаний: монография. - М.: Макс Пресс, 2015. 68 с.

156. Цветков В.Я., Омельченко А.С. Особенности построения моделей объектов большой протяженности в геоинформатике. И Фундаментальные исследования. 2006. № 4. С. 39-40.
157. Чахлова А. И. Методика создания вертикальных топографических планов для горной местности //Геодезия и картография. - 2015. - Вып. 1. - С. 29-33.
158. Чернов А.В. Разработка и исследование методики формирования трехмерного кадастра объектов недвижимости: диссертация / А.В. Чернов; Сибирский государственный университет геосистем и технологий. - Новосибирск: СГУГиТ, 2018. - 159 с. - ISBN 978- 5907052- 93-2. - Текст: непосредственный.
159. Чибуничев А. Г., Галахов В. П. Технология совместной обработки результатов наземного лазерного сканирования и цифровой фотосъемки // Инженерные изыскания, 2011. №2. С.32-36.
160. Шайтура С. В. Информационная ситуация в геоинформатике // Образовательные ресурсы и технологии. 2016. № 5 (17). С. 103-108.
161. Шевня М. С. Использование беспилотных летательных аппаратов для получения материалов дистанционного зондирования Земли // Геодезия и картография. - 2013. - Вып. 1. - С. 44-50.
162. Шендрик Н.К. О возможности применения системы координат ITRF для геодезического обеспечения Новосибирской области // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. 2012. Том 2. с. 205-209.
163. Шоломицкий А. А., Лагутина Е. К., Соболева Е. Л. Применение лазерного сканирования для мониторинга большепролетных сооружений // Вестник СГУГиТ. - 2018. - Т. 23. № 2. - С. 43-57.
164. Шульц Р. В. Наземное лазерное сканирование в задачах инженерной геодезии. - Германия : Palmarium Academic Publishing. 2013. - 339 с.
165. Элементы геоинформационного обеспечения инвентаризационных работ / А. В. Дубровский, А. В. Ершов, Ю. А. Новоселов, В. Н. Москвин // Вестник СГУГиТ. - 2017. - Т. 22, №4. - С. 78-91.
166. Юркина М.И., Бровар Б.В. Об эволюции содержания главных задач геодезии и гравиметрии // Изыскательский вестник. 2011. № 11. С. 39-59.
167. Янкелевич С. С., Радченко Л. К., Антонов Е. С. От многоцелевого картографического ресурса к «Умной карте» //Вестник СГУГиТ. - 2018. - Т. 23, № 1. - С. 142-155.