

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный университет геодезии и картографии»  
(МИИГАиК)**

На правах рукописи



Андреева Ольга Александровна

**Разработка методики геоинформационного моделирования объектов  
инфраструктуры железнодорожного транспорта**

Специальность 25.00.35 – Геоинформатика

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор Цветков В.Я.

Москва, 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. Анализ методов моделирования транспортной инфраструктуры.....	12
1.1. Общие направления моделирования транспортной инфраструктуры .....	12
1.2. Технологии сбора информации.....	13
1.3. Геоданные .....	14
1.4. Анализ методов геоинформационного моделирования.....	17
1.5. Технологические особенности геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры .....	22
Выводы по первой главе.....	27
ГЛАВА 2. Принципы и концепции геоинформационного моделирования.....	29
2.1. Теоретические основы геоинформационного моделирования .....	29
2.2. Формализм геоинформационного моделирования .....	32
2.3.1 Атрибутивное моделирование .....	38
2.4. Геоинформационное моделирование трехмерных объектов транспортной инфраструктуры .....	45
2.5. Информационные ситуации и информационные единицы при трехмерном моделировании.....	48
2.6. Цифровые модели в геоинформационном моделировании.....	51
2.7. Принципы трехмерного геоинформационного моделирования .....	53
2.8. Применение пространственных информационных единиц для моделирования объектов транспортной инфраструктуры .....	56
Выводы по второй главе .....	68
ГЛАВА 3. Геоинформационное моделирование на основе данных МЛС.....	70
3.1. Альтернативные технологии.....	70
3.2. Моделирование с использованием МЛС .....	73
3.3. Технологическая реализация МЛС.....	77
3.4. Обоснование методики геоинформационного моделирования по данным МЛС .....	84
3.4.1. Прескриптивные логические модели .....	85
3.4.2. Критерий логической истинности методики МГМ.....	85
3.4.3. Формирование МГМ как логического следования .....	88
3.5. Методика геоинформационного моделирования на основе мобильного лазерного сканирования .....	93
3.5.1. Содержание методики моделирования.....	93
3.5.2. Векторизация объектов инфраструктуры ж/д транспорта .....	94
3.5.3. Принципы трехмерного моделирования .....	97
3.5.4. Правила конструктивного моделирования трехмерных объектов .....	98
3.5.5. Атрибутирование объектов моделирования .....	110
3.5.6. Правила для организации баз данных .....	110

Выводы по третьей главе.....	111
ГЛАВА 4. Экспериментальные исследования технологии .....	114
4.1. Инженерно-геодезические изыскания при моделировании .....	114
4.2. Геодезическая поддержка моделирования.....	117
4.2.1. Системы координат и высот, исходные геодезические данные .....	118
4.2.2. Опорная геодезическая сеть .....	121
4.2.3. Сеть электронных меток.....	130
4.2.4. Сеть реперных объектов .....	131
4.3. Мобильное лазерное сканирование как источник построения моделей ОТИ.....	132
4.4. Геоинформационное ситуационное моделирование при мобильном лазерном сканировании.....	137
Выводы по четвертой главе.....	147
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	148
Список литературы .....	151
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	167
Приложение 1. Правила моделирования трехмерных объектов.....	167
Приложение 2. Правила формирования базы данных геоинформационных объектов.....	179

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Актуальность темы исследования**

В настоящее время наблюдается рост потребностей всех сфер экономики в разнообразной пространственной информации. Возрастает значение актуальности, достоверности и точности пространственных данных. Это предъявляет высокие требования к их получению в короткие сроки. В современных условиях развития геодезии и транспорта пространственные модели являются связующим звеном для решения задач мониторинга, проектирования и эксплуатации геотехнических систем и объектов. Геоинформационное моделирование предъявляет специфические требования к сбору информации. Геоинформационное моделирование требует установления однозначного соответствия между моделью и объектом по основным параметрам, которые используют при решении задач. Эти требования особенно важны в сфере исследований по геоинформационному моделированию и в разработке различных ГИС на основе пространственной информации и данных большого объема, к которым относят в т. ч. и данные мобильного лазерного сканирования.

Сегодня в службах передовых стран мира разрабатываются технологии контроля состояния пути, проектирования и строительства на основе применения мобильного лазерного сканирования, интегрированного с геоинформационными технологиями. Кроме того, современной тенденцией использования геоинформатики и управления становятся трехмерные модели пространственных объектов. Такие модели необходимы для контроля и проектирования железнодорожного пути как трехмерного пространственного объекта. Несмотря на широкое применение технологий мобильного лазерного сканирования (МЛС), отсутствует научная методика их применения в транспортной инфраструктуре и научное обоснование работ по геоинформационному моделированию как целостной системы. Решение такой задачи возможно на основе разработки и применения геоинформационных методов моделирования и обоснования цифровых моделей пути и объектов инфраструктуры.

Проведенный автором анализ работ с использованием методов и технологий геоинформационного моделирования показал, что пространственные модели объектов транспортной инфраструктуры, получаемые традиционным способом, не в полной мере удовлетворяют требованиям, моделирования и контроля пространственных объектов транспортной инфраструктуры. Мобильное лазерное сканирование (МЛС) является технологией получения пространственной информации большого объема. Однако для данных, полученных с применением технологии МЛС на объектах транспортной инфраструктуры, не разработаны единые методы геоинформационной обработки и геоинформационного моделирования, а также отсутствуют единые правила трехмерного моделирования объектов.

В связи с этим, актуальной является проблема решения методических задач использования пространственной информации, получаемой по технологии МЛС, для целей геоинформационного моделирования пространственных объектов, включая объекты транспортной инфраструктуры.

### **Степень разработанности темы исследования**

В процессе работы над диссертацией удалось установить, что до настоящего времени четкие и полноценные методики геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры железнодорожного (далее по тексту - ж/д) транспорта в ОАО «РЖД» отсутствуют.

Сбор и формирование данных происходит децентрализованно и характеризуется недостаточной эффективностью. Нет ни системы стандартов, ни четкого плана. Кроме того, до сих пор не разработано единых требований в отношении форм представления и точности исходных данных, а также к системам их хранения.

Используются различные по полноте формы представления объектового состава, происходят дублирование и противоречие в данных, получаемых из разных источников. Использование службами различных методик геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры не позволяло реализовать единую для служб систему хранения и предоставления

пространственных данных, отсутствие которой часто приводит к дублированию работ по сбору данных и, зачастую, к утрате после однократного применения;

Сегодня существует потребность в упорядочивании организации сбора и представления пространственных данных и их использования, которое дает максимальный экономический эффект.

Главным отличием разработанной методики является то, что за счет:

- развития методов геоинформационного моделирования;
- внедрения автоматизированных комплексов сбора данных при помощи мобильного лазерного сканирования;
- векторизации данных, полученных с применением технологии МЛС, непосредственно в трехмерные модели;
- создания правил формирования пространственных баз данных;
- введения новых пространственных моделей типа информационные единицы и пространственные ситуации;
- введения логических методов обоснования технологии построения пространственных данных

- создана возможность введения новых типов моделирования в практику, что позволяет не только создавать, но также контролировать и обновлять пространственные объекты в короткие сроки без ухудшения количественных и качественных параметров геоинформационного продукта.

Предлагаемые методические рекомендации по геоинформационному моделированию с использованием МЛС обеспечивают упрощение объектового состава данных и позволяют решать принципиально новые задачи обработки большого количества данных, описывающих объекты инфраструктуры.

### **Цели и задачи исследования**

**Цель** настоящего диссертационного исследования – разработать методику геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры ж/д транспорта, основанную на данных, полученных по технологии мобильного лазерного сканирования.

Для достижения цели необходимо решить следующие основные **задачи**:

- Проанализировать опыт работ по применению способов геоинформационного моделирования при создании моделей пространственных данных, в том числе:
  - проанализировать существующие методы сбора информации и моделирования в геоинформатике транспорта;
  - проанализировать методы геоинформационного моделирования;
  - исследовать технологические особенности геоинформационного моделирования;
  - обозначить основные направления использования пространственных данных на технологических этапах геоинформационного моделирования.
- Разработать принципы геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры.
- Исследовать технологические особенности сбора исходных данных для геоинформационного моделирования объектов на основе технологии применения мобильного лазерного сканирования как части технологии геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры ж/д транспорта.
- Выполнить логическое обоснование методики и разработать прескриптивные модели для методики геоинформационного моделирования.
- Разработать правила моделирования трехмерных объектов;
- Разработать правила формирования базы данных геоинформационных объектов.
- Исследовать модели информационных ситуаций и информационных единиц как инструмента моделирования пространственных объектов.
- Провести экспериментальные исследования разработанной методики геоинформационного моделирования на основе данных, полученных с помощью технологии мобильного лазерного сканирования.

### **Научная новизна**

В настоящей диссертации разработана новая методика, которая имеет принципиальные отличия от методик, которые используются в настоящее время.

В связи с развитием методов геоинформационного моделирования, а также внедрением автоматизированных комплексов сбора данных с помощью МЛС, автором разработана методика геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры по единым правилам моделирования трехмерных объектов и правилам формирования базы данных геоинформационных объектов.

Автором введены логические методы обоснования методики построения геоинформационных моделей и разработаны модели типа информационные единицы и информационные ситуации, что позволяет создавать, обновлять и контролировать пространственные объекты в сжатые сроки без ухудшения качественных и количественных характеристик геоинформационного продукта.

Отличительной особенностью разработанной методики является построение геоинформационных моделей на основе разработанных автором оригинальных правил, что позволяет повысить эффективность и производительность работ по формированию геоинформационных моделей.

Разработанная методика геоинформационного моделирования, исходными данными которой являются данные, полученные по технологии МЛС, и которая использует в своем применении пространственные информационные единицы, обеспечивает упрощение объектового состава данных и позволяет решать принципиально новые задачи обработки большого количества данных, описывающих объекты транспортной инфраструктуры.

### **Теоретическая и практическая значимость диссертации**

Теоретическая значимость диссертации заключается в совершенствовании и развитии научных подходов и решений в области геоинформационного моделирования и создании геоинформационных моделей.

Автором представлен научный подход к созданию целостной системы геоинформационных моделей объектов инфраструктур, имеющих большую протяженность, на примере инфраструктуры ж/д транспорта, все объекты которой



описаны по единым правилам.

Практическая значимость заключается в процессе внедрения в производственные процессы методики геоинформационного моделирования. Разработанная методика позволит в оперативном режиме решать задачи строительства, проектирования и мониторинга объектов, имеющих протяженность сотни километров.

Результаты диссертационного исследования были использованы при выполнении работ на: Московской, Горьковской, Октябрьской, Северо-Кавказской, Юго-Восточной железных дорогах, Московском центральном кольце (МЦК). Заказчиком проводимых работ являлось ОАО «РЖД».

Основные результаты диссертации внедрены в производственный процесс геоинформационного моделирования в компаниях ООО «НТК «Сфера» (ЗАО «НТК «Сфера» до реорганизации), АО «Транспутьстрой», ООО «Геопроектизыскания».

Внедрение основных результатов подтверждается соответствующими актами.

### **Методология и методы исследования**

1. Обзор научно-технической литературы, печатных изданий и электронных источников информации.
2. Системный и сравнительный анализ геоинформационного моделирования.
3. Аналитические методы и алгоритмы геоинформационного моделирования.
4. Исследование методов получения исходных данных для геоинформационного моделирования по технологии мобильного лазерного сканирования.
5. Исследование трехмерного моделирования.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Разработаны рекомендации и предложения по использованию пространственных моделей с применением моделей информационных единиц, как

основы построения моделей, и моделей информационной ситуации как локальной модели связанных объектов.

2. Разработана методика геоинформационного моделирования на основе данных, полученных с применением технологии МЛС, которая обеспечивает упрощение объектового состава данных и позволяет решать принципиально новые задачи обработки большого количества данных, описывающих объекты транспортной инфраструктуры.

3. Разработаны правила моделирования трехмерных объектов, которые позволяют повысить эффективность и производительность работ по формированию геоинформационных моделей.

4. Разработаны правила формирования баз данных геоинформационных объектов, которые позволяют обновлять и контролировать пространственные объекты в сжатые сроки без ухудшения качественных и количественных характеристик геоинформационного продукта.

5. Представлены результаты экспериментальных исследований разработанной методики геоинформационного моделирования на основе данных мобильного лазерного сканирования на примере геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры ж/д транспорта.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Основные положения диссертационного исследования докладывались, рассматривались и обсуждались на международных научно-технических конференциях: Седьмая научно-техническая конференция, интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте, (АО «НИИАС»), г. Москва. 2018г.; III Международная научно-практическая конференция "Методы и модели пространственного анализа", г. Бургас, Болгария, 2019; 74-ая научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАиК, г. Москва. 2019; III Международная научно-практическая конференция "Интеграция, аналитика и геоинформационный сервис", г. Бургас, Болгария, 2019г.; XV Общероссийская научно-практическая конференция и выставка «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской

Федерации», г. Москва, 2019; IV Международная научно-практическая конференция "Методы и модели пространственного анализа", г. Бургас, Болгария, 2019г.; Международная научно-практическая конференция "Развитие инфокоммуникационных технологий. Теория и практика", г. Бургас, Болгария, 2019г.

Основные результаты диссертационного исследования использованы в производственном процессе геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры ж/д транспорта в ООО «НТК «Сфера» (ЗАО «НТК «Сфера» до реорганизации), АО «Транспутьстрой», ООО «Геопроектизыскания», что подтверждает достоверность полученных результатов исследования.

Результаты настоящей диссертации применяют юридические лица, организации и физические лица, занимающиеся индивидуальным предпринимательством в области геоинформационного моделирования, выполняющие работы, в том числе для ОАО «РЖД». За период 2015г. - 2019г. с применением разработанной методики выполнены работы в рамках контрактов с ОАО «РЖД» в т.ч. на: Московской, Горьковской, Октябрьской, Северо-Кавказской, Юго-Восточной железных дорогах и Московском центральном кольце (МЦК).

**Публикации.** В процессе работы над диссертационным исследованием опубликовано 23 работы, в том числе 3 в изданиях ВАК по Геоинформатике.

**Структура диссертации.** Настоящая диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Работа выполнена на 166 листах, включая 39 рисунков и 5 таблиц. Кроме этого, к работе прилагаются 2 Приложения на 52 листах.

## **ГЛАВА 1. Анализ методов моделирования транспортной инфраструктуры**

### **1.1. Общие направления моделирования транспортной инфраструктуры**

Моделирование транспортной инфраструктуры опирается на методы транспортной геоинформатики [1, 2] и первоначально было направлено на моделирование транспортных сетей. С развитием геоинформационного моделирования возникли методы моделирования пространственных объектов и местности. В настоящее время моделирование объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ) условно можно разделить на следующие направления:

- Теоретическое, которое включает использование математических методов для анализа и построения объектов и рельефа местности;
- Прикладное, которое включает решение практических задач в сфере транспорта, включает моделирование пространственных объектов;
- Методическое, которое включает разработку и обоснование методов выноса в натуру, контроль эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры;
- Инструментальное, которое включает разработку методов сбора и обработки первичной информации, а также обоснование технологий проведения измерительных работ.

Эти четыре вида определяют четыре направления транспортной геоинформатики. В качестве базовых понятий, которыми определяется методология моделирования ОТИ, выступают: организация данных; пространственные отношения; система; информационное и геоинформационное моделирование; цифровая модель. Особенностью методологии инструментального направления является использование двух типов систем: систем данных и систем обработки информации. Одной из главных задач прикладной геоинформатики транспорта выступает выявление и фиксация пространственных отношений между объектами, явлениями и процессами в сфере транспорта [3, 4]. Решается данная задача с помощью следующих методов. Во-

первых, с помощью метода классификаций. Во-вторых, при помощи метода координатных систем [5-8]. Моделирование ОТИ использует междисциплинарный перенос знаний. Междисциплинарный перенос знаний создает эффект интеграции и получение синергетического эффекта от интеграции [9-11].

Моделирование ОТИ использует, кроме геоинформационного, информационное моделирование для получения знаний. Информационное моделирование, являясь фундаментальным методом познания, позволяет сопоставлять явления на основе использования информационных моделей. Визуальное моделирование [12-15] ОТИ охватывает обработку и проведение анализа графического представления пространственно-распределенных данных.

Моделирование ОТИ, в частности дорог и железнодорожных путей, делает необходимым использование топологии при изучении транспортных систем методами геоинформатики.

## 1.2. Технологии сбора информации

К технологиям сбора информации в геоинформатике относят: геодезические (полевые) технологии, фотограмметрические технологии, картографические методы и технологии, технологии дистанционного зондирования Земли, цифровые технологии (рис.1.1).

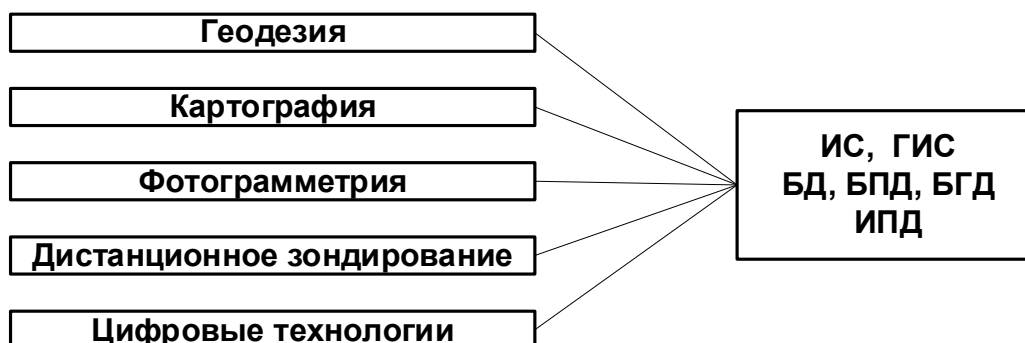


Рисунок 1.1. Основные технологии сбора данных в геоинформатике

Сбор информации в геоинформатике завершается хранением информации в разных системах: в геоинформационной системе (ГИС), в хранилище данных, в

базе пространственных данных (БПД), базе геоданных (БГД), в инфраструктуре пространственных данных (ИПД).

Источниками информации могут быть и архивные картографические данные. Для их ввода применяют цифровые методы: дигитализация, сканирование, векторизация, распознавание изображений и прочие. Автоматизированный сбор выполняется без участия человека и предполагает прямое подключение информационно-измерительной системы [16] к измерениям.

Первичные данные формируют фактофиксирующие модели [17]. Для обеспечения сопоставимости данных, полученных в разное время и разными приборами, используют принцип единства измерений.

### 1.3. Геоданные

В результате сбора информации с помощью разных технологий в геоинформатике формируют единую структуру данных, которую называют геоданными [18-23]. Геоданные — тематические, пространственные и временные данные, описывающие свойства объектов, явлений и процессов на поверхности Земли, в недрах и в околоземном пространстве. В геоинформатике геоданные (GD) всегда определенным образом структурированы. Они включают данные трех групп – «тема», «время» и «место». Геоданные имеют следующий вид:

$$GD = \Phi\{(C1, C2, \dots, Cn), (Pt1, Pt2, \dots, Ptm), (A1, A2, \dots, Ak)\} \quad (1.1)$$

В выражении (1.1)  $C_i$  – группа «место», совокупность координатных (пространственных) параметров ( $i=1\dots n$ );

$Pt_i$  – группа «время», совокупность временных параметров ( $i=1\dots m$ );

$A_i$  – группа «тема», совокупность тематических характеристик ( $i=1\dots k$ ) [187].

Структура геоданных делает их удобными для моделирования ОТИ. GD служат основой геоинформационного моделирования и с их помощью создают геоинформационные модели ОТИ.

Для моделирования ОТИ формируют специализированные комплексные

наборы [24] данных как описание объектов транспортной инфраструктуры. Спецификой геоданных является структуризация их на три качественных группы: «место» (*place*), «время» (*time*), «тема» (*topic*). Для анализа содержания геоданных рассмотрим их структуру, которая показана на рис. 1.2.

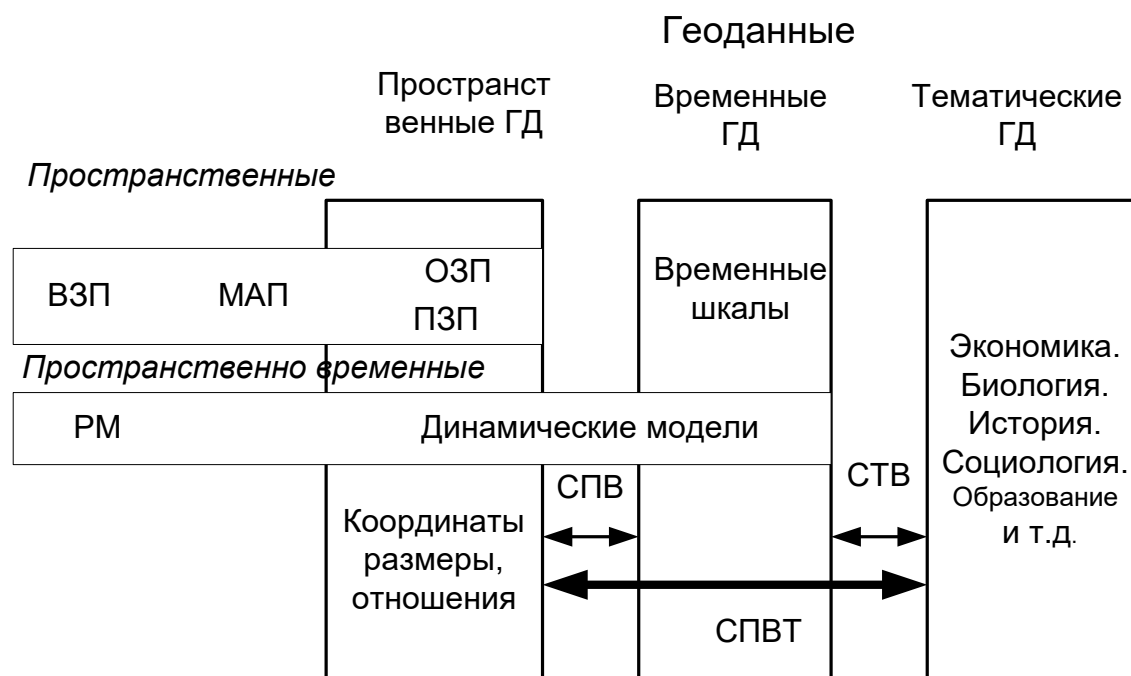


Рисунок 1.2. Структура геоданных

На рис.1.2 столбцами обозначены основные группы: «место», «время», «тема» в виде пространственных геоданных (ГД), временных геоданных, тематических геоданных. Между столбцами существуют разные виды связей, которые обозначены стрелками.

Время и пространство являются кардинально разными понятиями. Соответственно, временные данные не зависят от пространственных, а пространственные от временных. Совокупностью рассматриваемых групп данных образуется класс пространственно-временных данных. Между собой такие данные связаны связями «пространство-время» (СПВ). Существуют связи «пространство – время – тема» (СПВТ) и «тема – время» (СТВ). Геоданные (рис.1.2) включают связи «пространство-время-тема» (СПВТ). В геоданные не входят данные математических абстрактных пространств (МАП). Например, Гильбертово пространство. В состав геоданных земной геоинформатики не входят данные внеземных пространств.

В пространственную группу входят данные об объектах в околоземном пространстве, данные об объектах на земной поверхности, данные об объектах под земной поверхностью. Это подмножество геоданных называют геопространственными данными. Геопространственные данные (ГПД) – это часть пространственных данных и данных, связанных только с Землей. Геопространственные данные не могут быть на Луне или на Марсе. В отличие от этого, пространственные данные могут быть получены на Луне, на любой планете Солнечной системы.

Пространственно-временные данные частично входят в геоданные. При этом в состав геоданных не включаются данные релятивистской механики (РМ). С формальной точки зрения совокупность геоданных можно описать следующим образом:

$$\text{ГД(ГПД, ВРД, ТД, Связи)}, \quad (1.2)$$

где ГД – геоданные;

ТД – тематические данные;

ВРД – временные данные.

Если ГД выступают в качестве инструмента управления, то в их составе будет еще один параметр – время применения (Тпр). Им определяется допустимое общее время получения геоданных и формирование управляющего воздействия. В таком случае формальная запись геоданных имеет вид:

$$\text{ГД(ГПД, ВРД, ТД, Тпр, Связи)} \quad (1.3)$$

Геоданные позволяют связывать объекты друг с другом. При обработке геоданные делят на следующие семь категорий:

- экономические характеристики объектов или явлений на поверхности Земли;
- геометрические характеристики (форма объектов, их положение – в некоторых случаях такие данные с целью упрощения называют пространственными);
- топологические характеристики;
- визуальные характеристики: отображение, цвет, сигнатура;



- топографические характеристики;
- метаданные;
- темпоральные характеристики.

Такое многообразие обеспечивает применение геоданных в различных областях: транспорт, строительство, кадастр, сельское хозяйство, вооруженные силы и другие области.

#### **1.4. Анализ методов геоинформационного моделирования**

Геоинформационное моделирование [25-28] относится к классу пространственного моделирования. Технология пространственного моделирования предполагает построение пространственной модели и совершение с ней определенных действий [29]. Как метод научного познаний пространственное моделирование – получение геознания и формирование картины мира [30-36]. В когнитивном аспекте моделирование рассматривается в качестве формы отражения действительности. В геоинформатике пространственное моделирование создает возможность переноса результатов, полученных в ходе построения и исследования моделей, на оригинал. Соответственно, решается задача переноса знаний. В качестве основного вида пространственного моделирования в геоинформатике является геоинформационное моделирование. Главными направлениями геоинформационного моделирования являются визуальное моделирование [37], цифровое моделирование [38, 39], картографическое и когнитивное моделирование.

Геоинформатика базируется на интеграции разных наук [40, 41]. При этом обработка данных выстраивается на интеграции моделей [42]. Основу геоинформационного моделирования составляют геоданные. Само моделирование реализуется с использованием геоинформационных систем, информационных систем, систем автоматизированного проектирования, вычислительных средств. Общее для перечисленных видов – использование трех

интегрированных групп данных «тема», «время» и «место».

Геоинформационное моделирование – частный вид пространственного моделирования. Между геоинформационным и пространственным моделированием имеются как сходства, так и отличия. В целом, оба вида моделирования являются практическим объективным критерием, используемым для проверки истинности знаний. Целью геоинформационного моделирования является получение геознания и пространственных знаний. В результате геоинформационным моделированием генерируются новые геоинформационные и информационные модели, а также создаются новые информационные ресурсы.

В результате геоинформационного моделирования происходит замена исходного пространственного объекта на пространственную модель. Модель включает множество взаимосвязанных параметров. При этом пространственная модель должна включать не только данные об объекте моделирования, но и об его семантическом окружении [43, 44].

В некоторых случаях пространственная модель обладает свойством системности и может быть рассмотрена как система. Для пространственной модели, как для системы, характерно наличие жизненного цикла. Жизненный цикл зависит от ресурсов моделирования [45]. Некоторые параметры модели определяются в результате измерения исходного объекта. Они рассматриваются как комплекс известных значений. Другие параметры могут быть определены путем проведения расчетов с использованием уже известных параметров. Таким образом, измерительные и информационные технологии всегда предшествуют геоинформационному моделированию.

Основные цели геоинформационного моделирования можно выразить следующим образом:

- прогнозирование пространственных явлений;
- интерпретация пространственных явлений и фактов;
- фиксация пространственных явлений и фактов.

Благодаря геоинформационному моделированию можно с минимальными затратами воссоздать процесс взаимодействия между реальным объектом и

внешней средой. Кроме того, геоинформационное моделирование дает возможность определить комплекс ключевых факторов и разработать критерии оптимизации такого взаимодействия. Особенность геоинформационного моделирования заключается в том, что оно базируется на пространственных отношениях [46, 47].

Визуальное моделирование предполагает применение технологии знакового геоинформационного моделирования, при котором используются такие знаковые образы, как формулы, чертежи, тепловые и радиолокационные снимки, фотоснимки, схемы, карты, тайлы, условные знаки, графы.

Математическое моделирование более предпочтительно при выявлении латентных (скрытых) связей и при исследовании различных процессов и явлений. Под математической моделью понимается комплекс формальных описаний (логических уравнений, неравенств, уравнений, формул), которыми отражается реальный процесс изменения состояния объекта в зависимости от факторов внутреннего и внешнего порядка. Главная особенность математического геоинформационного моделирования заключается в использовании геоданных и топологии.

Исследование пространственных объектов редко обходится без пространственного цифрового моделирования. В геоинформатике и информатике цифровое моделирование заключается в реализации возможностей программных средств и математических методов для моделирования объектов.

В широком понимании под цифровой моделью (ЦМ) (*digital model, DM*) подразумевается дискретная информационная модель, которая сформирована для дальнейшей компьютерной обработки. Другими словами, цифровая модель – это компьютерно-ориентированная модель. С этой точки зрения она представляет собой обобщение физической и даталогической модели.

В узком понимании цифровая модель – это дискретная модель пространственных объектов, в которой в качестве обязательных параметров выступают: масштаб, точность координат, габариты, размеры, координаты. Данная модель предназначена для обработки в геоинформационных или

информационных технологиях.

В цифровой модели определяющим значением обладает то, что она формируется в дискретном цифровом виде, воспринимаемом компьютером. Структурной основой цифровой модели может выступать комплексная, реляционная, иерархическая сетевая модель. Храниться цифровые модели могут в виде файловой структуры или в специальной базе данных. Наибольшее распространение цифровые модели получили в экологии, архитектуре, строительстве, проектировании и геоинформатике.

Цифровая модель может содержать информацию разных типов. Исходя из аспекта пространственных отношений, типы информации бывают атрибутивными и метрическими. А по аспекту семиотического анализа выделяется синтаксический и семантический компоненты.

Метрические данные определяют положение, задавая абсолютные координаты точек ЦММ и размеры объекта путем относительных координат точек в местной или условной системе. Главное качественное отличие метрических данных цифровых моделей, полученных на основе реальных измерений, выступают точностные характеристики. Они обуславливаются ошибками измерений и неточностями при вычислениях. Данным параметром определяется применимость цифровой модели при решении практических задач в различных масштабах.

Атрибутивные данные в ЦММ определяют принадлежность объектов или точек к тому или иному объекту либо классу; описывают условия воспроизведения; задают условия и взаимосвязи обработки; описывают свойства объектов и их частей; решают главную задачу по выявлению пространственных отношений.

Семиотический аспект, рассматривая цифровую модель в качестве информационной, вводит известные в информатике оценки «коэффициент содержательности» и «коэффициент информативности» цифровой модели. Семантическим аспектом информации определяется ее содержательная сторона, а синтаксическим – набор отношений и правил работы с ЦМ как с обычной

информационной моделью.

*Логическая структура* цифровой модели – это совокупность логических записей и схем, описывающих данную модель. В ее состав могут входить:

- схемы построения цифровой модели;
- схемы взаимосвязи свойств цифровой модели;
- схемы взаимосвязи частей ЦММ в натуре и в БД.

Кроме того, логическая структура цифровой модели содержит логические записи, которые составляют информационную основу. В качестве обязательного компонента логической структуры ЦММ выступает логическая запись.

*Физическую структуру* ЦММ определяет способ реализации логической ЦММ на конкретной технической основе. Ею задается формат записи данных, размеры слов и кластеров. В качестве элемента физической структуры цифровой модели выступает физическая запись.

Вышеназванные части соответствуют даталогической и физической модели. Таким образом, под цифровой моделью понимается компьютеро-ориентированная модель и модель, объединяющая даталогическую и физическую модели. Среди пространственных цифровых моделей выделяются:

- цифровая модель процесса или явления;
- цифровая модель объекта;
- цифровая модель местности.

Наибольшее применение в системе автоматизированного проектирования и геоинформатике нашла цифровая модель местности. Одним из результатов геоинформационного моделирования является цифровая модель местности. *Цифровая модель местности* (ЦММ) - информационная дискретная модель местности, предназначенная для обработки и хранения в компьютерных технологиях.

Геоинформационное моделирование тесно связано с другими видами моделирования и предполагает использование цифровых моделей и геоданных. Геоинформационное моделирование требует предобработки собранных пространственных данных. Данный вид моделирования нередко является

когнитивным и эвристическим в силу активного участия человека в обработке данных. В широком смысле геоинформационное моделирование представляет собой технологию обработки пространственных данных, использующую информационные системы (систему лазерного сканирования, Автокад и др.).

Технологии сбора пространственных данных – геоинформационные технологии. Выделяется новая технология геоинформационного моделирования – геоинформационное проектирование [48]. Им предполагается синтез геоинформационных технологий и технологий автоматизированного проектирования. Геоинформационное моделирование применяется при пространственном анализе, геоинформационном мониторинге и геомониторинге.

### **1.5. Технологические особенности геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры**

Целью геоинформационного моделирования в любой предметной области является построение моделей, характерных для этой области. Объекты транспортной инфраструктуры имеют свои особенности, которые создают специфические пространственные и геоинформационные модели.

В современных технологиях геоинформационного моделирования большое значение приобретает трехмерное моделирование. При этом различают три подхода трехмерного моделирования: поточечный, групповой и массовый [192]. Первый подход включает последовательный поточечный сбор информации, ввод семантики на объект и построение трехмерной модели из отдельно измеренных точек. После построения модели она подвергается атрибутированию, то есть вводятся необходимые атрибуты, и визуально модель становится аналогом исследуемого пространственного объекта. Второй подход включает групповой сбор информации по паре снимков стереопары. На снимках находится группа точек, описывающих пространственный объект, и в процессе обработки такой группы точек строится пространственная модель. Недостатком подхода является наличие мертвых зон. Как правило, одной стереопары не хватает для съемки

объектов транспортной инфраструктуры. Если объект протяженный (километры и десятки километров), то возникают технологические и временные трудности получения информации фотограмметрическим и геодезическим методами и последующей ее стыковки. Третий подход приспособлен для исследования и моделирования больших протяженных объектов. Он разделяется на стационарное и мобильное лазерное сканирование. Стационарное лазерное сканирование проводят с одной точки. Мобильное лазерное сканирование осуществляют с подвижного (мобильного) объекта, в силу чего оно имеет такое название.

Существует заблуждение, при котором к объектам транспортной инфраструктуры относят только здания и сооружения, а сам путь не считают объектом транспортной инфраструктуры. На самом деле, железнодорожный путь – есть важнейший объект транспортной инфраструктуры, и обеспечивающие движения объекты (контактная сеть, светофоры, устройства сигнализации, переезды) также являются объектами транспортной инфраструктуры. Все эти объекты включены в геоинформационное моделирование.

Таким образом, первая особенность геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры – необходимость массового моделирования, а не моделирования отдельно взятых объектов.

В геоинформатике и в ГИС существует понятие буферная зона, которую строят только на основе имеющейся пространственной модели. В ГИС буферная зона строится на основе пространственной модели, которая создана после сбора информации и обработки информации. Железнодорожный путь - важнейший объект инфраструктуры, информацию собирают вдоль железнодорожного пути. Фактически, информацию собирают вдоль буферной зоны.

Вторая особенность геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры – сбор целевой информации вдоль буферной зоны, которая сама по себе представляет важный объект исследования при организации движения. Значение буферной зоны, как самостоятельного объекта, в моделировании ОТИ привело к понятию новой пространственной модели - инфраструктурный коридор.

Инфраструктурный коридор – это специализированная геоинформационная модель, включающая окружение трассы движения объекта, которая не включает модель самой трассы, а включает близко и далеко расположенные объекты инфраструктуры. Основное назначение этой модели - анализ окружения трассы и влияние объектов на движение и логистику.

Таким образом, в области моделирования ОТИ существует специализированная задача и геоинформационная технология ее решения: съемка инфраструктурных коридоров [2], включая автомобильные, железнодорожные, трубопроводные и силовые линии.

Третья особенность геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры – построение протяженной (десятки и сотни километров) пространственной модели транспортного коридора, то есть только тех объектов, которые влияют на движение транспорта, и объектов, удаленных от трассы.

Транспортный коридор – это специализированная геоинформационная модель, включающая окружение трассы движения объекта, которая не включает модель самой трассы, а включает близко расположенные объекты инфраструктуры. Основное назначение этой модели - анализ движения по трассе с целью обеспечения безопасности и пропускной способности.

В транспортный коридор входят переезды и тоннели, которые также требуют измерения и построения в виде моделей. В транспортный коридор входит полоса отвода, которая имеет переменную ширину в зависимости от типа рельефа, снеготаносимости, залесенности и типа грунтов (болота, степи) . Полоса отвода также требует измерения и построения в виде моделей.

Четвертая особенность геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры – построение протяженной (десятки и сотни километров) пространственной модели трассы.

Пространственная модель трассы – это специализированная геоинформационная модель, включающая: верхнее строение пути, нижнее строение пути, геометрию уклонов, рельсовых нитей и другие параметры,



оказывающие влияние на движение транспорта. Основное назначение этой модели - контроль состояния пути, прогнозирование состояния пути и принятие решений о его корректировке или эксплуатации.

Все четыре особенности учитываются при использовании мобильного лазерного сканирования. Однако, это создает пятую особенность моделирования ОТИ.

Пятая особенность геоинформационного моделирования ОТИ состоит в необходимости создания дополнительной геоинформационной модели, которая при геодезических и фотограмметрических методах сбора не создается. Поскольку процесс сбора осуществляется в пространстве и времени, то возникает проблема обеспечения единой координатной среды и единства времени при сборе пространственной информации. Сбор информации с использованием мобильного лазерного сканирования качественно отличается от фотограмметрического, геодезического методов измерений и стационарного мобильного лазерного сканирования. В этих случаях, точки съемки измеряют непосредственно прямыми измерениями, что обеспечивает необходимую точность.

При массовом методе сбора пространственной информации измерения осуществляют непрерывно, по мере перемещения объекта – носителя аппаратуры. В силу этого, понятие точки съемки заменяется понятием траектории измерений, то есть траектории, по которой перемещается съемочная аппаратура для получения массовой информации.

Как дополнительный этап геоинформационного моделирования, при массовом способе, возникает технологический этап предварительного измерения траектории измерений. Для решения этой задачи перед непосредственно съемкой подвижный объект с аппаратурой прогоняют в холостом режиме (без проведения съемки) в прямом и обратном направлениях по участку съемки. Положение съемочной аппаратуры фиксируется при помощи спутниковых и инерциальных устройств. Данные, полученные в результате измерений, подвергаются обработке. На их основе создается дополнительная геоинформационная модель – 3D-модель траектории измерений. Она используется в процессе съемки. Данная модель при

необходимости может быть скорректирована. Эту особенность можно сформулировать как создание дополнительной геоинформационной модели траектории измерений ОТИ.

Модель траектории измерений с использованием лазерного сканирования – это специализированная геоинформационная модель, включающая пространственные координаты перемещения сканера. Основное назначение этой модели - определение точек координат возможной съемки и привязка координат измеряемых точек, полученных с разных точек измерений. Аналогом этой модели может служить маршрут аэрофотосъемки или маршрут БПЛА.

Шестая особенность при моделировании ОТО связана с проблемой «больших данных», которая возникает при использовании мобильного лазерного сканирования. Эта особенность обусловлена большим количеством информации при массовом сборе и ограниченностью вычислительных средств обработки этой информации. Приведем данные. При скорости съемки 60 км/ч достигается точность на уровне нескольких сантиметров и плотности около 3000 точек на квадратный метр. Это значит, что на 1 км пути получают не менее 9 млн. точек, что соответствует проблеме «больших данных». В силу этого, участок сканирования требуется разбивать на блоки для уменьшения объема обрабатываемых данных. Для повышения точности и полноты данных съемка производится в прямом и обратном направлениях. Совместно со сканированием производилась фотосъемка сканируемой территории четырьмя широкоугольными камерами с частотой съемки до 20 кадров в секунду. Данные с фотокамер способствуют улучшению визуального восприятия объектов и позволяют присваивать атрибутику объектам и истинные цвета точкам. Такое обстоятельство приводит к необходимости создания вспомогательной априорной геоинформационной модели. Эта модель - есть проект измеряемой трассы, который создают на основе предварительного изучения материалов о трассе, его необходимо разбить на участки или блоки.

Проект измеряемой трассы - это специализированная пространственная модель, которая включает маршрут трассы в плановых координатах. Основное

назначение этой модели – разбиение предполагаемой трассы на блоки, позволяющие проводить обработку с такими объемами данных, которые может обработать применяемое программное обеспечение.

### **Выводы по первой главе**

Проведенный анализ состояния работ выявил, что геоинформационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры имеет свои особенности и требует создания специальных геоинформационных и пространственных моделей. Эти задачи не решены в существующей практике геоинформатики и существующих технологиях геоинформационного моделирования объектов и сооружений.

Анализ литературных источников показал, что геоинформационное моделирование тесно связано с другими видами моделирования. Геоинформационное моделирование использует геоданные и цифровые модели, часто является эвристическим и когнитивным в силу активного участия человека в обработке пространственной информации. Оно может включать разные технологии и может быть рассмотрено как технологическая система, которая может быть сложной или простой, в зависимости от комплекса задач и условий.

Обзор литературы показал, что существующие методы геоинформационного моделирования не имеют единых принципов. Геоинформационные модели, созданные по разным методикам и принципам, нельзя совместить в единую модель, которая, в свою очередь, составляет основу пространственной базы данных. При наличии модели, целой инфраструктуры, созданной по единым правилам и стандартам, можно говорить об удобном и рациональном способе получения своевременной информации для ремонта, строительства, проектирования, обслуживания объектов инфраструктуры.

Проведенный анализ показал, что в существующих технологиях отсутствуют методы, применяющие модели информационной ситуации, и методы, применяющие модели информационных единиц. Задачей настоящей диссертации является восполнение этих пробелов.

В дополнение к существующим методам моделирования для решения задач геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры ж/д транспорта необходимо разработать специальную методику. Необходимо разработать единые правила моделирования трехмерных объектов и единые правила формирования базы данных геоинформационных объектов транспортной инфраструктуры.

## ГЛАВА 2. Принципы и концепции геоинформационного моделирования

### 2.1. Теоретические основы геоинформационного моделирования

Основные виды моделирования в геоинформатике: семантическое, топологическое, геометрическое, пространственное, эвристическое и информационное [49, 50]. Практически все из перечисленных видов моделирования используются в разных системах проектирования и технологиях контроля. Помимо этого, в геоинформатике применяется особый вид моделирования. Речь идет о геоинформационном моделировании [28, 51]. Геоинформационное моделирование осуществляется в соответствии с определенными принципами. В качестве одного из таких принципов выступает обеспечение информационного соответствия между типом пространственного объекта и типом геоинформационной модели. Этот принцип реализуется путем разработки классификатора объектов и соответствующей классификации моделей.

Сущность геоинформационного моделирования заключается в разработке пространственной модели, ее преобразовании и практическом использовании с целью решения той или иной прикладной задачи. В частности, такие задачи возникают в условиях проектирования линейных объектов транспортной инфраструктуры. Законодательство не содержит легального определения понятия «линейные объекты», однако в Градостроительном кодексе РФ приведен перечень объектов, относящихся к линейным. Это такие объекты: железнодорожные пути, автомобильные дороги, трубопроводы, линии связи, линии электропередачи.

В геоинформатике линейные объекты составляют целый класс пространственных объектов. Всего таких классов три. Существующая классификация обеспечивает удобство использования геоинформационных технологий в моделировании линейных объектов.

Моделирование линейных объектов происходит в виде полилиний, кривых и прямых линий. Основные геометрические характеристики таких

геоинформационных моделей:

- координаты начальных, промежуточных и конечных точек;
- тип линии;
- ширина начальной и конечной точки;
- протяженность;
- ширина (для тех объектов, которые имеют постоянную ширину).

Вышеуказанные характеристики отнесены к группе метрических.

На современном этапе серьезным значением обладают такие линейные объекты транспортной инфраструктуры, как железнодорожные пути, автомобильные дороги, линии электропередач, контактная сеть. Данными объектами отображаются линейные геоинформационные модели, характеризующиеся следующими атрибутивными характеристиками:

- срок эксплуатации;
- объем перевозок;
- региональное значение;
- экономическое значение;
- оценка риска;
- связанность с иными объектами;
- допустимая максимальная скорость;
- загруженность;
- пропускная способность;
- износ [52].

Возможности, обеспечиваемые геоинформационным моделированием и геоинформатикой, в полной мере подпадают под решение задач по проектированию линейных объектов транспортной инфраструктуры.

В рамках геоинформационного моделирования используются геореференции и пространственные отношения [3, 46, 53-55]. Геоинформационное моделирование включает пространственное аналитическое моделирование и моделирование с использованием геоинформационной системы. Оно определяется в качестве особого класса моделирования пространственных

объектов, связанных с базами данных. Им решается целая совокупность прикладных задач, а именно:

- задача по получению цифровых моделей [56, 57];
- задача по проведению расчетов параметров пространственных объектов [58, 59];
- задача по получению пространственного знания и геознания [30-32, 60-62].
- задача по поддержанию качественных пространственных рассуждений [63];

Соответственно, можно говорить о существовании двух моделей:

1. Пространственная модель реальности.
2. Модель геоданных геоинформационной системы.

В основу построения модели геоинформационной системы заложен дуальный принцип [64]. Модель геоинформационной системы включает две части – графическую и табличную.

Графическая часть модели геоинформационной системы связана с табличной. Она представляет собой результат визуализации геоданных, хранящихся в базе данных (БД). Благодаря графической части обеспечивается возможность построения электронной карты и визуального моделирования геоинформационной модели.

Табличная часть – базовый фрагмент БД геоинформационной системы. Ею обеспечивается возможность хранения геоинформационной модели в БД и использование инструментов СУБД с целью обработки геоданных. Данная часть модели геоинформационной системы является базовой, представляет собою организованные данные о географическом местоположении и хранится в БД.

С точки зрения содержания табличная и графическая части модели геоинформационной системы дублируют одна другую. Но с репрезентативной точки зрения между ними существуют определенные отличия. Благодаря этому создаются возможности двойственной работы с моделью геоинформационной системы – или посредством интерфейса БД, или с помощью визуального редактора.

Геоинформационной модели пространственных объектов, хранящихся в геоинформационной системе, одновременно присущи свойства моделей БД и визуальных моделей. Этим определяется главное преимущество геоинформационных моделей перед иными.

Рассмотрим ключевой специфичный признак, присущий геоинформационному моделированию. Табличные данные меняются в результате преобразования графических объектов, т. е. визуального моделирования геоинформационной модели. В свою очередь, геоинформационная модель в результате изменения табличных данных также меняется. Трансформируются и параметры ее визуального отображения [64, 65].

Целесообразно выделить несколько типов моделирования, входящих в понятие «геоинформационное моделирование» [190]:

1. Изменение графических объектов путем преобразования в другие типы.
2. Создание серии цифровых моделей объектов или явлений.
3. Разработка и корректировка графических объектов с учетом существующих пространственных отношений.
4. Трансформация графических элементов модели.
5. Трансформация данных таблицы.

Следует обратить внимание, что при четвертом и пятом типах моделирования преобразуются и табличные данные, и графические.

## **2.2. Формализм геоинформационного моделирования**

Развитие систем управления территориями и пространственных систем базируется, прежде всего, на получении пространственных данных и их использовании. Формализм моделирования заключается в описании реального пространственного объекта или явления при помощи специального аппарата (формализованное описание). Геоинформационное моделирование является технологическим и имеет своим результатом геоинформационные (пространственные) модели.



В качестве объектов геоинформационного моделирования выступают геоинформационные (пространственные) объекты.

Геоинформационное моделирование имеет в качестве своей формальной основы определенные изменения. В основе этих изменений алгоритмы обработки изображений; законы формальной логики; теоретические множественные отношения; технологии систем управления базами данных (СУБД); технологии работы с машинной графикой; технологии систем автоматизированного проектирования и др.

Перечень специальных технологий геоинформационного моделирования [64,190]:

1. Автоматическая классификация признаков изображений и разного рода графических объектов (в т. ч. растровых) по установленным критериям.

2. Генерализация. В рамках применения этой специальной технологии происходит интеграция объектов, корректировка их видимости, а также изменение масштаба.

3. Геогруппировка. При геогруппировке выстраивается динамическая временная модель. Для этого несколько графических объектов объединяются между собой.

4. Геокодирование. Этой специальной технологией геоинформационного моделирования предполагается процедура координатной привязки данных, т. е. назначение географического идентификатора каждому объекту карты и каждой записи данных.

5. Комбинирование. При применении этой специальной технологии производится композиция графических объектов и их декомпозиция. То же самое делают и с изображениями. Комбинирование осуществляется с учетом отношений, установившихся между графическими объектами или изображениями.

6. Разработка тематических карт. В основу этой специальной технологии геоинформационного моделирования заложены результаты анализа и обработки атрибутивных данных.

7. Обобщение данных. В рамках данной логической процедуры создания атрибутивных объектов используются связи и отношения, складывающиеся между атрибутами первичных объектов.

### 2.3. Формальное описание геоинформационного моделирования

Описание реального пространственного объекта или явления в рамках геоинформационного моделирования производится при помощи специального аппарата. В данном случае речь идет о формализованном описании. Его конечная цель – представление исследуемых частей объекта в совокупности и по отдельности. Геоинформационное моделирование имеет серьезные отличия от существующих теоретических методов моделирования. Во-первых, оно является технологическим. Во-вторых, оно взаимодействует с объектами БД геоинформационной системы.

Оператор, приступая к моделированию, имеет в своем распоряжении разные объекты. Однако не все объекты участвуют в моделировании. Соответственно, перед тем, как начать первые шаги в моделировании, оператором выделяется слой или объект моделирования среди всех тех, которые не вовлечены в процесс. Другими словами, осуществляется активизация объекта моделирования. Эта процедура практически аналогична процедуре активизации объектов в современных графических редакторах. Для обозначения активизированного объекта используем символ *A*. Все остальные объекты будут обозначены буквой *O*. Если используется специальный объект, то он будет обозначен символом *S*. Для обозначения нового или модифицируемого объекта используем символ *M*. Описание обобщенной процедуры геоинформационного моделирования в такой модели описывается посредством соотношения между активизированным и специальным объектом [188].

$$A, R, S \rightarrow M, \quad (2.1)$$

Условные обозначения:

*A* – активизированный объект;

R – пространственное отношение;

S – специальный объект;

→ – импликация;

M – новый или модифицируемый объект.

Графические объекты в геоинформатике классифицируются на такие типы:

1. Площадные объекты (Ar).
2. Линейные объекты (Ln).
3. Точечные объекты (Pt) [52, 64].

Главная особенность в том, что шаблон специального объекта (S) и активизированный объект должны быть одного типа. Для описания пространственного объекта используется два класса геоданных:

1. Геоданные атрибутивного класса. Условное обозначение совокупности таких геоданных – At(O).

2. Геоданные позиционного класса – метрические и координатные. Условное обозначение совокупности таких геоданных – Pos(O) [19, 20].

*Комбинирование объектов.* Геоинформационное моделирование может предполагать комбинирование отобранных объектов. Такой вид моделирования при использовании геоинформационной системы предполагает совершение ряда операций с графическими объектами. Объект A – активизированный или трансформируемый. Это подчеркивает, что объект может не просто взаимодействовать с иными объектами, но и трансформироваться в ходе такого взаимодействия.

*Объединение объектов друг с другом.* Чаще всего в практической деятельности при применении метода комбинирования используется такая процедура, как объединение. Объединение актуально тогда, когда любой из объединяемых объектов обладает определяющим характером. Например, метод применяется при объединении в одну территорию материковой части государства и островов, входящих в его юрисдикцию). Моделирование может быть описано множественным отношением объединения. Объединение объектов производится с использованием компьютерных технологий:

$$A1 \cup A2 \cup A_i \cup A_k \rightarrow M, \quad (2.2)$$

$k$  – количество исходных объединяющихся объектов.

Моделирование имеет своим результатом создание нового объекта –  $M$ . В ходе моделирования определяются необходимые атрибутивные и метрические геоданные.

На рисунке 2.1 продемонстрировано объединение объектов трех видов (объекты  $A1$ ,  $A2$  и  $A3$ ) в объект, обозначаемый как  $M$ .



Рисунок 2.1. Комбинирование объектов путем их объединения

*Выделение из одного объекта нескольких автономных объектов.* Данная процедура именуется «экземпляция». Она противоположна обратной процедуре комбинирования. С помощью данной процедуры изменяемый объект разбивается на несколько мелких, более частных объектов. В рамках данного вида моделирования возможно два варианта. Далее рассмотрим их.

Вариант первый. Данный вариант широко применяется в случаях, когда задано пространство признаков, явно отделяемых друг от друга. Суть данного варианта заключается в использовании отношения принадлежности компонентов множества к их подмножествам. При наличии множества  $M(x_1, x_2, x_3, x_n)$ , в котором могут быть выделены определенные характерные компоненты  $\{x_1, x_2, x_3, x_n\}$ , каждый из которых позволяет идентифицировать непересекающееся подмножество анализируемого множества  $(X_1, X_2, X_3, X_n)$ , то процедура выделения будет иметь такой вид [66]:

$$\forall x_i \in M(x_1, x_2, x_3, x_n); (x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_n) \rightarrow X_i \quad (2.3)$$

Вариант второй. Сущность данного варианта базируется на использовании установленных шаблонов. Достаточно широко данный вариант применяется в межевании земель и геоинформационном проектировании [67, 68]. В качестве исходного условия выступает наличие общего множества (ареала), в котором должны быть созданы множества, не пересекающиеся между собой. Данная

задача становится актуальной в случае выдела земельных участков в дачных, садовых товариществах и иных образованиях. При помощи совокупности шаблонов большая территория разбивается на несколько составляющих частей:

$$A \cap S1 \rightarrow M1; A \cap S2 \rightarrow M2; \dots A \cap Sn \rightarrow Mn \quad (2.4)$$

Установление шаблонов происходит морфологически (паттерны) либо аналитически – посредством измерения на местности.

*Удаление фрагментов объектов.* Фрагменты изменяемых объектов удаляются по аналогии с процедурой операции моделирования с рядом объектов. Для удаления части изменяемого объекта на него накладывается объект-шаблон:

$$A - A \cap S \rightarrow M \quad (2.5)$$

Еще один потенциально возможный вариант заключается в удалении части трансформируемого объекта. При этом удалению подлежит не любая часть, а та, которая не совпадает с объектом-шаблоном. Удаление проводится при условии несовпадения с образцами:

$$A \cap S \rightarrow M \quad (2.6)$$

Чтобы удалить какой-либо конкретный участок из объекта, обозначающего границы административной единицы, нужно его создать в виде шаблона. Затем с помощью специальных команд фрагмент удаляется из административной единицы.

*Добавление узлов путем метода комбинирования объектов.* Такая процедура применима исключительно к линейным объектам. Во всех других случаях добавление узлов с помощью метода комбинирования объектов невозможно. Метод позволяет генерировать новые точки в полигоне, сохранять или корректировать топологию при соединении линейного объекта с другим объектом при помощи добавляемого узла. Особенность рассматриваемой процедуры заключается в следующем. Добавление узлов предполагает взаимодействие между несколькими линейными объектами (достаточно даже двух объектов). Добавление узлов происходит в автоматическом режиме, вследствие суперпозиции графических объектов. Оператор в данном случае никак не влияет на процесс.

$$\exists(A1, A2): Pos(A1) \wedge Pos(A2) \rightarrow Pos(M) \quad (2.7)$$

Данная технология применяется при нанесении на карту новой улицы, которая имеет точки соприкосновения с другими улицами. С помощью данной процедуры обеспечивается возможность точной фиксации мест пересечения улиц в виде узлов. Если при геоинформационном проектировании возникает необходимость в добавлении узлов, то это делается с помощью метода комбинирования объектов.

### 2.3.1 Атрибутивное моделирование

В настоящем параграфе будет рассмотрено атрибутивное моделирование и его особенности. Атрибутивное моделирование трактуется как сочетание пространственной части за счет изменения атрибутов. Все шаги атрибутивного моделирования должны соответствовать друг другу. Создавая новый объект, нужно сопоставить данному объекту таблицу с данными, т. е. определить основные атрибуты. Создание объекта может происходить двумя способами:

- Первый способ – создание объекта в результате объединения двух и большего числа объектов в один.

2. Второй способ – создание новых объектов в результате расчленения крупного объекта на несколько более мелких.

В первом случае установлению подлежат правила определения атрибутов аналогичных данных для нового объекта. Другими словами, необходимо обобщить данные исходных объектов и вычислить данные для нового объекта с учетом установленного метода отношений атрибутов.

Значение атрибутов, соответствующих исходным объектам – это сумма. Сумму имеет каждый новый объект. Ее присвоение происходит следующим образом.

$$At(M) = \sum At(A_i), \quad (2.8)$$

где  $i = 1 \dots k$ ,  $k$  – количество первичных объектов.

Далее совершаются такие шаги:

1. Шаг первый: вычисление среднего значения атрибутов первичных объектов.
2. Шаг второй: присвоение среднего значения атрибутам новых объектов.

$$At(M) = \sum At(A_i) / k_i, \quad (2.9)$$

где  $i=1.....k$ .

*Взвешенное среднее* получают путем умножения разных значений первичных исходных объектов на разные коэффициенты (условное обозначение –  $p$ ). Коэффициент может быть взят из любого столбца таблицы. В некоторых случаях коэффициент вычисляется исходя из значения характеристик пространственных объектов (к примеру, используется периметр или площадь объекта, значения которых отсутствуют в таблице).

$$At(M) = \sum p At(A_i) / k_i, \quad (2.10)$$

где  $i=1.....k$

*Значение.* Атрибуту вновь создаваемого объекта должно быть присвоено новой значение ( $Z$ ).

$$At(M) = Z \quad (2.11)$$

*Информационное соответствие.* Оно представляет собой условие присвоения атрибуту вновь создаваемого объекта значения, соответствующего первичному объекту [69-71].

$$At(M) = At(A) \quad (2.12)$$

В ходе реализации декомпозиции пространственных объектов используется один из таких методов преобразования атрибутов:

*Пропорционально размеру.* В данном случае из значения, соответствующего изменяемому объекту, вычитается доля, являющаяся пропорциональной размеру фрагмента, который был вырезан.

*Сохранение.* Сохраняется значение, соответствующее изменяемому объекту.

*Пусто.* В данном случае удаляется значение, соответствующее объекту, подвергаемому изменению.

Каждая из этих процедур с легкостью реализуется в системах БД и пакетах машинной статистической обработки.

*Геогруппировка (геоинформационное моделирование с применением геогрупп).* Этот метод основан на аналогах. Речь идет о процедурах из пакетов машинной графики системы автоматизированного проектирования, создающей прочную и стойкую связь между объектами, разрозненными между собой. Геогруппировкой образуется некая связь между объектами пространственного типа. Геоинформационное моделирование формирует возможности потоковой обработки объектов.

Геогруппировка обладает серьезным значением для проектирования. Каждая составляющая проекта объединяется с другими, перемещается и масштабируется под разные масштабы и карты. Геогруппировка применяется при создании слоев. К примеру, подземные коммуникации объединяются в один слой. Кроме того, с помощью рассматриваемой технологии задается иерархия отношений. Так, в частности, геогруппа «слой» вполне может содержать геогруппы точечных, линейных или ареальных объектов. Для геогруппы «дома» могут быть созданы такие группы: «поэтажный план», «кровля», «коммуникации». Также геогруппировка может формировать стратификацию слоев.

При использовании рассматриваемого вида моделирования формируется стратифицированная модель, удобная в анализе и обработке. Такая модель особенно эффективна в условиях больших данных. Моделированием охватывается возможность создания копий геогрупп или слоев. Они могут изменяться или принимать/отклонять изменения. Это обладает особой важностью в выносе проекта в натуру, а также при анализе его композиции с реальным рельефом местности.

*Создание графического объекта через слияние (объединение) атрибутивных данных.* Атрибутивные данные хранятся в табличном виде в БД геоинформационной системы. При создании нового объекта путем слияния их атрибутов оператор использует возможности интерфейса геоинформационной



системы по работе с данными таблицы. Также используются различные команды (например, «слияние в таблице»). Формализованное описание этой процедуры:

$$At(A1), \dots, At(An) \Rightarrow A1, \dots, An \quad (2.13)$$

и отношением вида:

$$A1 \cup A2 \cup Ai \cup Ak \rightarrow M \quad (2.14)$$

При слиянии в таблице атрибутивных данных обеспечивается возможность создания новых графических объектов посредством объединения существующих объектов по аналогии с процедурой геогруппировки. Вычисление атрибутивных данных вновь созданного объекта производится путем обобщения. Данная процедура имеет определенные технологические отличия от геогруппировки. Объединение объектов в рассматриваемом случае происходит с учетом табличных данных. Графические объекты при этом не принимаются во внимание.

При геогруппировке, наоборот, – объединение объектов происходит на основе графических объектов, без учета данных таблицы.

*Буферизация.* Буфер (буферная область) – область, окружающая объект (точечный, площадный или линейный) на определенном расстоянии. Термином «буферизация» обозначают создание буферной зоны с помощью методов геоинформационного моделирования.

Особенность буферизации в том, что к конкретному объекту создают комплекс ареальных объектов. Объекты площадного типа создаются на основе линейных и точечных объектов. Форма буферной зоны может быть разной. Этот аспект зависит от формы объекта, дистанции буферной зоны, иных факторов. Буферная зона точечных объектов имеет вид круга (при постоянной дистанции). Объект располагается непосредственно в центре буферной зоны. Для объектов другого типа форма буферной зоны создается с учетом формы конкретного объекта [189].

Установить радиус буферной зоны можно в виде соответствующего значения из таблицы БД геоинформационной системы. В качестве примера можно привести прием, широко применяемый в экономической географии и статистике: для создания буферных зон вокруг населенных пунктов, которые отражали бы

численность населения, выбирается значение радиуса буферной зоны из столбца «Население» [189].

Создается единый буфер и вокруг нескольких объектов (два и более). Также могут создаваться отдельные буферы вокруг каждого отдельного объекта [189]. Ниже на рисунках 2.2 и 2.3 показаны различные типы буферов.

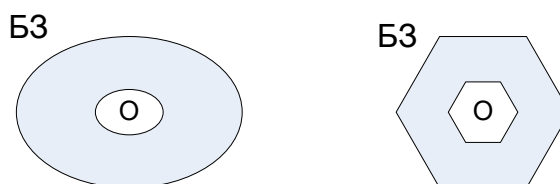


Рисунок 2.2. Буферные зоны

Условные обозначения:

БЗ – буферная зона;

О – объект, около которого выстраивается БЗ.



Рисунок 2.3. Буферная зона при проектировании железной дороги

На рисунке 2.3 продемонстрирована буферная зона. Она может выступать в качестве основы для полосы отвода в ходе проектирования железной дороги. Обратим внимание, что полоса отвода, как правило, не является параллельной трассе, так как ее ширина напрямую зависит от ряда факторов, таких как условия рельефа, условия снеготанения, тип почвы и др.

*Геокодирование.* Технология геокодирования (процесс позиционирования) – присвоение координат XУ описанию конкретного места посредством сравнения ряда описательных элементов, являющихся специфичными для конкретного местоположения, с элементами, указанными в справочных документах [72]. Сферы использования технологии геокодирования: криминалистика, медицина, пространственное моделирование [73-76]. При использовании геокодирования

применяются атрибутивные данные. Они собираются при проведении геодезических измерений как семантика. В других случаях сбор атрибутивных данных не зависит от геодезических измерений. К примеру, данные статистики о регионах хранятся в Госкомстате. Такие данные подлежат привязке к соответствующим графическим изображениям регионов на карте.

Специальная технология геокодирования предполагает связь хотя бы одной таблицы с картографическим отображением объектов (например, таблицы с кадастровыми номерами субъектов Федерации). С помощью данной технологии можно увязать таблицы, у которых есть хотя бы один столбец с аналогичными атрибутами. При этом сами таблицы, содержащие новые данные, становятся позиционированными, а содержащиеся в них сведения получают пространственную привязку. Впоследствии такая связь обеспечит интеграцию собираемой информации с графическим отображением объектов.

Технология геокодирования имеет несколько вариантов применения, так как табличные данные могут сравниваться разными способами (например, по полному адресу, по областям, по площадным объектам и др.). При проведении геокодирования по полному адресу сравниваются адреса (адрес в кодируемой таблице и данные об адресе, указанные в таблице специального формата, выступающей в роли приложения к геоинформационной системе). Если геокодирование проводится по областям или площадным объектам, то сравнивается название области (объекта) в записи из кодируемой таблицы с такими же данными в таблице поиска. После этого в таблицу вводятся координаты центроида области. Координаты берутся из поисковой таблицы (X и Y). Стоит упомянуть о грубом геокодировании, заключающемся в указании района, где расположен объект, а не в точном определении места его нахождения. Для этого используют файл, содержащий координаты центроидов районов. Соответственно, геокодирование проводится либо в ручном режиме, либо в автоматическом.

Полное совпадение в большинстве методов геокодирования не достигается. Результаты геокодирования вносятся в соответствующий столбец таблицы в виде

числового значения, показывающего, какие были совершены действия. Если поиск оказался неудачным, то должна быть указана причина. С помощью кода результата обеспечивается поиск записей различного типа, еще не прошедших обработку. При применении такой технологии можно организовать также поиск местоположения объекта на карте. Для этого используются установленные атрибуты. Найденный объект на карте помечают символом, предварительно определенным в системных параметрах геоинформационной системы.

Обратим внимание, что геоинформационное моделирование – это полная система для моделирования объектов линейного типа (например, железной дороги). Главной особенностью данного подхода является то, что с его помощью можно моделировать объекты на концептуальном уровне, а также развить модель до уровня технологий. Специфика геоинформационного моделирования заключается в следующем:

1. Во-первых, в возможности визуального моделирования.
2. Во-вторых, в подключения когнитивной области к моделированию.

Благодаря геоинформационному моделированию обеспечиваются все необходимые условия для проектирования и моделирования пространственных объектов, не обеспечиваемых иными системами моделирования (к примеру, системой автоматизированного проектирования). Подчеркнем, что благодаря геоинформационному моделированию полностью решается задача размещения и проектирования объекта. Соответственно, этим обеспечивается возможность сочетания имитационного моделирования при проведении анализа проекта в качестве конструктивной модели с реализацией проекта на практике. Это исключает любую возможность семантического разрыва между теорией проектирования и реализацией на практике.

Дополнительным преимуществом геоинформационного моделирования в ходе проектирования железнодорожных путей выступает возможность формирования пространственной основы для дальнейшего наложения проекта. Таким образом, геоинформационное моделирование – основа пространственного проектирования. При этом существует немало возможных направлений развития

данной сферы, чем и определяются дальнейшие перспективы использования геоинформационного моделирования.

#### **2.4. Геоинформационное моделирование трехмерных объектов транспортной инфраструктуры**

3D-моделирование определяется как сочетание дизайна, геометрии и математики. При помощи специальных программ создаются файлы, представляющие собой инструкции для 3D-принтеров. Данная технология используется для разработки пространственной формы объекта либо поверхности в трех измерениях. Проект, созданный в результате 3D-моделирования, называется 3D-моделью. Разработка проекта осуществляется с использованием специализированного программного обеспечения и технологического оборудования [77]. В некоторых случаях 3-хмерность отображается в виде 2-мерного изображения. Этот процесс называется «3D-рендеринг».

Создание 3-мерных моделей и проектов осуществляется двумя способами – в ручном или автоматическом режиме. Технологическое (ручное) моделирование подготовки геометрических данных для 3-мерной машинной графики можно сравнить с созданием скульптуры. Технологическое оборудование и программное обеспечение для трехмерного моделирования представляет собой класс компьютерной программы для 3D-графики. Некоторые из программ данного класса широко используются разработчиками моделей для создания 3D-моделей. К слову, большинство трехмерных моделей создаются на основе двумерных изображений. С помощью трехмерных моделей может быть описано физическое тело (реальный объект). С этой целью используется набор точек в 3D-пространстве. Эти точки соединены разными геометрическими объектами (изогнутыми поверхностями, линиями, треугольниками).

Любой 3D-проект может рассматриваться в качестве набора геоданных. Этот набор создается алгоритмически либо вручную (например, с использованием геоинформационной системы или системы автоматизированного

проектирования). Поверхность 3D-проекта дополнительно может быть определена посредством наложения паттернов или текстур. 3D-модели и 3D-проекты достаточно широко используются во многих сферах: в научной отрасли (высокодетализированные модели химических соединений); индустрия компьютерных игр (активы для видеоигр и компьютерных игр); киноиндустрия (объекты и персонажи для реальных и анимационных движущихся изображений); медицинская сфера (детальные модели органов); инженерное сообщество (проекты конструкций, транспортных устройств); архитектурная индустрия (демонстрация вместо традиционных архитектурных моделей) [78, 79].

В течение последних нескольких десятилетий научным сообществом строятся геологические 3D-модели. Сегодня построение таких моделей вошло в обычную практику. Трехмерные модели могут выступать в качестве основы для физических устройств, разработанных на станках с ЧПУ или принтерах 3D. Моделирование оболочки или пространственного тела приводит к созданию объектов, обладающих идентичными функциями. Отличия между ними состоят только в методах создания и редактирования. Некоторые отличия проявляются в типах приближения между моделью и реальным объектом. Модель оболочки не должна иметь никаких трещин или отверстий. Только в таком случае она будет полностью идентична реальному объекту. В качестве наиболее распространенного представления выступают поверхности деления и полигональные сети. Преобразование представлений объектов в многоугольное представление сферы – тесселяция. Данный шаг обязателен при рендеринге на основе многоугольников. Сетки из треугольников достаточно популярны, так как могут с легкостью быть представлены в линейной или растровой форме. При этом поверхность, которая описана каждым треугольником, является плоской. Соответственно, совокупность в каждом из случаев будет выпуклой [80].

К числу задач геоинформатики относится 3D-моделирование пространственных объектов, являющееся видом геоинформационного моделирования. Данная задача имеет тесную взаимосвязь с пространственными моделями [27, 81-84].

Представление объекта в виде плоской карты не отражает всей специфики 3D-объекта и не позволяет соотнести его с реальной местностью. Трехмерное представление дает возможность рассматривать объект в виртуальной реальности [85-87], в виде пространственной модели и в условиях дополненной реальности. Это одно из главных преимуществ 3D-моделирования. В условиях виртуальной реальности обеспечивается не только осуществление имитационного моделирования, но также выбор оптимального расположения проектируемых объектов.

3D-моделирование – одно из важнейших направлений развития геоинформационных систем и технологий. Благодаря 3D-моделированию обеспечивается возможность представления реальной местности, объектов и их взаимного расположения.

На рисунке 2.4 приведена технологическая схема 3D-моделирования. В 3D-моделировании используется геометрическая и семантическая данная.

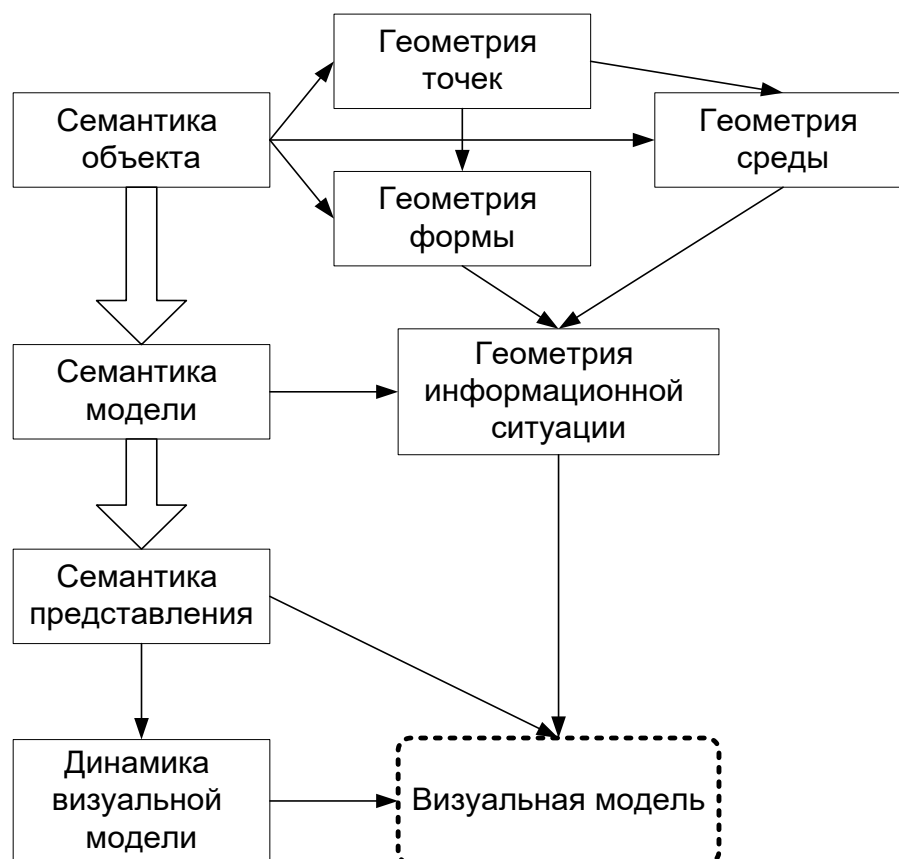


Рисунок 2.4. Схема трехмерного моделирования

На рисунке с помощью линий продемонстрирован процесс моделирования.

Крупные стрелки использованы для демонстрации потоков семантических данных. Создание геометрии точек происходит за счет сбора данных при помощи технических средств измерения. Создание семантики происходит за счет результатов когнитивных наблюдений, а ее формализация зависит от итогов построения семантической модели.

## **2.5. Информационные ситуации и информационные единицы при трехмерном моделировании**

Использование модели информационной ситуации для разработки локальной модели местности – основной принцип геоинформационного моделирования. Второй принцип заключается в использовании соответствующих информационных единиц при разработке инфраструктурных объектов и моделей объектов местности.

Методикой 3D-моделирования охватываются следующие основные этапы:

1. Этап первый: создание библиотеки с описанием информационных единиц.
2. Этап второй: работа по измерению объектов местности.
3. Этап третий: деятельность по построению проволочной модели объекта поверхности/местности.
4. Этап четвертый: внесение корректировок в измерения.
5. Этап пятый: разработка модели объекта.
6. Этап шестой: разработка покрытий 3D-объектов.
7. Этап седьмой: создание перспективных видов и точек зрения.

3D-моделирование по данным мобильного лазерного сканирования охватывает:

- разработку базовой библиотеки 3D информационных единиц;
- сканирование и проведение фотосъемки на местности;
- векторизация облака точек;
- создание облака точек местности;



- уравнивание измерений;
- разработка картографических ситуаций и сцен;
- разработка моделей 3D-объектов;
- создание перспективных видов и точек зрения.

Создание информационной модели объекта осуществляется с использованием разных информационных единиц. Они используются в качестве компонентов описания [88]. Идеи использования таких информационных единиц восходит к таким наукам, как программирование, логика и лингвистика. Любой язык (язык пространственной агрегации, информатики, карт, логики) использует алфавит в качестве совокупности информационных единиц [89-91]. Информационным единицам отводится ключевое значение в систематизации описания всех сфер. При этом данные единицы задаются совместно с синтаксисом их применения, а не сами по себе. Суть принципа таких единиц заключается в создании синтаксиса моделирования и установлении базисного набора информационных единиц в качестве алфавита языка моделирования. Данным принципом задается пространственный язык, а также обеспечивается логика и возможности проведения логического анализа.

При построении объекта на основе сканирования или измерений создается система информационных единиц (модель). При создании модели некоторые из первичных единиц могут быть исключены, а другие введены для обеспечения логики [92].

Важнейший принцип геоинформационного моделирования с использованием данных мобильного лазерного сканирования заключается в использовании 3D информационных единиц, обладающих однозначным смыслом.

Существенное отличие заключается во включении особого блока моделирования динамики ситуации. Данный блок охватывает определенные правила и является, по сути, главным звеном искусственного интеллекта. Следует отметить, что введение этих узлов в схему моделирования – отражение направления использования методов искусственного интеллекта (ИИ) [93]. Оно содействует применению методов ИИ в более широком виде. На практике 3D-

моделирование может использоваться в совокупности с прикладной реализацией построения 3D-моделей, которая будет описана на примере использования ГИС Карты 2011 [94].

Еще одно отличие между 3D-моделированием в системе автоматизированного проектирования и 3GD (трехмерным геоинформационным моделированием реальных объектов) заключается в том, что геоинформационная система способна функционировать в режиме САПР, т. е. в режиме чистого моделирования независимо от условий местности.

Целесообразно кратко остановиться на главных отличиях между геоинформационной системой и системой автоматизированного проектирования:

1. Во-первых, в трехмерном проектировании в качестве основы представления моделируемого объекта используется математическая модель. В геоинформационном проектировании трехмерных объектов такая возможность тоже существует, однако в дополнение к ней может быть применена дополнительная реальность.

2. Во-вторых, ключевая цель трехмерного проектирования заключается в разработке проекта объекта, а главной целью геоинформационного проектирования трехмерных объектов выступает демонстрация объектов в реальной среде с учетом пространственных отношений и их показом.

3. В-третьих, моделирование в системе автоматизированного проектирования базируется на использовании чистых проектных данных (геометрических или  $date-D$ ). В свою очередь, моделирование геоинформационной системы базируется на использовании геоданных ( $geodate-GD$ ), организованных и структурированных по-разному [19].

4. В-четвертых, в трехмерном проектировании используется только декартова (прямоугольная) система координат. В геоинформационном проектировании трехмерных объектов может использоваться больше координат (в зависимости от решаемого спектра задач). В последнем случае применению подлежат геоцентрические системы координат с целью показа кривизны планеты и обеспечения возможности отражения связи между объектами, расположенными

в разных местах.

5. В-пятых, в рамках обычного 3D-моделирования решаются локальные (местные) задачи построения объектов, не имеющих связи с реальными точками земной поверхности. В рамках геоинформационного трехмерного моделирования учитывается кривизна земной поверхности, а также дополнительные пространственные связи, обозначаемые такими терминами, как «геореференция» и «топология» [46, 55, 95].

## **2.6. Цифровые модели в геоинформационном моделировании**

В условиях геоинформационного моделирования обеспечивается решение задачи по разработке и выносу объекта в натуру. В отличие от системы автоматизированного проектирования, последнее является возможным благодаря наличию в распоряжении 3GD определенной совокупности пространственных моделей местности. Чаще всего речь идет о цифровой модели рельефа или местности. В рамках 3GD-проектирования обеспечивается возможность выбирать расположение объекта на модели до того, как он будет вынесен в натуру.

Под цифровой моделью понимается дискретная пространственная модель, используемая для описания реального размещения объекта транспортной инфраструктуры [177, 56]. Формируется цифровая модель в результате фотограмметрической съемки и измерительных геодезических работ (рисунок 2.5) [96].

Цифровая модель – это система 3D-координат точек пространственных объектов и поверхности Земли.



Рисунок 2.5. Фотограмметрические технологии сбора информации в геоинформатике

С точки зрения конструкции цифровая модель местности может рассматриваться в качестве информационной конструкции [53, 97, 98]. Если в нее вводятся фактические параметры, то ею описываются конкретные участки рельефа и местности. Обратим внимание, что моделирование рельефа с использованием цифровой модели местности в моделировании выступает в качестве средства обоснования проектных работ и проекта.

Математическая модель местности или рельефа базируется на выявлении функциональной зависимости:

$$Z=f(X,Y), \quad (2.15)$$

Данная функциональная зависимость выстраивается на следующей эмпирической связи:

$$NN(Z_i, Y_i, X_i), \quad (2.16)$$

где  $NN$  - код  $i$ -ой точки.

Данная зависимость представляет собою или совокупность плоскостей, или набор поверхностей криволинейного типа, которые стыкуются между собой по определенным границам. В первом случае взаимосвязь между смежными точками разрабатываемой модели может быть описана с помощью уравнений плоскостей, проходящих через каждые 3 смежные точки модели [80]. Таким образом, рельеф местности задается множеством поверхностей разной кривизны или пересекающимися поверхностями. Главным отличием пространственной модели от цифровой модели является большая выразительность и включение в нее дополнительных семантических данных.

## 2.7. Принципы трехмерного геоинформационного моделирования

В настоящем параграфе будут кратко проанализированы принципы 3GD-моделирования. В результате создается модель изображения объемного объекта. Рассмотрим ключевые этапы выполнения:

Этап первый заключается в проведении инженерных изысканий и в сборе совокупности данных о местности (экологических, физических, геологических).

Этап второй заключается в сборе семантических и геометрических данных о реальных объектах местности, а также об условиях выноса моделируемого объекта в натуру.

Этап третий – сбор семантических и геометрических данных о разрабатываемом объекте и его функциональном значении.

Этап четвертый заключается в конструировании 3D-модели пространства (местности) для выноса в натуру разрабатываемого объекта.

Этап пятый предполагает разработку сцен, т. е. наборов пространственных

ситуаций на местности.

Этап шестой предполагает текстурирование. Под текстурированием подразумевается назначение поверхности трехмерной модели процедурных или растровых текстур. Этим обеспечивается передача основных свойств материалов: шероховатость, отражения, прозрачность. Именно данная процедура и является главным различием между цифровой и пространственной моделью.

Этап седьмой заключается в установке источников света и их настройке. Данная процедура также позволяет отграничить цифровую модель от пространственной. Иногда для того, чтобы передать динамику процесса или объекта используется анимация.

Этап восьмой предполагает компьютерную визуализацию. Речь идет о построении вида проекции в согласии с используемой физической моделью.

3GD-моделирование используется для достижения таких целей:

1. Во-первых, для 3D-моделирования пространственных процессов.
2. Во-вторых, для 3D-моделирования территорий.
3. В-третьих, для 3D-моделирования ситуаций с большим количеством объектов.
4. В-четвертых, для 3D-моделирования объектов на поверхности земли.

Реализация 3GD-моделирования на практике базируется на создании приложений. Например, в ГИС Карта 2011 реализация 3GD-моделирования предполагает разработку приложений, включенных в состав ГИС Карта 2011:

- разработка и печать презентаций;
- измерения по 3D-карте;
- редактор 3D-карты;
- разработка 3D-модели;
- редактор библиотеки 3D-объектов;
- редактор классификатора;
- редактор 3D-карты [94].

Для того, чтобы решить задачу конструирования (т. е. построить 3D-модель местности), используют векторную карту, классификатор карты,

триангуляционную модель рельефа, матрицу высот, библиотеку 3D-моделей объектов, цифровые фотографии объектов и местности.

В процессе решения задачи визуализации (подготовки к отображению 3D-карты), векторная карта анализируется на предмет полноты кодового состава. Для обеспечения реалистичности объекта на 3D-карте его поверхность должна быть покрыта текстурами. Другими словами, речь идет о необходимости решения задачи по текстурированию. Под текстурой понимается растровое изображение поверхности объекта. Текстуры формируются на основе цифровых изображений. Данная процедура является существенным отличием цифровой модели от пространственной. При фотосъемке объектов большого размера на поверхности объекта могут быть выделены повторяемые части (затем эти части фотографируются).

Геоинформационное моделирование – это сложная технологическая система или системная целостность. Благодаря данному типу моделирования обеспечивается решение таких задач:

- задачи по моделированию объектов;
- задачи по моделированию выноса проекта в натуру;
- задачи по выносу проекта в натуру;
- задачи по проведению контроля за результатами моделирования.

Рассматриваемая технология может применяться в качестве самостоятельной. Обеспечиваемые ею результаты не достигаются ни при каких других методах моделирования. Являясь сложной технологической системой, геоинформационное моделирование позволяет выделять системные сущности в качестве самостоятельных результатов и этапов всего комплекса.

В качестве основы геоинформационного моделирования выступают особые данные – геоданные. При этом отличием рассматриваемой технологии моделирования от информационного моделирования является использование пространственных моделей в качестве моделей реальности, а не абстрактных или параметрических моделей.

Таким образом, благодаря геоинформационному моделированию обеспечивается решение задач проектного характера, решение которых в рамках систем автоматизированного проектирования является невозможным. При этом в рамках геоинформационного моделирования решаются не только задачи по моделированию, но и по размещению проекта. Серьезное преимущество рассматриваемого метода моделирования заключается в создании 3D-карт и 3D-моделей. Впоследствии они станут архивными документами и будут выступать в качестве основы для мониторинга и корректировки проекта. Сегодня данному направлению уделяется особое значение.

## **2.8. Применение пространственных информационных единиц для моделирования объектов транспортной инфраструктуры**

В процессе эксплуатации функционирующих объектов транспортной инфраструктуры должен проводиться геомониторинг или пространственный мониторинг. Процесс выноса проектов новых объектов транспортной инфраструктуры в натуру требует геодезического обеспечения или пространственного сопровождения. Измерение габаритов объектов при перепроектировке осуществляется с помощью таких методов, как мобильное лазерное сканирование, фотограмметрия, геодезия. Необходимость получения и применения пространственной информации приводит к необходимости использования геоинформатики для решения задач моделирования и контроля объектов транспортной инфраструктуры. В свою очередь, это приводит к необходимости применения моделирования. Моделирование объектов транспортной инфраструктуры при выносе в натуру и контроле использует пространственную информацию. В современной науке и технологиях моделирование пространственных объектов осуществляют с использованием сложных или составных пространственных моделей. Каждая сложная модель включает в себя более простые, состоящие, в свою очередь, из элементарных (информационных) моделей.



В рамках современного пространственного моделирования используется ряд методов. Основные из них:

- мобильное лазерное сканирование;
- методы геоинформатики;
- методы геодезии [99].

Мобильное лазерное сканирование – синтез геодезических и фотограмметрических технологий [100]. В связи с широким применением технологий геоинформатики в решении задач транспорта в геоинформатике возникло специальное направление – геоинформатика транспорта. В рамках данного направления используется несколько видов моделирования [101]:

- семантическое;
- виртуальное;
- визуальное;
- когнитивное пространственное;
- геометрическое;
- цифровое;
- информационное;
- пространственное;
- геоинформационное [25, 28, 51, 102-109, 177].

Практически все эти виды моделирования могут применяться при проектировании и моделировании объектов транспортной инфраструктуры. В качестве основного вида моделирования в геоинформатике выступает геоинформационное моделирование. Основной вид моделирования при правке и мониторинге железной дороги – геометрическое. Комбинация данных видов моделирования производится посредством использования информационных единиц. Большую роль при этом играет общая технология пространственного моделирования, сущность которой заключается в разработке пространственной модели, ее преобразовании и использовании в решении задач прикладного характера.

Информационные единицы используются при наблюдении и

проектировании линейных объектов транспортной инфраструктуры. Следует обратить внимание, что пространственные модели объектов транспортной инфраструктуры относятся к одному из трех классов пространственных объектов – площадным, линейным, точечным. Данные классы приняты в геоинформатике и картографии. Ими обеспечивается совместимость пространственных моделей с картографическим представлением. Моделирование линейных объектов осуществляется в виде полилиний, кривых и прямых линий. Геометрические характеристики таких моделей: координаты промежуточных, начальных и конечных точек; тип линии; ширина начальной и конечной точки; ширина (для объектов, которые имеют постоянную ширину); протяженность. Чаще всего подобные модели составные. Это значит, что они включают в себя несколько более простых, т. е. информационных моделей [110-112]. Соответственно, эти простые (информационные) единицы выступают в качестве основы моделирования, сравнения и анализа разных моделей.

Идея применения информационных единиц на практике восходит к логике и лингвистике. Информационные единицы играют роль элементов описания любой структурированной системы. Информационные единицы задаются совместно с синтаксисом их построения и применения. Основной информационной единицы выступает слово. При этом логика информационных единиц – это логическая связка. В качестве более сложной информационной единицы выступает логическая подформула и формула (аналоги слова и предложения в логике).

Пиксель – информационная единица, используемая при обработке графических изображений. В качестве более сложных информационных единиц выступают: иконические символы, пиктограммы, шаблоны, тайлы, паттерны. Основные информационные единицы в геоинформатике и проектировании – графические примитивы (прямоугольник, треугольник, линия). Треугольник – пространственный симплекс.

В информационном взаимодействии информационные единицы используются довольно широко [113]. В теории вычислений используются такие информационные единицы, как цикл, шаг и процесс. При этом информационные

единицы бывают нескольких видов: прескриптивные (процессуальные) и дескриптивные (описательные) [114]. В теории информационного поля информационным единицам отводится роль элементов данного поля [115-117]. В большинстве научных направлений информационные единицы используются несмотря на отсутствие общей теории. В картографии информационные единицы образуются совокупностью условных знаков (картографических). В топологии в качестве информационных единиц выступают ребра и вершины. В теории систем используются неделимые части элементов, являющиеся примером информационных единиц.

Следует отметить, что объекты транспортной инфраструктуры тоже включают в себя информационные единицы. В качестве основы моделирования таких объектов выступает пространственный анализ и моделирование. В основу классификации реальных объектов заложено два вида классификаций – содержательная и формальная. И одна, и другая классификация представляют собой формализованные описания [7]. При формальной классификации используются те классификационные системы, которые придуманы человеком, а при содержательной – закономерности реального мира. В основу формализации пространственного моделирования заложены законы лингвистики, алгебры, геометрии, формальной логики и элементы теории множеств. В качестве объектов пространственного моделирования выступают пространственные явления и объекты. Результат пространственного моделирования – пространственные модели (трехмерные, ареальные, линейные, точечные).

Формализованное описание модели при моделировании происходит с использованием специального аппарата. Формализованное описание позволяет сопоставить и проанализировать исследуемые элементы явлений, объектов и взаимосвязей между ними. Пространственное моделирование – технологические. В отличие от исключительно теоретических методов моделирования пространственное моделирование взаимодействует с технологиями: геоинформационными системами, базами данных, технологиями предобработки, измерений, корректировки данных. В ходе технологического моделирования

используются объекты, один из которых – объект моделирования, а все остальные таковым не являются. Поэтому с целью пространственного моделирования объект моделирования выделяется среди других, не задействованных в моделировании. Эта процедура носит название «селекция» моделируемого объекта.

Для формального описания выделенный объект обозначается символами  $AP$ . Счетное множество обозначается символом  $O$ :

$$AP \in O \quad (2.17)$$

В ходе пространственного моделирования используется шаблон  $S$ . Объект транспортной инфраструктуры, модифицируемый на основе исходного объекта  $AP$ , обозначается символом  $M$ .

При таком формальном подходе пространственное моделирование может иметь несколько видов. Формулы (2.18), (2.19) и (2.20) содержат описание объектов линейного типа:

$$AP \wedge R1 \rightarrow M \quad (2.18)$$

$$AP \wedge R2 \wedge S \rightarrow MS \quad (2.19)$$

$$Iu1 \wedge Iu2 \wedge \dots \wedge IuN \wedge R3 \rightarrow M(Iu) \quad (2.20)$$

При объединении пространственных отношений с моделью первичного объекта ( $R1$  и  $AP$ ) создается новый объект, точнее его модель –  $M$  (2.18).

То же самое мы видим и в формуле 2.19: при объединении пространственных отношений с моделью шаблона и моделью первичного объекта ( $R2$  и  $AP$ ) создается новый объект, точнее его модель –  $MS$ .

Формула (2.20): при объединении пространственных отношений с полной совокупностью информационных единиц ( $R3$  и  $Iu$ ) создается новый объект, точнее его модель –  $M(Iu)$ .

При применении информационных единиц обеспечивается возможность установления структуры объекта. Для объектов линейного типа характерным является индивидуальное моделирование. С этой целью привлекаются математические операторы и аппарат математической логики.

На современном этапе серьезным значением обладают такие линейные объекты транспортной инфраструктуры, как железнодорожные пути,

автомобильные дороги, линии электропередач, контактная сеть. Данными объектами отображаются линейные геоинформационные модели, характеризующиеся следующими атрибутивными характеристиками: срок эксплуатации; объем перевозок; региональное значение; экономическое значение; оценка риска; связанность с иными объектами; допустимая максимальная скорость; загруженность; пропускная способность; износ [52].

Возможности, обеспечиваемые геоинформационным моделированием и геоинформатикой, в полной мере подпадают под решение задач по проектированию линейных объектов транспортной инфраструктуры.

Удобной формой описания для моделей площадного типа выступает теоретико-множественный формализм. Ниже показано описание данного вида моделирования:

$$AA1 \cup AA2, = Mu \quad (2.21)$$

$$AA1 \cap AA2, = Mi \quad (2.22)$$

$$AA1 - AA2, = M \quad (2.23)$$

$$Iiu1 \wedge Iiu2 \wedge \dots IiuN \wedge R4 \rightarrow M(Iiu) \quad (2.24)$$

В соответствии с формулой (2.21), на основе ареальной модели объектов  $AA1$  и  $AA2$ , формируется принципиально новая модель –  $Mu$  (объединение первичных моделей). При этом количество первичных моделей может быть совершенно любым.

Согласно формуле (2.22), на основе ареальной модели объектов  $AA1$  и  $AA2$  формируется модель объекта  $Mi$  (пересечение первичных моделей). Как и в первом случае, количество первичных моделей ничем не ограничивается.

Формула (2.23) означает формирование модели нового объекта  $Mu$  как разности первичных моделей на основе ареальной модели объектов  $AA1$  и  $AA2$ .

Согласно формуле (2.24), на основе полной совокупности ареальных информационных единиц  $Iiu$  и пространственных отношений  $R4$  между ними формируется модель нового объекта  $M(Iiu)$ .

Применительно к 3D-моделям в качестве удобной формы описания выступает 3D-формализм:

$$IIIu1 \wedge IIIu2 \wedge \dots IIIuN \wedge R5 \rightarrow M3D(IIIu) \quad (2.25)$$

Формула (2.25) означает, что на основе полной совокупности трехмерных информационных единиц  $IIIu$  и пространственных отношений  $R5$  между ними формируется модель нового 3D-объекта  $M3D(IIIu)$ .

3D-моделирование определяется как сочетание дизайна, геометрии и математики. При помощи специальных программ создаются файлы, представляющие собой инструкции для 3D-принтеров. Данная технология используется для разработки пространственной формы объекта либо поверхности в трех измерениях. Проект, созданный в результате 3D-моделирования, называется 3D-моделью. Разработка проекта осуществляется с использованием специализированного программного обеспечения и технологического оборудования. В некоторых случаях 3-хмерность отображается в виде 2-мерного изображения. Этот процесс называется «3D-рендеринг» [118, 119].

Большинство трехмерных моделей создаются на основе снимков 2D. С этой целью используется набор точек в 3D-пространстве. Эти точки соединены разными геометрическими объектами (изогнутыми поверхностями, линиями, треугольниками). Любой 3D-проект может рассматриваться в качестве набора геоданных. Этот набор создается алгоритмически либо вручную (например, с использованием геоинформационной системы или системы автоматизированного проектирования). Поверхность 3D-проекта дополнительно может быть определена посредством наложения паттернов или текстур. 3D-модели и 3D-проекты достаточно широко используются во многих сферах. Они используются инженерным сообществом в качестве проектов транспортных конструкций и сетей, новых устройств и т. д.

При моделировании оболочки или пространственного тела создаются модели и оболочки реальных объектов. Они различаются между собой особенностями создания, редактирования и использования, а также тем, какие приближения существуют между реальностью и моделью. Модель оболочки не должна иметь разрывов или пустых мест. В таком случае модель будет полностью соответствовать реальному объекту. Полигональные сетки (полигоны Вороного-

Делоне или Тиссена) – наиболее распространенное представление [80]. Представление объектов (координаты средних точек сфер и точек на их окружности) в многоугольное представление сферы носит название «тесселяция» [120, 121]. Популярность сеток из треугольников объясняется тем, что их с легкостью можно представить в линейной или растровой форме. Поверхность, которую описывает каждый из треугольников, является плоской. Соответственно, совокупность всегда будет выпуклой. Отметим, что представления полигонов используются не в каждом методе визуального представления. В таких случаях тесселяция не вовлекается в переход от абстрактного представления к визуализированным сценам.

3D-моделирование пространственных объектов – естественная задача геоинформатики и разновидность геоинформационного моделирования, связанная с проектированием пространственных моделей [48].

При представлении объектов транспортной инфраструктуры в виде плоских двумерных карт не обеспечивается возможность отражения специфики 3D-объекта и его соотнесение с реальной местностью и 3D-объектами [38]. 3D-представление позволяет рассматривать объект транспортной инфраструктуры в виртуальной, дополненной и смешанной реальности [122-124].

Это одно из главных преимуществ 3D-моделирования. Виртуальная реальность обеспечивает возможность осуществления имитационного моделирования и выбора оптимального расположения моделируемого объекта. В условиях виртуальной реальности решаются задачи размещения пространственных объектов транспортной инфраструктуры на уровне когнитивного моделирования. 3D-моделирование – важнейшее направление в развитии геоинформационных систем и технологий. Благодаря ему обеспечивается возможность представления реальной местности, объектов окружающей действительности и их взаимного расположения.

На рисунке 2.6 приведена технологическая схема моделирования. В ходе моделирования используются геометрические и семантические данные.

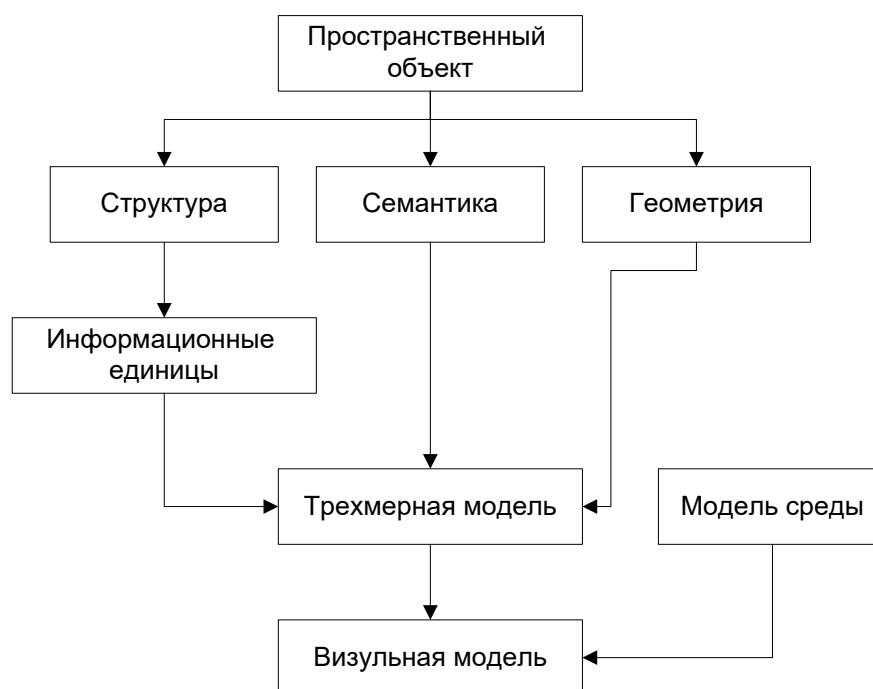


Рисунок 2.6. Схема моделирования с использованием информационных единиц

На рисунке с помощью линий показаны основные процессы моделирования. Создание геометрии происходит посредством сбора данных с использованием технических средств измерения. При этом создание семантики происходит путем использования когнитивных наблюдений, а ее формализация реализуется за счет построения семантической модели.

Использование модели информационной ситуации для разработки локальной модели местности – основной принцип геоинформационного моделирования. Второй принцип заключается в использовании соответствующих информационных единиц при разработке инфраструктурных объектов и моделей объектов местности. Методикой 3D-моделирования охватываются следующие основные этапы:

8. Этап первый: создание библиотеки с описанием информационных единиц.
9. Этап второй: работа по измерению объектов местности.
10. Этап третий: деятельность по построению проволочной модели объекта поверхности/местности.
11. Этап четвертый: внесение корректировок в измерения.



12.Этап пятый: разработка модели объекта.

13.Этап шестой: разработка покрытий 3D-объектов.

14.Этап седьмой: создание перспективных видов и точек зрения.

3D-моделирование по данным мобильного лазерного сканирования охватывает: разработку базовой библиотеки 3D информационных единиц; сканирование и проведение фотосъемки на местности; векторизация облака точек; создание облака точек местности; уравнивание измерений; разработка картографических ситуаций и сцен; разработка моделей 3D-объектов; создание перспективных видов и точек зрения [125].

В формулах (2.20), (2.24) и (2.25) было показано, что при создании пространственной модели объекта транспортной инфраструктуры используются информационные единицы (в качестве структурированной модели). Соответственно, можно говорить еще об одной функции и качестве информационных единиц – о структуризации пространственной модели. Сущность метода информационных единиц заключается в установлении базисного набора информационных единиц как алфавита языка моделирования и в создании синтаксиса моделирования. Особенности данного принципа: установление пространственного языка, обеспечение логики и возможности логического анализа.

При построении объекта транспортной инфраструктуры путем сканирования или измерения происходит формирование логически структурированной модели как совокупности информационных единиц. При разработке модели одни исходные единицы могут исключаться, а другие – добавляться. Это необходимо для того, чтобы обеспечить логику и целостность моделирования. Следующий этап заключается в наполнении объекта содержанием и в окончательном семантическом моделировании участка или объекта в целом. Специфика 3D информационных единиц заключается в том, что они одновременно выступают в качестве и семантических, и пространственных информационных единиц. В отличие от информационных единиц семантического типа, обладающих определенным смыслом, графические информационные

единицы (эллипсы, линии, прямоугольники) не имеют четкого и однозначного смысла. Они могут обозначать принципиально разные объекты.

Информационные единицы находятся на хранении в библиотеке. Здесь же хранятся необходимые данные, отражающие степень детализации, объектовый состав, атрибутивное наполнение компонентов разрабатываемой модели. Отображение объектов осуществляется электронной библиотекой с соблюдением их высотного и планового положения, направления и конфигурации. Отдельные фрагменты библиотеки информационных единиц, используемые при моделировании объектов транспортной инфраструктуры, показаны на рис. 2.7.

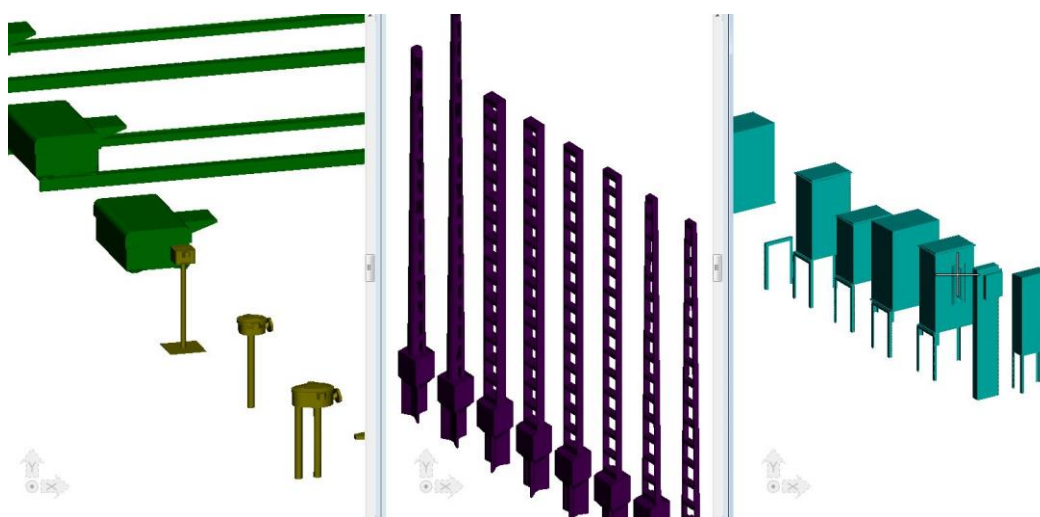


Рисунок 2.7. Информационные единицы

Суть принципа таких единиц заключается в создании синтаксиса моделирования и установлении базисного набора информационных единиц в качестве алфавита языка моделирования. Данным принципом задается пространственный язык, а также обеспечивается логика и возможности проведения логического анализа.

При построении объекта (основой является сканирование или измерение) происходит формирование логически структурированной модели как совокупности информационных единиц. При разработке модели одни исходные единицы могут исключаться, а другие – добавляться. Это необходимо для того, чтобы обеспечить логику и целостность моделирования. Следующий этап

заключается в наполнении объекта семантическим содержанием и в окончательном семантическом моделировании участка или объекта в целом. Специфика 3D информационных единиц заключается в том, что они выступают в качестве семантических информационных единиц [126]. В отличие от информационных единиц семантического типа, обладающих определенным смыслом, графические информационные единицы (эллипсы, линии, прямоугольники) [127] не имеют четкого и однозначного смысла. Они могут обозначать принципиально разные объекты.

Еще одно отличие между 3D-моделированием в системе автоматизированного проектирования и 3GD (трехмерным геоинформационным моделированием реальных объектов) заключается в том, что геоинформационная система способна функционировать в режиме САПР, т. е. в режиме чистого моделирования независимо от условий местности.

Целесообразно кратко остановиться на главных отличиях между геоинформационной системой и системой автоматизированного проектирования:

1. Во-первых, в трехмерном проектировании в качестве основы представления моделируемого объекта используется математическая модель. В геоинформационном проектировании трехмерных объектов такая возможность тоже существует, однако в дополнение к ней может быть применена дополненная реальность.

2. Во-вторых, ключевая цель трехмерного проектирования заключается в разработке проекта объекта, а главной целью геоинформационного проектирования трехмерных объектов выступает демонстрация объектов в реальной среде с учетом пространственных отношений и их показом.

3. В-третьих, моделирование в системе автоматизированного проектирования базируется на использовании чистых проектных данных (геометрических или data-D). В свою очередь, моделирование геоинформационной системы базируется на использовании геоданных (geodate-GD), организованных и структурированных по-разному.

4. В-четвертых, в трехмерном проектировании используется только

Декартова (прямоугольная) система координат. В геоинформационном проектировании трехмерных объектов может использоваться больше координат (в зависимости от решаемого спектра задач). В последнем случае применению подлежат геоцентрические системы координат с целью показа кривизны планеты и обеспечения возможности отражения связи между объектами, расположенными в разных местах на поверхности Земли.

5. В-пятых, в рамках обычного 3D-моделирования решаются локальные (местные) задачи построения объектов, не имеющих связи с реальными точками земной поверхности. В рамках геоинформационного трехмерного моделирования учитывается кривизна земной поверхности, а также дополнительные пространственные связи, обозначаемые такими терминами, как «геореференция» и «топология» [46, 55, 95].

### **Выводы по второй главе**

Анализом состояния объектов транспортной инфраструктуры предполагается необходимость их моделирования. Ключевой принцип пространственного моделирования таких объектов – использование трехмерных информационных единиц, описывающих семантику и геометрию. Если объекты транспортной инфраструктуры рассматривать в качестве пространственных систем, то информационные единицы будут их элементами. Геоинформационному и пространственному моделированию присуще такое свойство, как целостность. Поэтому оба вида моделирования – технологические системы. Для того, чтобы обеспечить структурность, пространственные модели обязательно должны использовать информационные единицы (трехмерные, ареальные, линейные). Основой технологии пространственного моделирования выступает геоинформационное моделирование. Главное преимущество геоинформационного моделирования заключается в том, что им учитываются такие важнейшие пространственные факторы, как геореференция и пространственные отношения. Благодаря геоинформационному моделированию обеспечивается получение цифровых моделей. Кроме того, геоинформационное моделирование

способствует получению геознания и пространственного знания. Геоинформационным моделированием поддерживаются качественные пространственные рассуждения и язык пространственной агрегации. Благодаря пространственному моделированию объектов транспортной инфраструктуры обеспечивается решение задачи размещения [128] на уровне плоского и пространственного моделирования с использованием информационных единиц. Важнейшим принципом, обеспечивающим связанность, структурность и сравнение пространственных моделей транспортной инфраструктуры, выступает концепция информационных единиц.

## ГЛАВА 3. Геоинформационное моделирование на основе данных МЛС

### 3.1. Альтернативные технологии

Установление соответствия между фактическим планом пути и проектным, а также определение величины необходимой рихтовки для исправления несоответствия требует проведения съемки железнодорожного пути. На закруглениях пути и в местах поворота трассы решаются три взаимосвязанные задачи: задача по вычислению размера рихтовки; задача по назначению параметров исправленной кривой; задача по съемке существующей кривой [185].

При съемке кривой проводятся измерения стрел изгиба рельсовой нити. Съемке предшествует подготовительный этап, в рамках которого кривая и отрезки прямых, которые к ней примыкают, и длина которых составляет 30-40 метров по наружной рельсовой нити, разбиваются на отрезки по десять метров при помощи рулетки. Если радиус кривой меньше 400 метров, то разбивка проводится на отрезки по пять метров [185].

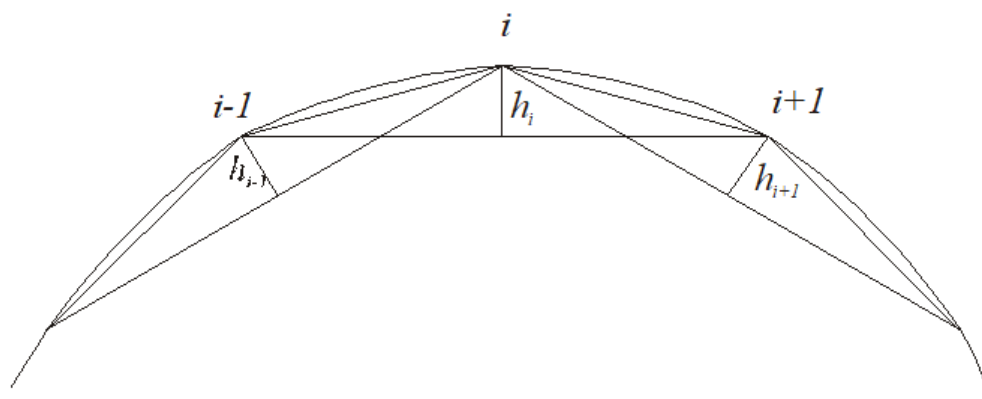


Рисунок 3.1. Съемка кривой измерением стрел изгиба

Точки, которые получены в результате разбивки, должны быть отмечены на внутренней стороне шейки рельса. Съемка проводится при помощи линейки и шнура. Как можно видеть из рисунка 3.1 [185], для проведения измерений в точке  $i$  шнур натягивается между двумя точками – точкой  $i-1$ , точкой  $i+1$  и линейкой (точность – 1 миллиметр). Затем проводится измерение стрелы  $h_i$ . Преимущество этого метода заключается в простоте и наглядности представления формы кривой.

Так, на переходной кривой стрелы изменяются неравномерно, а на круговой являются одинаковыми. В качестве существенного недостатка данного метода выступает то, что от начала кривой к ее концу накапливаются ошибки измерения, которые делают определяемые значения рихтовок положения рельсов ненадежными. Устранить недостаток можно путем дополнения проводимых измерений самостоятельными методами определения координат (к примеру, спутниковыми определениями). В связи с избытком количества измерений при их математической обработке встает необходимость в их уравнивании. Перейдем к рассмотрению методики такого уравнивания и оценки его воздействия на точность итогов съемки [185].

Методическая ошибка данного подхода поясняется на рис.3.2 и рис.3.3.

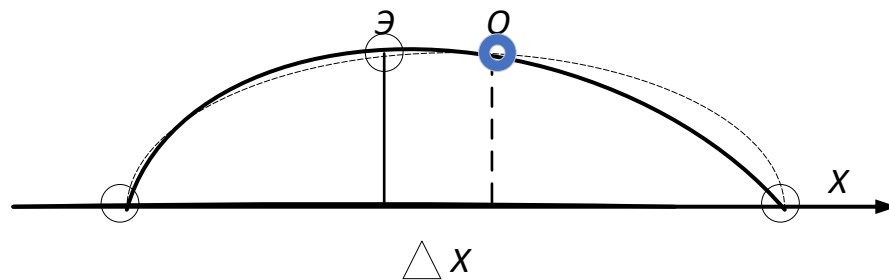


Рисунок 3.2. Ошибка, возникающая при асимметрии дуги

При асимметрии дуги (рис.3.2) при фактическом расположении дуги, показанном сплошной линией, расчет будет проводиться в предположении симметрии, то есть рассмотрении точек измерения как точек окружности. Если в реальности имеется косой эллипс (сплошная линия) и считается, что концы окружности совпадают с концами эллиптической дуги, то максимальное удаление до точки эллипса (Э) в расчетах будет восприниматься как максимальное удаление до точки окружности (О). Положение точки О не совпадает с положением точки Э и влечет линейную ошибку  $\Delta X$ . Соответственно, дуга выправки не совпадет с фактической линией.

При расчетах используют измеренные точки, показанные на рис.3.3.

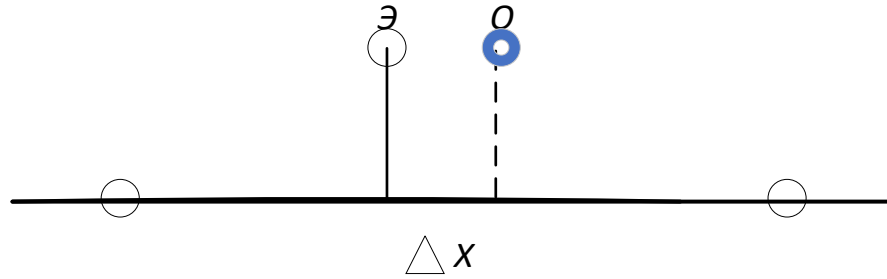


Рисунок 3.3. Измеренные точки, которые соответствуют ошибке асимметрии (рисунок 3.2)

При этом расчетной точкой будет точка  $O$ , показанная жирной окружностью. Если считать концы окружности свободными, то получится ситуация, изображенная на рис.3.4:

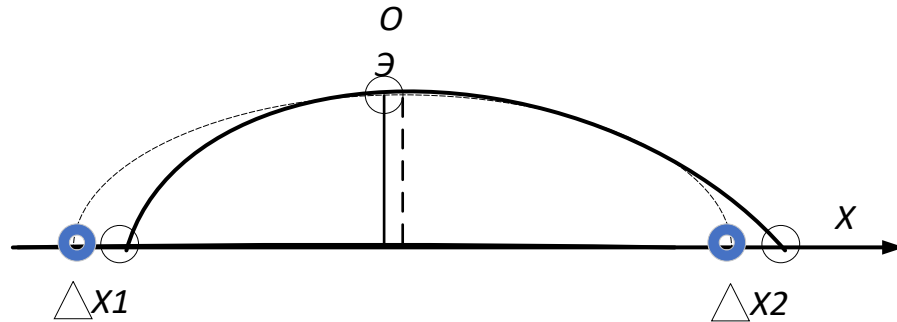


Рисунок 3.4. Ошибка, возникающая при свободных концах дуги

В этом случае положение точки  $O$  совпадает с положением точки  $\text{Э}$ , но появляются две линейные ошибки  $\Delta X_1$  и  $\Delta X_2$  на концах. Соответственно, дуга выправки не совпадет с фактической линией.

При расчетах выправки опираются на расчетные точки, показанные на рис.3.5:

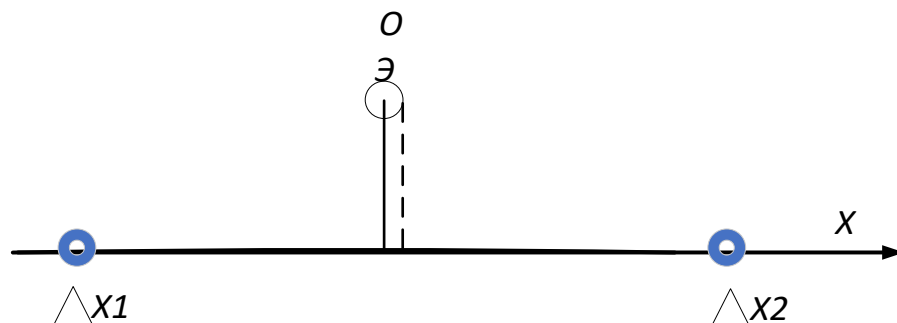


Рисунок 3.5. Расчетные точки при свободных концах дуги, содержащие



## линейные ошибки

При использовании спутниковых приемников измерения являются дискретными и содержат ошибки, обусловленные вибрациями антенны и приемников. При этом будет ситуация, приведенная на рис.3.6:

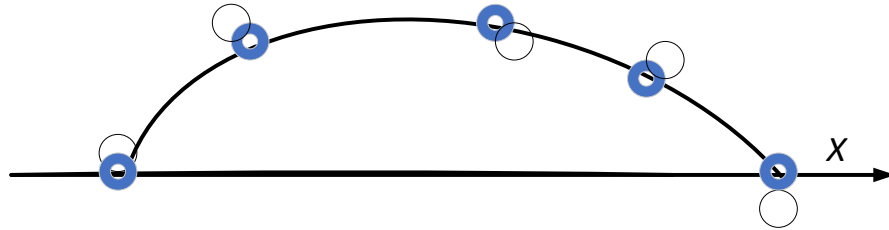


Рисунок 3.6. Одноразовое измерение пути спутниковыми приемниками

На рис.3.6. светлыми кружочками показаны измерения. Жирные кружочки показывают реальное положение точки на гладкой кривой. На рис.3.7. показана траектория измерения по спутниковым приемникам:

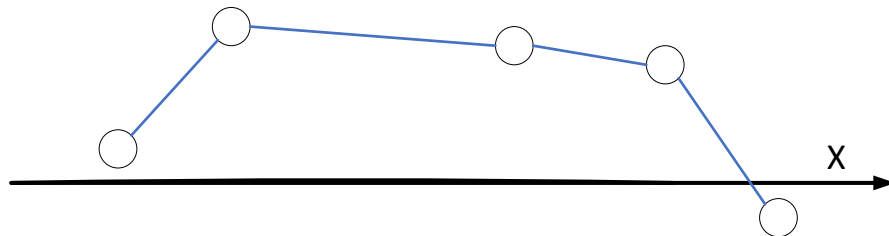


Рисунок 3.7. Нерегулярная линия (модель пути), получаемая по спутниковым измерениям

Рисунок 3.7. говорит о том, что спутниковые измерения в одну сторону содержат погрешности, не соответствуют гладкой кривой и требуют обязательной математической обработки. Таким образом, технологии, альтернативные МЛС, содержат погрешности разного характера.

### 3.2. Моделирование с использованием МЛС

Геоинформационное моделирование [25, 26, 28, 51] в настоящее время

представляет комплекс разных технологий. Появление нового технического решения создает новую технологию геоинформационного моделирования. Такой новой технологией, создающей новый вид геоинформационного моделирования, является лазерное сканирование.

При контролируемом отклонении лазерных лучей речь идет о лазерном сканировании. В процессе сканирования 3D-объектов данная технология предполагает сочетание лазерного дальномера и управляемого движения лазерными лучами. Измеряя расстояние во всех направлениях, сканерный аппарат фиксирует форму поверхности объектов. При разработке конечной 3D-модели используется когнитивное смешивание или комплементарное совмещение нескольких проектируемых моделей поверхности [129-134].

Технология мобильного лазерного сканирования – это технология лазерного сканирования с подвижных (мобильных) объектов (автотранспорт или железнодорожный транспорт). Технологию МЛС на транспорте используют для съемки инфраструктурных коридоров [135], в т. ч. силовых, трубопроводных, железнодорожных и автомобильных линий. В иностранной практике выделяется два понятия: транспортный и инфраструктурный коридор [136-139]. Под транспортным коридором понимается технологически сложная транспортная система, которая концентрирует телекоммуникации и транспорт общего пользования (трубопроводный, морской, автомобильный, железнодорожный) на установленных направлениях. Инфраструктурным коридором называется связка инфраструктуры, связывающая более двух дорожных или городских зон [136-139]. Другими словами, инфраструктурный коридор является пространственной зоной для транспортного коридора, представляющего собой достаточно сложную в технологическом плане систему.

Согласно классификации, мобильное лазерное сканирование (МЛС) входит в число методов дистанционного зондирования. В широком понимании дистанционное зондирование рассматривается как получение с помощью любых неконтактных методов данных об объектах на земной поверхности и в недрах планеты [140-142]. Данные методы применяются в радиотехнике, оптике,

геодезии, фотограмметрии, геофизике, геологии. В узком понимании метод дистанционного зондирования земной поверхности нередко связывают исключительно с космическим ДЗ. Вместе с тем, существует четкая тенденция интеграции методов космического ДЗ с методами геоинформатики. Обуславливается это интеграционными возможностями, присущими геоинформатике [40-41, 52, 143-144]. МЛС может рассматриваться в качестве интегрированной технологии фотограмметрии и геодезии либо в качестве новой геоинформационной технологии [48].

МЛС представляет собой дистанционный метод измерения, когда лазерный луч используют в двух режимах. Первый режим - это режим лазерного измерителя расстояний. Второй режим – режим угловой фиксации луча подобно геодезическим угловым измерениям. Оба режима используют совместно для определения 3-мерного положения точки на поверхности моделируемого объекта. При многократном повторении процесса сканирования поверхности, лазерным сканером формируется так называемое «облако 3D точек». Такое облако – это модель, имеющая форму и размер реального объекта. Его можно передать в компьютер с целью обработки и последующего визуального моделирования [15, 37, 145].

При геоинформационном моделировании огромным значением обладает создание информационной модели ситуации. По сути, это главное отличие моделирования при использовании мобильного лазерного сканирования от стандартного моделирования, когда о ситуации ничего не сказано [59]. Описание информационной модели ситуации осуществляется при помощи информационных единиц. В таком случае она выступает в качестве аналога цифровой модели. Описать информационную ситуацию можно при помощи совокупности слабо связанных параметров. Т. е. информационные единицы в данном случае не нужны. Соответственно, речь в данном случае идет о подобии аналоговой модели.

Наиболее распространенной процедурой построения ситуации является объединение объектов с учетом их пространственных связей и отношений. Эту

процедуру удобно использовать как теоретико-множественную операцию. Данная разновидность моделирования описывается посредством теоретико-множественного отношения объединения и не представляет никакой сложности при компьютерной реализации:

$$(O1, R1, Con1) \cup (O2, R2, Con2) \cup (Ok, Rk, Conk) \cup DTM \rightarrow SIS \quad (3.1)$$

В выражении (3.1)  $k$  - число исходных объектов, находящихся в ситуации,  $Ri$  – пространственные отношения объекта с другими объектами в ситуации,  $Coni$  - пространственные связи объекта с другими объектами в ситуации.  $DTM$  – цифровая модель поверхности для данной ситуации,  $SIS$  – пространственная информационная ситуация. Из этого вытекает важное преимущество пространственной информационной ситуации. Для нее требуется небольшая цифровая модель, что уменьшает расчеты и повышает оперативность анализа.

Информационным соответствием модели пространственной информационной ситуации является облако точек.

Исходную модель облака точек можно просматривать в псевдоцветах или в реальном цвете. МЛС обеспечивает быструю съемку удаленных поверхностей. Данные МЛС можно связать с 3D моделью или совместить с планами топографических съемок, а также разрезами.

Мобильное лазерное сканирование предполагает проведение полевого сбора данных, применяемого при использовании фотограмметрических методов сбора данных и обработки видеоинформации [146-148]. В рамках пространственного анализа мобильное лазерное сканирование проводит ситуационный пространственный анализ [149-151]. С точки зрения информационного аспекта рассматриваемая технология использует модель информационной ситуации [59, 152, 153-156]. С позиции цифровизации мобильное лазерное сканирование – цифровая технология [39, 157]. С позиции координации технология МЛС способствует решению пространственных задач по определению координат объектов ж/д транспорта [158]. С точки зрения семантического моделирования мобильное лазерное сканирование позволяет исследовать не только отдельный объект, но и его семантическое окружение [44] для уточнения его содержания. В

аспекте моделирования транспортной инфраструктуры МЛС является специфическим геоинформационным моделированием, применяемым при проектировании линейных объектов. В аспекте проектирования МЛС поддерживает проектные решения [48, 159] и помощь в выносе моделируемого объекта в натуру. МЛС применяют в мониторинге пространственных объектов. С этих позиций технология мобильного лазерного сканирования может рассматриваться в качестве вида геотехнического мониторинга [160]. Являясь технологией управления, мобильное лазерное сканирование широко используется в многоцелевом управлении. Оно выступает в качестве инструмента поддержки принятия решений. Кроме того, мобильное лазерное сканирование – один из компонентов системного и информационного управления [161-167]. Являясь научным методом, мобильное лазерное сканирование – инструмент формирования картины мира и основа получения пространственных знаний [33, 36, 60].

### **3.3. Технологическая реализация МЛС**

На рисунке 3.8 показана технологическая реализация мобильного лазерного сканирования. Общим технологическим решением рассматриваемого метода охватывается несколько этапов.



Рисунок 3.8. Технология геоинформационного моделирования с использованием МЛС

*Монтаж мобильной сканирующей системы.* Перед тем, как начать работы по МЛС на участке Северо-Кавказского железнодорожного пути, на крыше ж/д автотрисы была установлена система мобильного сканирования RIEGL VMX-450. Для крепления сканера использовалась предварительно сваренная металлическая платформа.

На рис.3.9 показан монтаж сканирующей системы.



Рисунок 3.9. Система мобильного сканирования

*Инициализация мобильной сканирующей системы.* В ходе работы используются данные инерциальной и глобальной навигационной системы – INS и GNSS. Для получения точных INS и GNSS данных до непосредственного лазерного сканирования участка железнодорожного пути проводится инициализация. Ее сущность состоит в приведении двух блоков системы мобильного лазерного сканирования (INS/GNSS) в рабочее состояние. Инициализация проводится в два этапа:

1. Первый этап: измерение данных глобальной навигационной системы в статическом режиме. Длительность этапа – 5-10 минут. На этом этапе система МЛС находится в состоянии покоя.
2. Второй этап: перемещение на расстояние от километра с попеременным торможением и набором скорости. Длительность этапа – 35-40 минут. Система МЛС включена.

*Мобильное лазерное сканирование.* Процедура сканирования проводится при помощи современной системы мобильного сканирования RIEGL VMX-450. Данная система включает шесть широкоугольных камер, два сканера, вычислительный, навигационный и инерциальный блок. Частота фотографирования широкоугольной камеры – до 18 кадров в сек. Разрешение снимков 2452×2056 пикселей. В основу системы мобильного сканирования заложено применением лазерного дальномера импульсного действия.

Процедура МЛС участков железной дороги и инфраструктурных объектов

проводилась с применением системы мобильного сканирования RIEGL VMX-450. Данная система была предварительно закреплена на крыше автотрисы. Сканирование проводилось со скоростью до 60 км/ч одновременно в двух направлениях – прямом и обратном. Частота сканирования составила 600 кГц. Вместе с тем, с проведением МЛС проводилась фотофиксация железнодорожного пути и инфраструктурных объектов с помощью шести камер, ориентированных в обоих направлениях (прямом и обратном) движения сканирующей системы. Частота фотосъемки – 12 кадров в секунду (два кадра в секунду для каждой камеры).

*Обработка данных МЛС.* После завершения работ по мобильному лазерному сканированию была проведена камеральная обработка данных. Она проводилась в два этапа:

1. Этап первый. На первом этапе была рассчитана траектория мобильного лазерного сканирования.
2. Этап второй. В рамках этого этапа был проведен вывод, конвертация, уравнение точек лазерных отражений и данных, полученных в результате фотосъемки.

Затем была проведена обработка комбинированной спутниковой инерциальной траектории совместно с ГНСС данными базовых станций.

*Обработка ГНСС траектории относительно базовых станций.* В рамках первого этапа траектория движения обрабатывается исключительно на основании данных, полученных в результате спутниковых наблюдений. Спутниковые данные привязывались относительно базовых станций, которые функционировали при сканировании. Обработка проводилась в системе координат WGS84. Траектория рассчитывается в двух направлениях одновременно – в прямом и обратном. По каждому отдельному временному промежутку подобраны наиболее оптимальные настройки обработки.

*Комбинирование инерциальных данных с ГНСС траекторией.* На очередном этапе обработки данных используется программа POSpac MMC. В эту программу импортируются все данные, которые были получены в программном обеспечении



GrafNav. Затем полученные данные совмещались с INS – инерционными данными. При совместной обработке инерциальная система позволяет получить помимо координат углы ориентации системы сканирования, необходимые для вычисления координат ТЛО. В результате совместной работы с INS достигается получение сглаженной траектории без пробелов и ошибок по данным ГНСС.

*Обработка фотограмметрических и лазерных данных.* На данной стадии данные фотофиксации и лазерные данные пересчитываются вдоль траектории движения мобильной сканирующей системы. После этого можно присутпать к взаимному уравниванию облака точек лазерных отражений, полученных после прямого и обратного прохода сканирования. Затем полученные данные конвертируются в разные форматы. Последний шаг – пересчет данных и их конвертация в системы координат СКЖД (МЖСК и ПМСК), уравнивание точек лазерных отражений с применением реперных объектов.

*Расчет фотоданных и лазерных данных вдоль траектории мобильного сканирования.* Файлы в формате \*.SBET подлежат загрузке в программу RiPROCESS. Затем инициируется процесс распаковки (расчета) данных фотофиксации и лазерных данных вдоль траекторий движения системы сканирования. Этот процесс происходит в автоматическом режиме. После проведения расчетов вычисляются пространственные координаты X, Y, Z каждой ТЛО. В результате обеспечивается получение значений элементов внешнего ориентирования для данных мобильной фотосъемки. Процесс расчета выполнялся в системе координат UTM 37 North (WGS84).

*Взаимное уравнивание ТЛО.* Взаимное уравнивание ТЛО выполняется в автоматическом режиме с помощью модуля TerraScan программы TerraSolid. При уравнивании был использован алгоритм поиска связующих плоскостей во взаимно перекрывающихся облаках ТЛО и анализа погрешностей пространственного положения траекторий МЛС. По результатам расчетов точность взаимного уравнивания точек лазерных отражений с прямого и обратного проходов на разных участках СКЖД составила 2 сантиметра в плане и 1 сантиметр по высоте (СКО).

*Пересчет и конвертация данных в проектные системы координат.* После завершения уравнивания выполняется пересчет и конвертация данных в системы координат СКЖД (МЖСК и ПМСК). Данные ТЛО и фотосъемки подлежат конвертации из внутреннего формата ПО TerraSolid в форматы \*.JPEG и \*.LAS v1.2. В текстовый формат \*.CSV и формат \*.IML программы TerraPhoto были конвертированы данные внешнего ориентирования.

*Уравнивание ТЛО с применением реперных объектов.* Перед тем, как приступить к уравниванию, в системах проекта МЖСК и ПМСК используются каталоги координат реперных объектов. Процедура уравнивания ТЛО с реперными объектами проводится после завершения пересчета и конвертации данных. Уравнивание ТЛО производится с использованием модуля TerraMatch (программный пакет TerraSolid). Процедура уравнивания производится в полуавтоматическом режиме. Другими словами, оператор в ручном режиме проводит измерение каждого отсканированного реперного объекта, а затем сравнивает полученные значения с реальными координатами. После этого производится запуск автоматического процесса по уравниванию ТЛО на реперные объекты. Реперные объекты с неверными координатами удаляются и не учитываются при процедуре уравнивания.

*Стадия контроля точности.* Контроль проводится в системе координат Северо-Кавказской железной дороги. Применительно к точкам лазерных отражений были выполнены такие виды контроля:

- контроль точности пространственного положения точек лазерных отражений;
- контроль точности взаимного уравнивания облаков точек лазерных отражений.

Обратим внимание, что контроль точек лазерных отражений проводился вдоль участков сканирования Северо-Кавказской железной дороги. Это позволило обеспечить качество контроля взаимного уравнивания точек лазерного отражения. Результаты контроля показали, что планово-высотная точность взаимного положения облаков точек лазерных отражений составила менее 1

сантиметра (СКО). Проведение контроля точности пространственного положения точек лазерных отражений относительно реперных объектов осуществляется посредством совмещения облаков ТЛО и реперных объектов. В итоге планово-высотная точность положения точек лазерных отражений относительно реперных объектов железной дороги вдоль каждого отдельного участка сканирования СКЖД составила 1 сантиметр.

МЛС – комплекс геоинформационных технологий и интегрированная геоинформационная технология. Оно отражает основную тенденцию развития геоинформатики – интеграцию технологий и данных. Мобильное лазерное сканирование является технологией поддержки ГИС. Как информационно-измерительная система мобильный лазерный трехмерный сканер способен к идентификации и определению местоположения, а также отображению таких элементов, как источники света и вывески, на расстоянии до 30 метров от центра трека с высокой точностью. Результатом проведения определенных работ становится получение полной карты ж/д коридора. Следует отметить ограничение применения метода по дистанции. Поэтому большие участки трасс можно сканировать поэтапно и затем сшивать полученные траектории в одну общую. Для получения точных данных в потенциально опасных рабочих условиях в ночной период и дневное время лазерное сканирование проводится с расстояния 100 метров (точность сканирования – 6 миллиметров). Полученные данные моделируются и представляются с целью легкой интеграции в геоинформационную систему, систему автоматизированного проектирования и разные программы моделирования (Naviswork, AutoPlant, PDMS). Рассматриваемая технология – принципиально новая геоинформационная технология. Наряду с этим, некоторые особенности мобильного лазерного сканирования выделяются в специализированный комплекс геоинформационного моделирования и технологий, постоянно развивающийся и расширяющий сферы своего применения. Контроль качества выполнялся с помощью методики предложенной Профессорами И.Г. Журкиным и В.Я. Цветковым [168, 169].

### **3.4. Обоснование методики геоинформационного моделирования по данным МЛС**

Геоинформационное моделирование – основной вид моделирования, используемый при работе с объектами транспортной инфраструктуры и пространственными данными. Геоинформационные и информационные модели обязательно должны включать такие части:

- метрическую часть;
- три семиотические части: прагматику, семантику и синтаксис.

Прагматика – полезность модели объекта. Семантика (содержательное моделирование) – содержательная часть (содержание) сущностей. Синтаксис – правила разработки и совокупность критериев принадлежности к виду. Семантическому моделированию и семантике предшествуют логические конструкции, являющиеся видом конструкций информационных. В качестве основы логических информационных конструкций выступают информационные единицы логического типа, представляющие собой вид информационных единиц. В рассматриваемой теории в качестве логических информационных единиц выступают логические прескриптивные модели.

В ходе мобильного лазерного сканирования используется методика геоинформационного моделирования [100]. Данная методика нужна не только для проектирования, но также для контроля ж/д пути как пространственного 3D-объекта [125]. Обратим внимание, что, несмотря на достаточно широкое использование технологий МЛС, до сих пор не разработано научной методики их применения. Не разработано и научное обоснование работ. Решить данную задачу можно путем выработки и применения на практике специальных моделей, а также условий их комплементарности. Методическое обеспечение мобильного лазерного сканирования охватывает базовые технологии формирования пространственных моделей и разные методы их формирования, включающие семантическое моделирование и пространственное конструирование [27].

### 3.4.1. Прескриптивные логические модели

Информационные модели бывают нескольких видов. Выбор конкретного вида информационной модели зависит от сферы исследования или задач, для которых создается модель.

Исходя из качественного содержания, модели бывают двух видов:

- парадигматические;
- синтагматические.

В основу вышеуказанных видов информационной модели заложены информационные отношения синтагматического и парадигматического типа.

Исходя из описательности и активности, информационные модели бывают:

- прескриптивными;
- дескриптивными [170, 171].

Данные модели имеют связь с процедурным и декларативным знанием. Дескриптивная модель – модель описаний. В качестве яркого примера выступают модели, находящиеся на хранении в БД. Прескриптивная модель – это модель, которая предписывает совершение определенных действий. По этой причине они могут выступать в качестве основы при построении абсолютно любой методики.

Наряду с этим, совокупность моделей может быть неполной, избыточной либо противоречивой. Чтобы устранить имеющиеся недостатки, требуется научное обоснование разработки методик. В качестве такого обоснования выступают методы математической логики. Таким образом, с целью обеспечения обоснования и корректности обоснования методики применяют прескриптивные логические модели. Такая модель выстраивается в качестве предиката с функцией прескрипции [172].

### 3.4.2. Критерий логической истинности методики МГМ

В упрощенном виде методика может рассматриваться в качестве совершенной конъюнктивной нормальной формы, а в интегрированном – как логическое следование.

Простейшей логической моделью МГМ (методики геоинформационного моделирования) является КНФ или ДНФ – конъюнктивная или дизъюнктивная нормальная форма.

ДНФ – это произвольная дизъюнкция элементарных конъюнкций. Каждая логическая формула способна привести эквивалентными преобразованиями к дизъюнктивной нормальной форме. Это значит, что для любой формулы А может быть найдена такая формула В, которая находится в ДНФ. К примеру, приведенная ниже формула находится в дизъюнктивной нормальной форме:

$$\neg X_1, X_2, X_1 \& \neg X_2, \neg X_2 \vee X_2, (\neg X_2 \& X_2) \vee (X_1 \& \neg X_2) \quad (3.2)$$

Под логическими переменными подразумевается технологическое условие или процесс. При этом инверсии логических переменных – это исключение факторов, признанных неприемлемыми.

Дизъюнкция неприменима к методике, так как характеризуется непротиворечивостью и строгостью.

КНФ – произвольная конъюнкция дизъюнктов. КНФ могут быть получены из ДНФ посредством замены в них знаков  $\vee$  на  $\wedge$  (и наоборот). Вышеуказанные символы – двойственные. КНФ отражает непротиворечивость, связанность и последовательность основных технологических этапов, обозначаемых дизъюнктами. Как этап дизъюнкт допускает определенную множественность реализации технологического этапа при помощи различных процессов, объединенных отношением «или». В данном случае можно говорить о резервировании вариантов технологий.

КНФ формулы А – совершенный вариант, обозначаемый СКНФ, если каждая переменная формулы А входит без отрицания или с отрицанием в каждый дизъюнкт точно один раз:

$$(\neg X_1 \vee X_2) \wedge (X_1 \vee \neg X_2) \wedge (\neg X_1 \vee \neg X_2) \quad (3.3)$$

На формуле (3.3) показана СКНФ от двух переменных  $X_1$  и  $X_2$ . Инверсия в формулах – это оппозиция (к примеру,  $X_1$  – высокая точность измерений, а  $\neg X_1$  – невысокая). Параметр  $X_2$  может свидетельствовать о допустимом разрешении

растровых изображений, а параметр  $-X1$  может значить недопустимое разрешение растрового изображения. На практике совершенной конъюнктивной нормальной формой предполагаются более жесткие требования, потому можно ограничиться конъюнктивной нормальной формой. Каждая опровержимая логическая формула может привести путем эквивалентных преобразований к совершенной конъюнктивной нормальной форме.

В качестве научного обоснования для любой методики выступает решение проблемы разрешения. Для алгебры высказываний проблемой разрешения является следующая проблема: существует ли алгоритм, который позволял бы для произвольной логической формулы в конечное число шагов определить, является ли она тождественно ложной или истинной.

В условиях методического обеспечения формулирование проблемы разрешения осуществляется следующим образом: существует ли логическая последовательность технологических этапов, которая позволила бы выяснить ее реализуемость (т. е. истинность) или не реализуемость (ложность). В качестве модели используется модель прескриптивная. Переменными данной модели отражается последовательность действий, которые нужны для достижения итоговой цели. Данная проблема характеризуется положительным решением при использовании конструктивного подхода, так как можно перебрать все существующие наборы значений аргументов и вычислить на них значения формулы (т. е. составить таблицу истинности). Для больших формул построение таблиц – громоздкий и длительный процесс, а их использование затруднительно. Таким образом, для того, чтобы установить тождественную ложность или истинность формул, которыми описывается методика, нередко используется другая процедура, связанная с приведением формулы к дизъюнктивной или конъюнктивной нормальной форме.

Основные критерии:

1. Первый критерий: тождественная истинность прескриптивной логической модели, которая описывает методику геоинформационного моделирования. Чтобы обеспечить тождественную истинность логической модели

методики геоинформационного моделирования, необходимы в равносильной ей конъюнктивной нормальной форме тождественно истинные элементарные дизъюнкции.

2. Второй критерий: тождественная истинность дизъюнктивного элементарного этапа технологии. Для обеспечения тождественной истинности логической модели этапа технологии МГМ необходимо существование в ней хотя бы для одной переменной (пара-переменная) и ее отрицание.

3. Третий критерий: тождественная ложность логической прескриптивной модели, с помощью которой описывается методика геоинформационного моделирования. Для обеспечения тождественной ложности логической модели методики геоинформационного моделирования необходимо, чтобы в равносильной ей дизъюнктивной нормальной форме каждая элементарная конъюнкция была тождественно ложной.

4. Четвертый критерий: тождественная ложность конъюнктивного элементарного этапа технологии. Для обеспечения тождественной ложности логической модели этапа технологии МГМ необходимо существование в ней хотя бы одной переменной (пара-переменная) и ее отрицание.

При выполнении первого и второго критерия достигается научное обоснование методики геоинформационного моделирования.

### **3.4.3. Формирование МГМ как логического следования**

Методика геоинформационного моделирования – это последовательность или логическая цепочка этапов, когда каждый новый этап логически следует из предыдущего [159, 160]. Чтобы описать этот процесс, должно быть использовано понятие «логическое следование» [172]. В модели геоинформационного моделирования логическое следование будет обуславливаться тем, что элементарные звенья не описательные. В данном случае модели являются прескриптивными, т. е. описывающими технологические процессы.

О семантическом понятии логического следования заговорили в 1936 году



(Тарский). Под логическим следованием понимается отношение, которое существует между посылкой и заключением. Логическим следованием не допускается точное определение. Так, описание данного понятия при помощи слов «вытекает» и «видимо» содержит неявный круг, так как последние выступают в качестве синонимов «следует». На практике рассматриваемое понятие характеризуется указанием его связей с иными логическими понятиями, а также с понятиями логической модели и закона. Согласно законам логики, логическим следованием исключается модальность, неопределенность и предложения вопросительного характера. В узком понимании термин «логическое следование» применяется к импликации. Под импликацией понимается логическое высказывание  $A \rightarrow B$ , являющееся ложным только в том случае, когда  $A$  – истина, а  $B$  – ложь. Импликации присущи три основных значения истинности. При этом два значения имеют место при ложных аргументах.

В рамках логического следования рассматривается один вариант импликации при двух верных аргументах. В некоторых случаях отношение логического следования характеризуется импликативностью. При этом необходимо учитывать лишь единственный вариант импликации. Формальному определению логического следования присуще следующее:

$$(A_1, \dots, A_n) \models \text{МГМ} \quad (3.4)$$

В формуле 3.4 методика геоинформационного моделирования представляет собой логическую модель МГМ. С помощью параметров  $(A_1, \dots, A_n)$  описывается конечная совокупность технологических процессов, благодаря которым решаются задачи обработки данных и геоинформационного моделирования.

Логическая интерпретация, показанная в формуле 3.3, звучит следующим образом: из посылок  $(A_1, \dots, A_n)$  логически вытекает высказывание методики геоинформационного моделирования, если не может быть так, что высказывания  $A_1, \dots, A_n$  верны, а высказывание МГМ – ложно. Главная отличительная черта логического следования заключается в том, что оно ведет к истинным высказываниям от истинных. Символ  $\models$  используется для обозначения

следования. Его не стоит путать с близким по написанию и смыслу символом  $\vdash$  (означает «выводимость»).

Классическое отношение логического следования  $\vDash$  между подмножествами множества формул  $Fm$  и элементами  $Fm$  исполняет три условия для всех  $\Gamma, \Delta \subseteq Fm$  и  $A, B \in Fm$ :

$$A \in \Gamma \Rightarrow \Gamma \vDash A \quad (\text{рефлексивность}), \quad (3.5)$$

$$\Gamma \vDash A \text{ и } \Gamma \subseteq \Delta \Rightarrow \Delta \vDash A, \quad (\text{монотонность}), \quad (3.6)$$

$$\Gamma \vDash A; \Gamma, A \vDash B, \Rightarrow \Gamma \vDash B \quad (\text{транзитивность или сечение}) \quad (3.7)$$

Разные интерпретации понятия «логическое следование» приводят к разным логическим системам, обуславливая возникновение в логике новых неоклассических направлений.

Методика геоинформационного моделирования нуждается в лингвистической поддержке (словарь операций и терминов). В логике операции, константы, типы и предикаты составляют словарь или сигнатуру теории. После установления словаря теории нужно интерпретировать все перечисленные в нем понятия. После того, как будут интерпретированы элементарные формулы, которые не содержат переменных, оказывающихся или ложными, или истинными, формулы, содержащие переменные, станут ложными либо истинными.

Обобщенная сигнатура  $\sigma$  — это определенное множество символов  $s \in \sigma$ . Каждому символу сопоставляется один из признаков — константа, квантор, бинарная операция, унарная операция. Затем задается функция  $\chi$ , которая сопоставляет каждому  $s \in \sigma$  и тип  $\tau \in T$  так, что операциям сопоставляются типы операций соответствующей ариности, кванторам — типы кванторов.  $T$  — иерархия типов, функция  $\chi$  - фактически функция интерпретации.

В качестве важной составляющей конструктивного подхода и математической интерпретации выступает универс, т. е. конечное множество всех предметов, которые рассматриваются в данной теории. Истинным условием определяется универс. Соответственно, тождественно истинные формулы, которые относятся к различным теориям, определяют различные универсы.

Прескриптивные логические модели обладают смыслом только в том случае, когда существует интерпретация входящих символов. Интерпретация – это любая пара, которая состоит из непустого множества  $M$ , т. е. сферы интерпретации и какого-либо отображения, относящего к каждому предикатному символу арности  $n$  некоторое  $n$ -местное отношение на  $M$ .

Для такой интерпретации любая формула без свободных переменных является всего лишь высказыванием (ложным или истинным). А любая формула со свободными переменными выражает определенное отношение на области интерпретации. Такое отношение может быть выполнено (т. е. истинно) для одних значений переменных из сферы интерпретации или не выполнено для других (т. е. ложно).

Рассмотрим интерпретацию сигнатуры области МГМ  $\sigma$  (четверка):

$$M = (U, C, P, F), \quad (3.8)$$

Условные обозначения:

$U$  — универс или непустое конечное множество конструкторов;

$C$  — функция, которая сопоставляет каждой константе  $c \in C$  ее значение из универса;

$P$  — функционал, который сопоставляет каждому предикату  $P \in P$  функцию из универса в  $\{0, 1\}$ ;

$n$  — арность  $P$ ;

$F$  — функционал, который сопоставляет каждому функциональному символу  $f \in F$  функцию  $F(f)$  из  $U^n$  в  $U$  ( $n$  — арность  $f$ ).

Интерпретация  $M$  сигнатуры  $\sigma$  - модель теории  $\Gamma$ , если все формулы  $\varphi$  из  $\Gamma$  являются истинными в  $M$ :

$$\Gamma \vdash \varphi \leftrightarrow \varphi \text{ истинна в } M \quad (3.9)$$

В данной интерпретации логическая прескриптивная модель  $A$  выполняется при наличии такого набора  $\langle a_1 a_2 \dots a_n \rangle$ ,  $a_i \in M$  значений свободных переменных  $x_1 x_2, \dots x_n$  формулы  $A$ , что  $A(a_1 a_2 \dots a_n) = \text{истина}$ . Формула  $A$  истинна в данной интерпретации, если она принимает значение «Истина» на любом наборе

значений своих свободных переменных.

Фиксирована некоторая сигнатура  $\sigma$ , описывающая мобильное лазерное сканирование. Для установления интерпретации сигнатуры  $\sigma$ , нужно:

1. Во-первых должно быть указано некое множество  $M$  – носитель интерпретации. Данное множество не должно быть пустым.

2. Во-вторых, применительно к каждому предикативному символу сигнатуры  $\sigma$  должен быть указан предикат с соответствующим количеством аргументов, определенный на множестве  $M$ . 0-местным предикатным символам ставится в соответствие или  $L$ , или  $I$ .

3. В-третьих, для каждого функционального символа сигнатуры  $\sigma$  указать функцию соответствующего числа аргументов с аргументами и значениями из  $M$ . Так, для 0-местных функциональных символов должен быть указан элемент множества  $M$ , сопоставляемый с ними.

При условии, что сигнатура включает символ равенства, среди ее интерпретаций выделяются и нормальные. В них интерпретация символа равенства осуществляется в качестве совпадения компонентов.

Научным обоснованием методики геоинформационного моделирования охватывается использование математической логики в качестве основы проверки на непротиворечивость и истинность. Суть такой логической проверки заключается в сопоставлении функции предиката, а также в проведении анализа логических выражений, охватывающего сопоставление технологии методики моделирования логической цепочке, формируемой в виде секвенции или логического следования. Моделирование этапов осуществляется в качестве логических информационных единиц.

Большинство компонентов технологии проверены на примере междисциплинарного переноса. Эта методика обоснования применяется с целью анализа иных технологий и методов моделирования. Она обладает более широким значением, чем задача мобильного лазерного сканирования.

### **3.5. Методика геоинформационного моделирования на основе мобильного лазерного сканирования**

В настоящее время в службах передовых стран мира разрабатывают технологии контроля состояния пути, проектирования и строительства на основе мобильного лазерного сканирования. Эта технология интегрирована с геоинформационными технологиями. Кроме того, современной тенденцией использования геоинформатики и управления становятся трехмерные модели пространственных объектов. Предложена технологическая последовательность действий по получению 3D-модели, вводятся новые правила для геоинформационного моделирования объектов, и описывается методика геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры ж/д транспорта.

Геоинформационная модель нужна, в первую очередь, для контроля и проектирования ж/д пути как пространственного 3D-объекта. Несмотря на достаточно широкое применение МЛС на практике, до сих пор не разработано научной методики применения данных, полученных по этой технологии с целью формирования геоинформационных моделей, и научное обоснование работ как целостной комплексной системы. Решить эту задачу можно путем практического использования геоинформационных методов моделирования и обоснования цифровых моделей пути и объектов инфраструктуры. В геоинформатике существует специфическое моделирование, основанное на применении пространственной информации и геоданных. В данном случае речь идет о геоинформационном моделировании. Оно позволяет формировать пространственные модели и решать разнообразные пространственные задачи. Оно использует две основные технологии при разработке пространственных моделей: пространственное моделирование метрической части объектов, семантическое (атрибутивное) моделирование.

#### **3.5.1. Содержание методики моделирования**

Методика моделирования объектов инфраструктуры ж/д транспорта

включает: технологическое и научное обоснование, технологию подготовки к мобильному лазерному сканированию, проведение сканирования, базовое геоинформационное моделирование, дополнительное геоинформационное моделирование, построение дополненной реальности (по требованию). Технологическое и научное обоснование описано во многих научных публикациях и отчетах. Основой при геоинформационном моделировании выступают: техзадание, параметры допустимости точности объектов, классификатор инфраструктурных объектов.

Технология подготовки к МЛС описана в работе [173]. Проведение МЛС отражено в работе [171]. Эта работа полностью посвящена геоинформационному моделированию, выступающему в качестве основы методики моделирования. При мобильном лазерном сканировании геоинформационное моделирование выступает в качестве технологии гетерогенного типа, охватывающей различные типы моделирования. Разработка геоинформационной модели выполняется разными способами. Методика рассматриваемого вида основана на принципах 3D-моделирования, правилах формирования БД геоинформационных объектов и правилах конструктивного моделирования 3D-объектов.

### **3.5.2. Векторизация объектов инфраструктуры ж/д транспорта**

Векторизация при мобильном лазерном сканировании – это ключевой этап геоинформационного моделирования. В рамках данного этапа растровое изображение преобразуется в векторный формат. Этот процесс служит основой дальнейшего преобразования планового объекта в формат 3-х мерной векторной модели. Такая векторизация по данным МЛС является ключевым отличием от обычной векторизации, где осуществляется преобразование растрового планового объекта в векторный формат.

Векторный формат характеризуется меньшими погрешностями и требует на порядок меньшей памяти для хранения на носителях информации. Он необходим для цифрового описания объектов инфраструктуры ж/д транспорта. Результатом

данного этапа является полноформатная высокоточная 3D-модель объекта. В качестве исходной информации при векторизации в технологиях МЛС используется не плоское растровое изображение, а объемное облако точек лазерной локации или точек лазерных отражений (ТЛО). Технология векторизации приведена на рис.3.10.

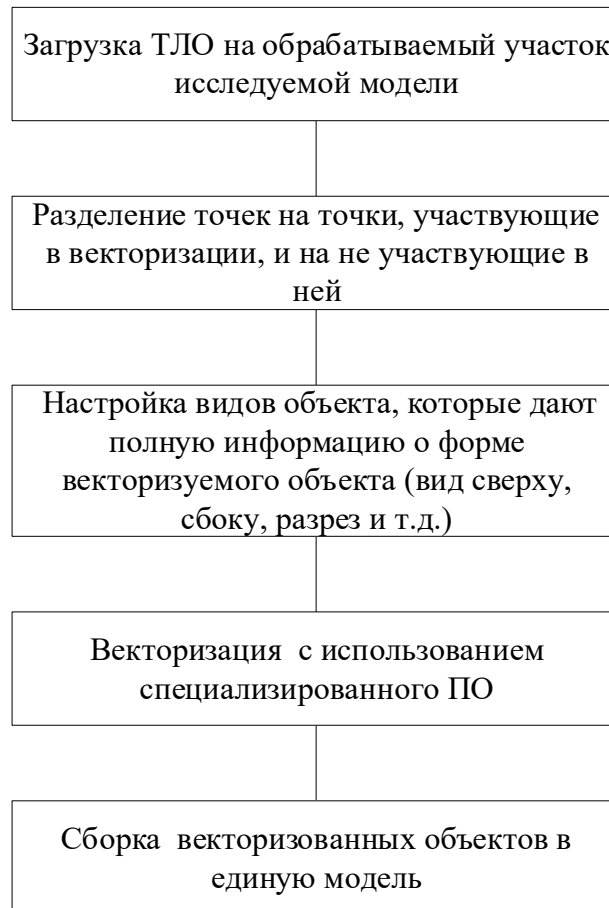


Рисунок 3.10. Технология векторизации точек лазерного отражения

Точки, не участвующие в векторизации, - это точки, которые выходят за рамки объекта векторизации.

Для завершения процесса векторизации объектов нужно определить точки, являющиеся основными и опорными для процесса векторизации. Подобных точек должно быть, как минимум 4. Они создаются с целью соблюдения параметров точности к формированию 3D-модели. Ключевые точки обязательно закрепляются, т. е. они должны иметь в пространстве конкретные координаты. Кроме того, они не должны являться «плавающими». Такие пространственные

точки могут быть определены на стационарном объекте инфраструктуры, к примеру, на консолях или опорах, где крепится провод.

При векторизации используется один из двух режимов: ручной и автоматический. Ручной режим применяется в отношении объектов со сложной конструкцией, а также в случае наличия простых объектов в составе сложного. Ручная векторизация применяется в отношении объектов, имеющих в оригинале наложение одного объекта на другой. В этом случае облако точек каждого объекта имеет пересечение с другим облаком и поэтому не может быть идентифицировано программой в автоматическом режиме. В случае ручной векторизации важно определить точки – основы поверхности объекта. Такими объектами могут являться: контактная сеть (состоит из провода, троса, струн и т.д.); переезд; перегоны; съезд. По окончании векторизации всех имеющихся слоев, присутствующих в модели, происходит сборка всех слоев в единую модель (рис. 3.11).



Рисунок 3.11. Информационная ситуация как результат векторизации облака точек

На рис.3.11 в единой модели пространственной информационной ситуации показаны линейные объекты (контактная сеть), объемные объекты (сооружения),



площадные объекты (перрон, верхнее строение пути). Такая совокупность связанных объектов называется информационной ситуацией.

Вывод: при векторизации при МЛС создаются не одиночные объекты, а информационные ситуации связанных объектов.

### **3.5.3. Принципы трехмерного моделирования**

Трехмерное геоинформационное моделирование на основе данных МЛС – это технология разработки пространственной формы моделируемого объекта в трех измерениях при помощи специального программного обеспечения и технологического оборудования на основе модели облака точек, полученной при сканировании. Программное обеспечение для трехмерного моделирования по данным МЛС отличается от программного обеспечения при обычном пространственном моделировании, например, при моделировании с использованием ГИС «Панорама».

3D-проектирование – вид геоинформационного моделирования в геоинформатике. Оно имеет тесную связь с пространственными моделями. 3D-представление позволяет рассмотреть объект:

- а) в виде пространственной модели;
- б) в дополненной реальности;
- в) в виртуальной реальности.

Это главный плюс 3D-проектирования. Виртуальная реальность обеспечивает возможность имитационного моделирования и выбора оптимального расположения проектируемого объекта. 3D-моделирование – важнейшее направление в развитии геоинформационных систем и технологий. Это позволяет представлять объекты окружающего мира, реальную местность и взаимное их расположение между собой. На рисунке 3.12 продемонстрирована схема 3D-моделирования на основе данных, полученных по технологии МЛС. Видно, что она существенно отличается от поточечного трехмерного моделирования, показанного на рис.2.4 (глава 2).



Рисунок 3.12. Схема трехмерного моделирования по данным МЛС

Создание 3D-модели осуществляется при помощи информационных единиц в качестве элементов модели [48, 174]. Информационные единицы используют для создания объектов как элементов объектов. Информационные единицы используют для создания ситуации как элементов ситуации. Информационным единицам отводится роль ключевых компонентов любого описания. Использование информационных единиц позволяет обеспечить системность и логическую связанность 3D-модели.

#### 3.5.4. Правила конструктивного моделирования трехмерных объектов

Конструктивное моделирование – развитие идей конструктивной математики и конструктивизма [175] и конструктивной логики [176]. Оно базируется на четких правилах моделирования для разных типов моделируемых объектов. Ключевым принципом конструктивного моделирования выступает конечность объектов, а также ориентация на конкретные информационные ситуации, а не ситуации вообще. Данный подход предполагает обязательную

классификацию перед тем, как приступить к моделированию. В работе используется классификатор, который приведен в табл. 1.

Код	Тип объекта
01	Зона векторизации
02	Математическая основа
03	Неклассифицированные объекты
10	Населенный пункт, здания, сооружения
11	Дорожные сооружения
12	Верхнее строение пути
13	Автодороги
14	Линии электропередач и связи ЛЭП
15	Контактная сеть
16	Границы, ограждения
17	Искусственные сооружения
20	Цифровая модель рельефа ЦМР
21	Гидрография
22	Цифровая модель местности ЦММ

Таблица 1. Классификация объектов конструктивного моделирования[191]

Классификатор имеет три уровня. С помощью кодов 01-03 описываются объекты вспомогательного значения. А для описания объектов инфраструктуры используются коды с 10 по 19. Коды 20-22 описывают базисные пространственные объекты.

#### *Вспомогательные объекты*

Код 01. Зона векторизации. Это служебная группа, которая используется для определения сферы обработки. Отсчет зон начинается от осевой линии, которая проложена между путями. При одном проходе осевой будет являться траектория движения носителя мобильного лазерного сканирования.

Код 02. Математическая основа. Километровые, пикетные, предельные столбики отображаются в виде объемных моделей (mesh), с точкой (point) в верхней точке модели. Модели построены по проектным чертежам и представлены в библиотеке информационных единиц. Если в библиотеке пространственные единицы отсутствуют, то моделирование объектов осуществляется по ТЛО. При этом точность вписывания в ТЛО  $\pm 50$  мм. Отметки высот следует формировать равномерно по сетке с ребром 25м. Горизонтالي должны быть представлены сглаженной полилинией. Основные горизонтали наносят через 0,5 м и утолщенные через 2м (каждая четвертая основная горизонталь – утолщенная). Горизонтали длиной менее 3м - удаляются.

Код 03. Неклассифицированные объекты. Моделирования объектов данной группы не осуществляется.

#### *Объекты инфраструктуры*

Код 10. Населенный пункт, здания, сооружения. Каждое здание должно отображаться в виде твердотельного объекта (solid, smartsolid, mesh) с основными элементами крыши. Строения, находящиеся на расстоянии до 5 м от оси пути, моделируются с основными элементами конструкции (выступающими за контур фундамента более чем на 1м). Небольшие сооружения, примыкающие друг к другу вплотную (такие как гаражи), могут отображаться единым объектом. Точность вписывания в ТЛО видимых частей строений  $\pm 50$ мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения.

Код 11. Дорожные сооружения. Платформа должна отображаться в виде твердотельного объекта solid, smartsolid, mesh в зависимости от способа моделирования и представлять собой единый объект. Сложносоставные платформы (высокие/низкие) необходимо моделировать как отдельные объекты. Фундаменты платформ моделируются упрощенно. Лестницы, примыкающие к платформе и расположенные вдоль путей, моделируются упрощенно (без ступеней). Другие лестницы не моделируются. Перила примыкающих лестниц заносятся в слой «Ограждения». Платформы должны моделироваться с точностью

не менее "+25мм (в сторону оси пути) и "-30мм (в сторону противоположную оси пути) в плане, и "+20мм "-50мм по высоте. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения.

Переезды и переходы также должны отображаться в виде твердотельных объектов и разделяться или иметь выемки в местах пересечения с рельсами. Точность вписывания в ТЛЮ составляет 50 миллиметров. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения.

Светофоры ж/д должны представлять собой твердотельный объект (mesh, solid, smartsolid). Светофор должен в себя включать ось (line) и точку (point). Точка формируется в центре опоры на высоте головки рельса для мачтовых светофоров. Для карликовых - в центре и на максимальной высоте фундамента, подвесных – в центре подвеса по минимальной высоте. Ось формируется для мачтового светофора (обязательно) и должна проходить по центру опоры (мачты). Каждый геометрический тип модели светофора должен находиться в слое, согласно классификатору.

Тип (мачтовый/карликовый/подвесной) светофора должен быть четко идентифицирован по ТЛЮ или фотофиксации. Светофоры отображаются в виде единых объемных моделей или составных информационных моделей (конструктов), построенных по проектным чертежам и представленных в библиотеке трехмерных информационных единиц. Модели-«конструкты» представляют собой полностью смоделированный объект, но не сложенный в единый solid, что дает возможность вписывать его по частям и редактировать элементы креплений.

Точность вписывания в ТЛЮ и моделирования светофоров 50мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения. При отсутствии светофора данного типа в библиотеке, моделирование происходит путем сборки объекта из библиотечных моделей-«конструкторов» (блоков). При отсутствии в

библиотеке требуемого типа светофора или подходящих блоков, объекты моделируются по ТЛО. Светофор на пересечении с ж/д входит в состав модели-конструктора шлагбаума, находясь при этом в слое, согласно классификатору. Корзина подвесного светофора векторизуется полилиниями как часть поперечины. Подвесной светофор обязательно должен иметь крепление к поперечине.

Код 12. Верхнее строение пути. Рельсовая нить по верху центра головки рельса (рис. 3.13 и рис. 3.14) отражается как трехмерная полилиния. Каждая рельсовая нить должна быть непрерывна в пределах участка обработки и сводиться в один узел с рельсовыми нитями на примыкающих участках. Точность вписывания рельсовой нити в ТЛО для главных путей, по которым производилась съемка (для одного прохода), «-»4мм/«+»8мм. Для каждого соседнего пути точность уменьшается на 50%. Рельсовые нити, плохо идентифицируемые по ТЛО (не видны характерные точки, по которым вписывается шаблон рельсы), не векторизуются. Точность вписывания рельсовой нити по данным нескольких проходов определяется на основе уравнивания этих проходов.

Формирование оси пути происходит посередине – между рельсами по высоте и в плане. На перекрестном стрелочном переводе рельсовые нити условно делятся на два вида. Первый вид – основные, второй - дополнительные. Основное преимущество МЛС проявляется при сканировании рельсовых нитей. На рис. 3.13 показано сечение рельса и рельсовая нить.

На рис.3.14 показано измерение оптическими методами (И) и измерение с помощью лазерного сканирования (МЛС).

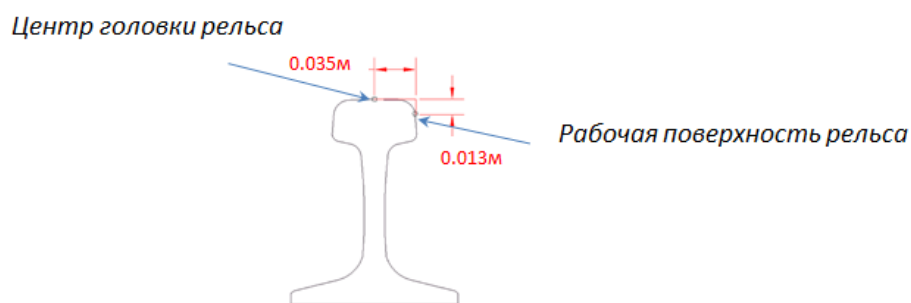


Рисунок 3.13 Пространственная модель сечения рельса и рельсовая нить

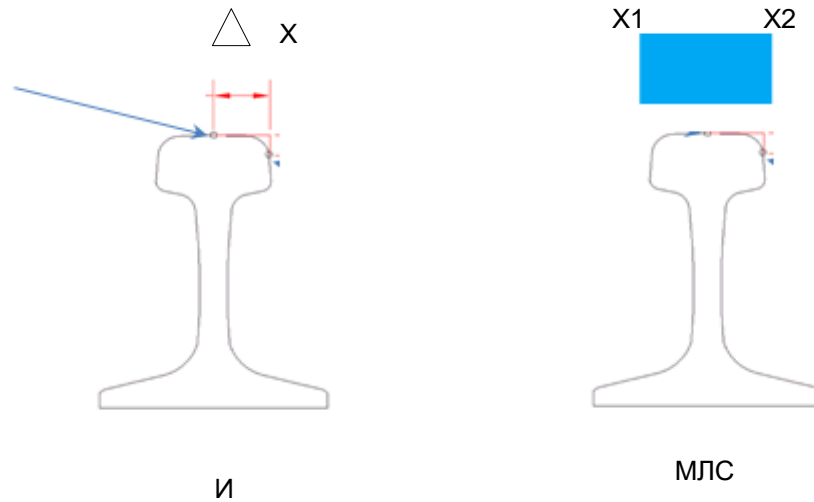


Рисунок 3.14. Измерение рельсовой нити оптическим методом (И) и при лазерном сканировании (МЛС)

При оптическом разовом точечном измерении (рис.3.14 И) погрешность равна половине головки рельса  $L$ :

$$\Delta X = L/2 \quad (3.10)$$

При лазерном массовом измерении (рис.3.14 МЛС) получают точные границы  $X1 \pm \delta$  и  $X2 \pm \delta$ . При таком способе измерения  $\delta$  – погрешность лазерного сканирования. Рельсовая нить измеряется как:

$$(X1+X2)/2 \quad (3.11)$$

с погрешностью

$$2 \delta \lll \Delta X \quad (3.12)$$

Измерение рельсовой нити с помощью МЛС на порядки повышает точность.

Межрельсовые уголки векторизуются на мостах, а на стрелках не векторизуются. По цифровой модели рельефа необходимо определить и перевести в векторную форму в виде 3D полилинии такие структурные линии (рис.3.15):

- подошва земляного пространства;
- бровка земляного полотна;
- подошва балластной призмы;

- бровка балластной призмы.

Каждая структурная линия векторизуется при однозначной идентификации вышеуказанных структурных линий.

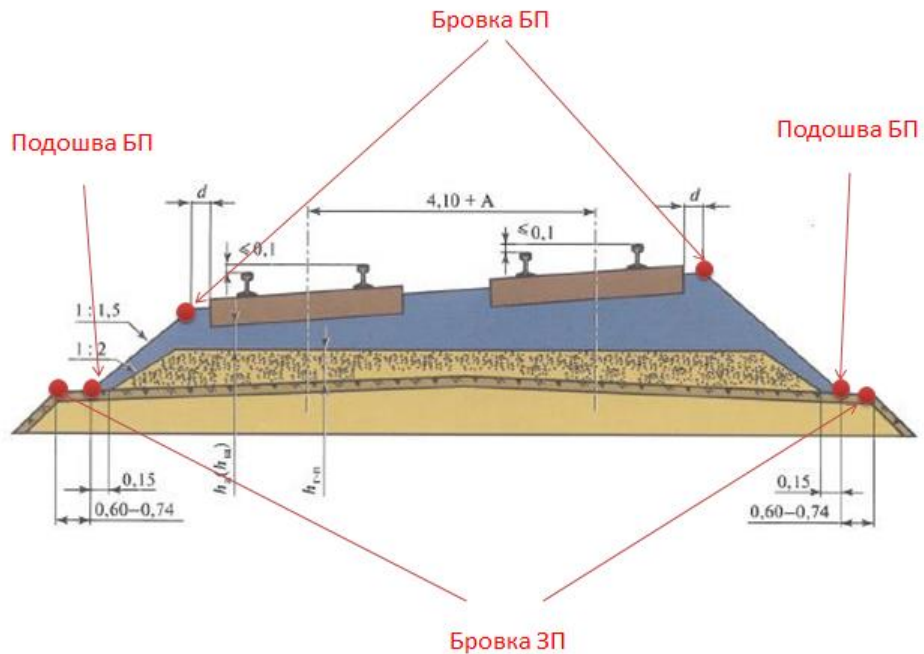


Рисунок 3.15. Пространственная модель балластной призмы

Шпалы векторизуются в виде линий по следующим правилам: расстояние (по высоте) от шпалы до линии рельсы должно быть одинаковым (т.е. если левая рельса выше правой – шпала должна быть наклонной). Необходимо учесть, что при изгибе оси пути шпалы расставляются в виде веера, как перпендикуляр к оси пути.

Тупик отображается в виде твердотельного объекта (solid, smartsolid, mesh). Верхняя часть тупика отображается библиотечным элементом, нижняя - моделируется по факту. Если нижняя часть тупика представляет собой насыпь, она описывается ЦМР и не подлежит моделированию. Точность моделирования - 100 мм.

К трубопроводу относятся все параллельные и пересекающие ж/д пути объекты круглого (овального) сечения диаметром от 40 см. Точность моделирования - 50 мм. Указанная точность определяется как максимальное



отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения.

Водоотводная канава векторизуется полилинией, которая проходит по центру нижней выемки или по верхней части водоотводного короба (рис.3.16). Точность векторизации  $\pm 200$ мм.

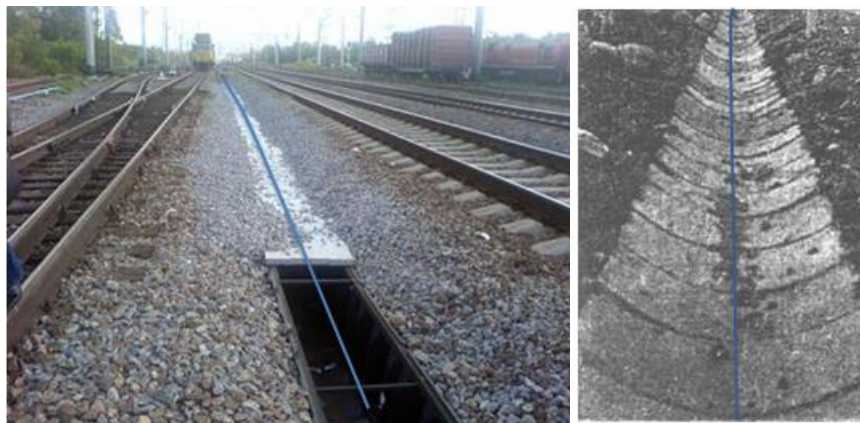


Рисунок 3.16. Водоотводные канавы

Рис.3.16 является примером простейшей дополненной реальности. Создание данной модели происходит в качестве синтеза фото фиксации и пространственной модели, которая была получена в результате геоинформационного моделирования.

К освещению относятся столбы освещения и фонари, расположенные на опорах КС, ЛЭП, фермах освещения и других конструкциях. Фонари отображаются в виде объемных моделей.

Стрелочный перевод представляет собой: точку, поставленную на оси в месте пересечения с переводной балкой; объемную модель, моделируемую с точностью  $\pm 50$  мм путём вписывания библиотечной модели в ТЛЮ.

Ферма освещения (балка на жесткой поперечине, к которой крепятся осветительные фонари) моделируется 3D полилинией с точностью  $\pm 100$ мм.

Код 13. Автодороги. Автодороги отображаются в трехмерном виде. Дороги векторизуются полилинией и только те, которые однозначно идентифицируются по данным МЛС/ортофото и имеют четко выраженную бровку. Не допускается, чтобы линия выходила за пределы бровки (при использовании ТЛЮ) или асфальтовое покрытие (при использовании ортофото). Дороги следует

векторизовать полностью, до границ зоны обработки. Объекты, не имеющие четко выраженной бровки (покрытия), допускается векторизовать одной полилинией, проходящей вдоль, по центру объекта.

Код 14. Линии электропередач и связи ЛЭП. Все виды опор ЛЭП, включая их фундаменты, отображаются в виде объемных моделей. Фермовые опоры моделируются в виде твердотельного объекта, построенного по её внешнему контуру. При отсутствии в библиотеке требуемого типа опор, объекты моделируются по ТЛО. Если опора ЛЭП расположена за пределами земляного полотна ж/д, допускается моделирование в упрощенном виде. Опоры ЛЭП должны быть искусственно заглублены ниже «точек земли».

Провод ЛЭП отображается в виде 3D полилинии, описывающей геометрическую ось объекта. Начинаться и заканчиваться провод должен в точке подвеса или в опоре. Изломы провода располагаются только в точках подвеса провода, по всей длине пролета между точками подвеса изломов быть не должно. Провод ЛЭП должен быть векторизован непрерывной полилинией в пределах обрабатываемого участка. Если пролет провода ЛЭП между точками подвеса частично выходит за границу зоны обработки, его следует векторизовать до границы зоны обработки (не до точки подвеса). Точность вписывания в ТЛО  $\pm 100$  мм. Провода связи, расположенные вертикально на опорах КС, допускается упрощать до одного. Количество проводов на одной консоли ЛЭП может быть сокращено до трех (если их больше).

Трансформатор, шкаф отображаются в виде упрощенных моделей, построенных по ТЛО, или библиотечных информационных единиц. Точность вписывания в ТЛО составляет 50 миллиметров. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения.

Консоли ЛЭП должны векторизоваться в виде линий, отражающих пространственное положение геометрической оси элементов конструкции. Консоли ЛЭП допускается отображать упрощенным способом. Все линии должны быть привязаны друг к другу в местах сопряжения конструкций. Подвес проводов

ЛЭП векторизуется в упрощенном варианте: без изоляторов и шлейфов (провод подсоединяется непосредственно к консоли); спуски и отводы на опорах, перемычки - не векторизуются; отводы на трансформатор допускается векторизовать по прямой. Точность вписывания в ТЛО 200 мм.

Код 15. Контактная сеть (КС). Все виды опор КС, включая их фундаменты, отображаются в виде объемных моделей, включающих в себя ось (line) и точку (point). Модели построены по проектным чертежам и представлены в библиотеке информационных единиц. Фермовые опоры моделируются в виде твердотельного объекта, построенного по её внешнему контуру. В случае отсутствия в библиотеке требуемого типа опор, объекты моделируются по ТЛО. При этом точность вписывания в ТЛО и моделирования опор 50мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения. Опоры КС и анкера должны быть искусственно заглублены ниже «точек земли». Опорами КС необходимо считать все опоры, находящиеся на земляном полотне или на расстоянии 8м от крайнего рельса.

Провод и трос КС отображается в виде трехмерной полилинии, описывающей геометрическую ось объекта. Начинаться и заканчиваться провод должен в точке подвеса или в опоре КС. Контактный провод и трос должны быть непрерывными в пределах анкерного участка и при окончании анкерного участка заглубляться в опору КС. Двойной контактный провод и поддерживающие их тросы допускается упрощать до одного. Точность вписывания в ТЛО 100 мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения.

Консоли КС должны векторизоваться в виде линий, отражающих пространственное положение геометрической оси элементов конструкции. Консоли КС допускается отображать упрощенным способом. Все линии должны быть привязаны друг к другу в местах сопряжения конструкций. Двойные фиксаторы заменяются одиночными. Подвес проводов КС векторизуется в упрощенном варианте: без изоляторов и шлейфов (провод подсоединяется

непосредственно к консоли); спуски и отводы на опорах, перемычки - не векторизуются.

Жесткие и гибкие поперечины отображаются в виде трехмерных полилиний и должны соединяться с телом опоры. Корзина подвесного светофора векторизуется полилиниями как часть поперечины. Точность вписывания в ТЛО  $\pm 150$  мм. Элементы конструкций натяжения проводов отображаются упрощенно линейными (подвес компенсатора) и объемными (компенсатор) информационными единицами в зависимости от типа элемента (бетонные грузы – цилиндры, металлические тросы – трехмерная полилиния, анкера – твердотельный объект). Количество тросов оттяжек и грузокомпенсаторов должно соответствовать количеству, идентифицируемому по ТЛО.

Код 16. Границы, ограждения. Все ограждения (перила, заборы и т.п.) векторизуются полилиниями, отображающими верхний край объекта по кромке (не по стойкам/столбам). Если ограждение имеет округлую форму, в этом случае скругленная часть подлежит схематичному разделению на более короткие прямолинейные участки и отображается так же, как описано выше. Точность вписывания в ТЛО 100 мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения.

Код 17. Искусственные сооружения. Моделирование укрепительных сооружений, водопропускных труб, путепроводов, тоннелей и мостов осуществляется в виде единых твердотельных объектов, включающих в себя основные элементы конструкций. Сложносоставные объекты ИССО допускается моделировать из нескольких частей. Опоры мостов должны быть искусственно заглублены ниже «точек земли». Объекты автодорожной инфраструктуры на путепроводах (ограждения, светофоры, освещение) не моделируются. Подземные элементы ж/д, мостов и водопропускных труб моделируются как логическое продолжение (соединение) видимых элементов (рис. 3.17).

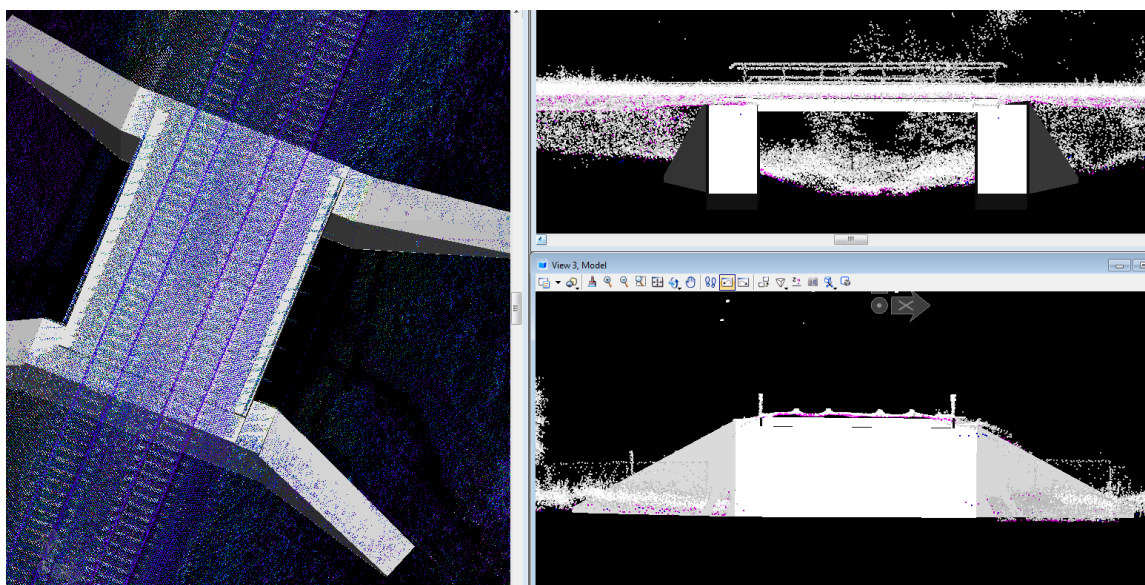


Рисунок 3.17. Искусственные сооружения

Код 20. Цифровая модель рельефа (ЦМР). Цифровая модель рельефа должна разрабатываться как регулярная сетка только из точек класса «земля». ЦМР не должна содержать артефактов от любых искусственных сооружений и низкой растительности (трава). Шаг сетки при разработке модели составляет 10 см. Формат выходных данных: ArcGIS: RasterDataset, CellSize: 0.1, 0.1м(\*.asc); Modelkeypoints(\*.las).

Код 21. Гидрография. Данный объект не является обязательным для отображения в трехмерном виде. Объекты гидрографии векторизуются полилинией по урезу воды (при использовании ТЛО) или по видимой поверхности воды (при использовании ортофото). Объекты гидрографии следует векторизовать полностью, до границ зоны обработки. Объекты, не имеющие четко выраженного уреза воды (ручьи), допускается векторизовать одной полилинией, проходящей вдоль, по центру объекта.

Код 22. Цифровая модель местности (ЦММ). Цифровая модель местности (растительности) формируется в виде регулярной сетки по точкам, принадлежащим высокой растительности (от 3 метров над землей или выше). ЦММ не должна содержать артефактов от любых искусственных сооружений. При разработке модели шаг сетки – 50 см. Формат выходных данных: ArcGIS: RasterDataset, CellSize: 0.5, 0.5м(\*.asc); Model keypoints (\*.las).

Полное описание разработанных автором правил моделирования трехмерных объектов приведено в Приложении 1.

### **3.5.5. Атрибутирование объектов моделирования**

Атрибутирование представляет собой разновидность технологии семантического моделирования. Данная технология заключается в присвоении объекту семантических (атрибутивных) данных о присущих ему свойствах, технических характеристиках, местоположении, прочей существенной информации, в т. ч. информации о параметрах эксплуатации. Атрибутирование целесообразно проводить в ПО ArcGis, а проводить подготовительные работы с отдельными слоями – в программе Microstation. Из Microstation слои, в которых проведены подготовительные работы, конвертируются в ArcGis для последующего атрибутирования.

### **3.5.6. Правила для организации баз данных**

Для разработки БД пространственных объектов [62, 156] и корректного его дальнейшего использования устанавливаются единые унифицированные правила. Учитывая все классы объектов, должно быть создано такое универсальное отношение:

- тип хранимых данных;
- наименование слоя;
- пример условного знака отображения моделируемого объекта в проекте;
- описание обрабатываемого объекта;
- код объекта из классификатора;
- классификатор объектов слоя;
- атрибуты объектов;
- связанные слои с другим представлением объектов;
- описание группы объектов, которые хранятся в слое;
- включенность в групповой слой проекта.

Слои, связанные с другим представлением объектов, включают следующие категории:

- слои, которые ссылаются на данный слой;
- слои, на которые ссылается данный слой.

Атрибутами объектов охватываются такие категории:

1. Тип данных.
2. Псевдоним объекта.
3. Наименование объекта.
4. Возможные значения из классификатора.
5. Длина.
6. Обязательный или необязательный.

Эти правила разрабатывают для каждого из типов объекта из классификатора. Полное описание разработанных автором правил по формированию БД геоинформационных объектов приведено в Приложении 2.

### **Выводы по третьей главе**

Мобильное лазерное сканирование отражает основную тенденцию развития геоинформатики – интеграцию технологий и данных. На основе комплекса работ, проводимых при мобильном лазерном сканировании, может быть получена полная карта ж/д коридора. Если лазерное сканирование проводится со стометрового расстояния (при точности сканирования 6 миллиметров), то могут быть получены точные данные в потенциально опасных условиях работы. Полученная информация с легкостью интерпретируется в геоинформационную систему или систему автоматизированного проектирования, а также в разные программы моделирования. Данная технология является новым специализированным комплексом геоинформационных технологий и геоинформационного моделирования.

Научным обоснованием методики МГМ охватывается применение математической логики в качестве основы проверки на непротиворечивость и истинность. Ее суть заключается в сопоставлении функции соответствующего

предиката, а также в проведении анализа логических выражений, включающего сопоставление технологии методики моделирования логической цепочки, сформированной в виде секвенции или логического следования. Методика обоснования применяется с целью анализа иных методов моделирования и технологий.

Таким образом, разработанная методика геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры ж/д транспорта, на основе данных, полученных по технологии МЛС, предлагает следующие мероприятия: обработка сырого облака точек, полученного в результате применения технологии МЛС; составление набора информационных единиц; векторизация с применением информационных единиц по разработанным автором правилам; сборка слоев в единую информационную ситуацию; атрибутирование в соответствии с разработанными автором правилами.

Создание унифицированных правил разработки геоинформационных моделей и единых правил формирования баз данных, является базой для создания системы геоинформационного моделирования. Рассматриваемая методика создания геоинформационных моделей объектов инфраструктуры ж/д транспорта охватывает список видов работ, которые нужны для получения 3D-модели и полных сведений об объекте. Единые стандарты, отраженные в методике и в разработанных правилах моделирования 3D-объектов и в правилах формирования БД геоинформационных объектов, дают возможность сформировать типовые модели объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, а значит унифицировать создание моделей объектов. В геоинформатике транспорта используется теоретико-игровая, теоретико-множественная, оптимизационная, проектная, экологическая, социально-экономическая, статистическая и иная информация. В отличие от информатики, обработка информации в геоинформатике транспорта использует не идеальные, а реальные данные, которые содержат некоторые погрешности. Это накладывает ряд дополнительных требований к обработке и оценке качества ее результатов. Также отметим, что нужен контроль над качеством проводимых работ.



В связи с имеющейся необходимостью автоматизации цифрового моделирования пространства ж/д пути, а также получения цифровых моделей, основной формой автоматизации является создание единого пространства для дальнейшего хранения моделей объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, а также создание геоинформационных моделей, позволяющее сформировать полную картину и получить полные данные об указанных объектах.

Подчеркну, что геоинформационные модели, разработанные на основании рассмотренной методики, могут являться основой для последующих работ (проектных, строительных, производственных). Методика упорядочивает организацию сбора и представления пространственных данных и их использования.

Мобильное лазерное сканирование существенно повышает точность измерений, но это происходит за счет большого количества измерений, то есть, по существу, при мобильном лазерном сканировании возникает проблема больших данных [177, 178].

## **ГЛАВА 4. Экспериментальные исследования технологии**

Геодезическая поддержка геоинформационного моделирования при применении технологии МЛС является обязательным этапом этой технологии. Геодезическая поддержка геоинформационного моделирования при использовании МЛС представляет собой комплекс технологий комплементарных друг другу, то есть дополняющих друг друга для решения общей задачи.

### **4.1. Инженерно-геодезические изыскания при моделировании**

В современной практике инженерно-геодезических изысканий широко используются топографо-геодезические методы. К их числу относятся:

- аэрогидрометрия;
- аэрофотосъемка;
- аэрологическое обследование;
- аэровизуальное обследование.

Методы инженерно-геодезических изысканий с применением геоинформационных технологий практически не используются на практике. Инженерно-геодезические изыскания выполняют функции геодезического обеспечения для моделирования, проектирования и строительства железных дорог.

Объем и состав инженерно-геодезических изысканий железной дороги устанавливаются программой изысканий согласно стадии проектирования. При этом учитывается специфика проектируемого объекта и природно-климатические условия. Инженерно-геодезическими изысканиями предполагается следующее:

- сбор геодезических и топографических материалов по участку (району) изысканий и анализ информации;
- камеральное трассирование с последующим выбором наиболее конкурентоспособного варианта проектного решения для проведения полевых обследований и изысканий;

- разработка планово-высотной геодезической основы;
- полевое трассирование линейных сооружений;
- проведение топографической съемки местности (масштаб 1:5000—1:500), в т. ч. съемка надземных и подземных коммуникаций и сооружений;
- проведение специальных работ (наружные обмеры устройств, сооружений, зданий; съемки плана существующей железной дороги; съемки поперечных и продольных профилей; координирование базовых элементов сооружений; определение полезных и полных длин ж/д путей на станциях; определение типов рельсов, габаритов приближений строений и др.);
- составление и копирование топографических инженерных планов, разработка ЦММ (цифровой модели местности);
- геодезическое обеспечение инженерно-гидрометеорологических и инженерно-геодезических изысканий.

Работы, выполняемые при инженерно-геодезических изысканиях железных дорог, следует проводить, как правило, в три этапа: подготовительный, полевой и камеральный.

В *подготовительный этап* должны быть выполнены: сбор, анализ и обобщение имеющихся картографических, геодезических и других материалов на район изысканий; проектные проработки, необходимые для выбора конкурентоспособных вариантов трассы или проектных решений для полевых изысканий и обследований; работы по организации полевых изысканий (участие, совместно с заказчиком, в подготовке задания на проектирование, составление программы инженерно-геодезических изысканий, определение и согласование с заказчиком цены на выполнение изысканий, получение разрешения на производство работ, формирование и оснащение полевых подразделений и т.п.).

В *полевой этап* подлежат выполнению комплекс топографо-геодезических работ и обследований, предусмотренных программой изысканий, а также требуемый объем камеральных работ.

В *камеральный этап* должны быть выполнены: окончательная обработка полевых материалов; оформление всех графических и текстовых материалов;

составление технических отчетов; сдача материалов изысканий в архив.

При проведении дальнейшего исследования и анализа методов моделирования объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта становится понятно, что на стадии инженерно-геодезических изысканий российские инженерно-изыскательские фирмы руководствуются достаточно внушительным перечнем нормативно-правовых документов, часть из которых разработана еще в прошлом веке. Поэтому до сегодняшнего дня многие инженерно-изыскательские работы проводились преимущественно полевым (наземным) способом с минимальным использованием материалов дистанционного зондирования и аэрофотосъемки. В связи с этим, на проведение работ затрачивалось большое количество материальных, временных и финансовых ресурсов.

При беглом анализе проектных материалов и технических отчетов, подготовленных и переданных заказчикам некоторыми коммерческими инженерно-изыскательскими организациями, было выявлено, что при выполнении инженерно-геодезических изысканий на малоосвоенных и удаленных территориях, компании руководствуются в основном требованиями к проектной документации, а также используют современные способы выполнения геодезических изысканий, определяющихся исходя из указанных требований и имеющихся в их распоряжении геодезической аппаратуры, материалов дистанционного зондирования земли и компьютерных программ камеральной обработки. Поэтому российские фирмы, занимающиеся выполнением заказов на проведение указанных работ, часто вынуждены разрабатывать специальные технические условия для каждого конкретного проекта. Такой подход позволяет минимизировать расходы, сократить объемы полевых работ в труднодоступных регионах.

Некоторые новые методы затем выступают в качестве основы развития способов инженерно-геодезических изысканий. Особый интерес для нас представляет ВКС (высокоточная координатная система), разработанная в компании ОАО «РЖД». По сути, данная система – специальная геодезическая

сеть комплексного навигационно-геодезического обеспечения проектирования сети железных дорог, их строительства и эксплуатации. В соответствии с распоряжением ОАО «РЖД» № 802р от 20.04.2012 г., создание высокоточной координатной системы на железных дорогах должно предусматриваться во всех заданиях на проектирование при выполнении следующих работ:

- комплексная реконструкция объектов инфраструктуры ж/д транспорта;
- иные случаи развития инфраструктуры ж/д транспорта.

В качестве составной части ВКС выступает цифровая 3D-модель инфраструктуры, которая является основой разработки проекта трассирования ж/д линии и ее последующего выноса в натуру.

Продолжая рассмотрение методов инженерно-геодезических изысканий на малообжитых территориях, следует отдельно рассмотреть некоторые вопросы автоматизации процесса трассирования железнодорожных линий на базе цифровых 3D-моделей железнодорожной инфраструктуры, разработка которой невозможна без использования геоинформационных технологий и материалов дистанционного зондирования земной поверхности. Результаты анализа опубликованных трудов показывают [179], что при решении данных задач исследователями используются цифровые модели рельефа, натянутые или на оптическое изображение, или на картографический материал. По ним проводится укладка трасс на рельефе без учета географического строения и ландшафтных особенностей грунта.

## **4.2. Геодезическая поддержка моделирования**

Геодезическая поддержка геоинформационного моделирования включает различные виды работ. Рассмотрим геодезическую поддержку работ на примере конкретной выполненной работы на участке Тихвин-Заборье-Уйта (297км). Первый этап включает работы - «Определение координат и высот пунктов съёмочного обоснования». На основе этого этапа получают сведения о выполнении работ по определению координат и высот пунктов съёмочного

обоснования, в нашем случае на участке Тихвин-Заборье-Уйта (297км). Указанный участок железной дороги расположен на территории Ленинградской области. Каталоги пунктов ОГС предоставляются в формате базы данных CSV (в формате текста) в строгом соответствии со структурой файла каталога. Для оценки соответствия выполненных топографо-геодезических работ требованиям Технического задания и нормативным документам, в соответствии с которыми выполняются работы, выполнены камеральные и полевые работы по контролю качества измерений.

#### **4.2.1. Системы координат и высот, исходные геодезические данные**

Типовым заданием на производство работ предусматриваются обычно использование двух основных систем координат:

- Пространственная местная система координат (ПМСК), имеющая связи с международной системой координат ITRF и Государственной системой координат;

- Местная железнодорожная система координат (МЖСК) Октябрьской железной дороги (МЖСК Октябрьской ЖД), предназначенная для повседневного использования в решении задач эксплуатации объектов инфраструктуры Октябрьской железной дороги.

В качестве основы для определения пространственного положения пунктов используются пункты международной геодезической сети IGS и пункты ГГС 1-3 классов. Для передачи координат на базовые станции Октябрьской железной дороги выполняется привязка БС к пунктам Международной ГНСС службы (IGS, International GNSS service). Наиболее подходящими и близко расположенными станциями IGS для участка работ оказались следующие пункты:

SVETLOE (SVTL) – Ленинградская область;

METSAHOVI (METS) – Финляндия;

RIGA (RIGA) – Латвия;

MENDELEEVO (MDVJ) – Солнечногорский район Московской области;

OBNINSK (MOBJ) – Калужская область;

ZWENIGOROD (ZWE2) – Можайский район Московской области.

Исходные данные по координатам этих станций были получены с помощью Интернет на эпоху 1 октября 2011г. (Таблица 4.1).

DATA SET EXPRESSED IN ITRF2008 FRAME					
STATION POSITIONS AND VELOCITIES AT EPOCH 2011/10/01					
DOMES NB	SITE NAME	ID	X/V <sub>x</sub>	Y/V <sub>y</sub>	Z/V <sub>z</sub>
12309M005	MENDELEEVO	MDVJ	2845455.939	2160954.329	5265993.278
			-0.0212	0.0124	0.0072
10503S011	METSANOVI	METS	2892570.678	1311843.543	5512634.206
			-0.0163	0.0145	0.0103
12302M002	Riga	RIGA	3183899.074	1421478.586	5322810.856
			-0.0176	0.0143	0.0088
12365M001	Obninsk/Moscow Seismic station	MOBN	2936431.915	2178364.642	5208858.303
			-0.0210	0.0132	0.0081
12350M001	Svetloe	SVTL	2730155.230	1562364.826	5529989.330
			-0.0182	0.0137	0.0090
12330M003	Zwenigorod	ZWE2	2886335.700	2155987.652	5245818.845
			-0.0229	0.0116	0.0053

Таблица 4.1. Данные по координатам станций

Данные для таблицы 4.1 были взяты на сайте международного аналитического центра IGS в Институте географии Франции (<http://itrf.ensg.ign.fr>).

В данной таблице приведены абсолютные значения геоцентрических координат пунктов в метрах, а также значения скоростей изменения соответствующих компонент, выраженные в м/год.

Анализ годовых скоростей изменения положения пунктов по осям X,Y,Z показывает, что все пункты смещаются во времени в одном направлении, примерно с одинаковой скоростью. Максимальные расхождения в годовых скоростях по осям составляют  $dV_x=4.9\text{мм}$ ,  $dV_y=1.1\text{мм}$ ,  $dV_z=3.1\text{мм}$ . В пересчете на период выполнения спутниковых измерений в августе 2014 г., максимальные отклонения в положении отдельных пунктов IGS от среднего их смещения не превысят 10мм.

Координаты пунктов сети IGS характеризуются средней квадратической погрешностью взаимного положения пунктов на уровне 1-2 сантиметров при среднем удалении смежных пунктов на 1-2 тыс. км. Следовательно, неравномерностью смещения во времени указанных в таблице 4.1 пунктов IGS можно пренебречь и использовать при обработке спутниковых измерений координат на эпоху 1 октября 2011г.

Для повседневного использования в решении задач эксплуатации объектов инфраструктуры железной дороги предусматривается использование пространственной (ПМСК) и плоской (МЖСК) местных железнодорожных систем координат Октябрьской железной дороги.

В процессе выполнения работ было произведено обследование пунктов Государственной геодезической сети 1-3 классов и реперов, и марок Государственной нивелирной сети I и II классов в полосе 10 км по обе стороны от железной дороги. Результаты обследования (см. таблицу 4.1) показали, что более 70% пунктов ГГС уничтожено или не могут использоваться для спутниковых измерений. Это создало большие трудности с привязкой БС к пунктам ГГС. Некоторые БС привязаны только к 2 пунктам. Репера и марки ГНС сохранились значительно лучше.

Для описания высотного положения пунктов ОГС, реперных объектов (РО) и головок рельсов в районе расположения электронных марок на участке,



техническим заданием предусматривается использование следующих систем высот:

а) Система нормальных высот 1977г., отсчитываемых от нуля Кронштадтского футштока по результатам уравнивания Государственной сети на эпоху 1977г. Для задания этой системы на участке работ использованы нивелирные репера и марки I и II-го классов, от которых выполнено геометрическое нивелирование пунктов ОГС. В таблице 4.1 приведена выписка из каталогов высот, полученная в отделах геодезии и картографии Росреестра по Санкт-Петербургу и Ленинградской области.

б) Система геодезических высот, представляющих собой геометрическое расстояние по нормали от общего земного эллипсоида (ОЗЭ) WGS-84 до марки геодезического пункта ОГС. Для определения геодезических высот пунктов на них выполнены измерения с помощью спутниковых геодезических приемников сигналов ГНСС.

#### **4.2.2. Опорная геодезическая сеть**

*Определение координат базовых станций* на участке Тихвин-Заборье-Уйта Октябрьской железной дороги было выполнено относительным спутниковым методом по измерениям на фазе несущей в режиме «статика» с использованием многочастотных, многосистемных геодезических спутниковых приемников. Этот комплект приемников оснащен встроенными высокоточными приемными антеннами, которые обеспечивают точность относительных определений, характеризующуюся СКП, составляющих вектора между двумя пунктами не хуже  $\pm(3\text{мм}+1\text{мм/км})$ .

На участке Тихвин-Заборье-Уйта проводились наблюдения на базовых станциях 200-11 (Тихвин), 245-11 (Пикалево-2), 275-11 (Ефимовская), 306-11 (Заборье), 351-11 (Бабаево), 383-11 (Сиуч). Наблюдения на пунктах проводились приемниками GPS/ГЛОНАСС в течение суток, с интервалом осреднения 15с.

Дополнительная информация о синхронных измерениях на пунктах IGS

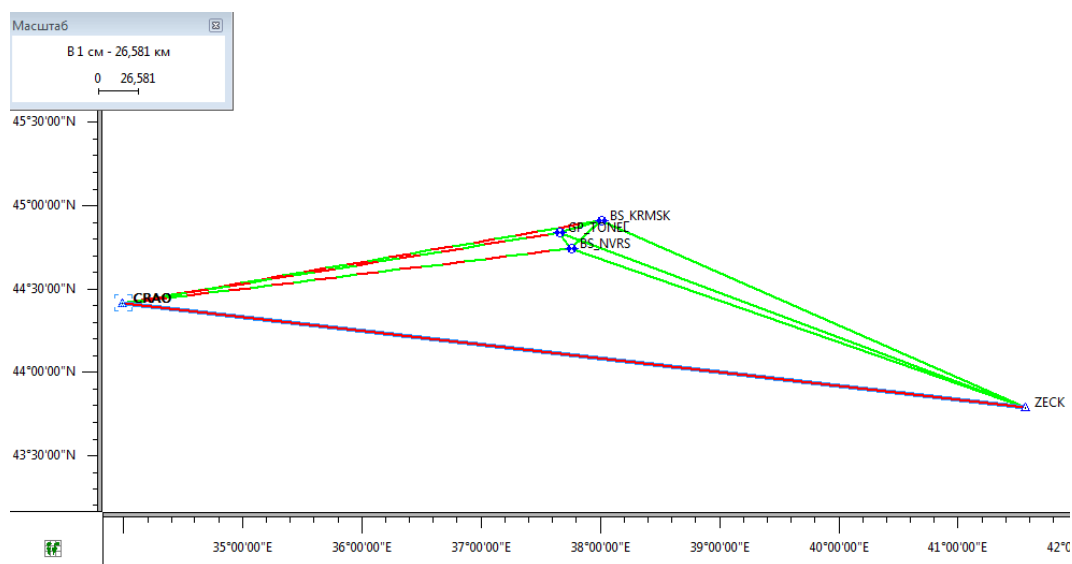
была получена с помощью Интернет в формате RINEX, не зависящем от типа использованных приемников.

Вычисления координат БС осуществлялись на этапе камеральной обработки собранной измерительной информации на определяемых БС, на пунктах IGS, а также на пунктах привязки сети к ГГС и ГВО. Обработка измерений выполнялась с применением программного комплекса TopconTools. Для вычислений использовались все доступные продукты деятельности IGS, в первую очередь - доступные на эпоху вычислений точные эфемериды спутников.

Порядок обработки заключался в следующем:

- загрузка результатов измерений в базу данных ПО TopconTools;
- загрузка информации о точных эфемеридах спутников;
- обработка всех доступных синхронных измерений, позволяющих образовать независимые пространственные вектора между исходными пунктами IGS и определяемыми БС;
- уравнивание сформированной сети из векторов и пунктов с фиксацией координат пунктов IGS из таблицы 4.2;
- анализ качества сети по результатам оценки точности из уравнивания, формирование выходных каталогов.

Схема сформированной и уравненной каркасной сети показана на рисунке 4.1.



#### Рисунок 4.1. Конструкция сети определения координат БС в результате привязки к пунктам IGS

Полученные результаты обработки показывают удовлетворительную точность определения координат с опорой на ITRF.

Геодезическая плановая привязка базовых станций и главных пунктов к пунктам ГГС выполнялась в режиме «Статика» относительным спутниковым методом. Привязка каждого из указанных пунктов осуществлялась к 3-4 пунктам ГГС.

*Определение координат главных пунктов.* Геодезическая привязка ключевых пунктов опорной геодезической сети осуществляется к БС с использованием двухсистемных и двухчастотных спутниковых геодезических приемников.

На каждом главном пункте опорной геодезической сети выполняются определения геодезических высот и планового положения относительным спутниковым методом в режиме «Статика» с опорой на сеть базовых станций. Время набора измерительных данных при наблюдении не менее пяти спутников в сумме должно превышать час с разделением его на два непрерывных сеанса (по 30 минут каждый).

Для реализации схем построения ОГС в части создания подсетей главных пунктов использовались двухчастотные геодезические приемники марок Javad и Topcon, работающих по сигналам GPS/ГЛОНАСС. Эти комплекты приемников оснащены высокоточными приемными антеннами. Приемники Javad и Topcon обеспечивают точность относительных определений, характеризующуюся СКП, составляющих вектора между двумя пунктами не хуже  $\pm(5\text{мм}+1\text{мм/км})$ .

Перед выездом на полевые работы весь комплект спутникового оборудования подвергнут очередной метрологической проверке.

Основной метод производства работ спутниковыми средствами - метод относительных определений координат по измерениям фазы несущей сигналов космических навигационных систем GPS и ГЛОНАСС. В этом случае необходимо использовать минимум пару приемников сигналов геодезического класса,

антенны которых устанавливаются на исходном и определяемом пунктах. Приемники должны выполнять одновременные (синхронные) фазовые измерения по созвездию спутников, идентичному для обоих пунктов. Идентичность созвездий должна обеспечиваться выбором положения пунктов, на которых отсутствуют обструкции видимости небосвода на вертикальных углах (возвышениях), больших 15 градусов. Отступления от условий синхронности измерений и идентичности созвездия ведут к ухудшению качества координатных определений. Использование в работе более двух приемников позволяет повысить оперативность полевых работ.

Схемы построения ОГС должны быть реализованы с обязательным образованием типовых замкнутых фигур из так называемых независимых векторов, что призвано служить основой первичного контроля качества спутниковых измерений по невязкам суммы приращений координат в этих фигурах. Основные детали методики спутниковых определений координат базовых станций и главных пунктов приведены в Таблице 4.2.

Характеристика	Значение
Маска по углам возвышения	15 град.
Минимальный интервал осреднения сырых измерений	5 сек
Интервал времени наблюдений на линиях и пунктах	60 минут
Режим координации определений	Статический
Тип спутниковых эфемерид, которые используются при постобработке измерений	Транслируемое (бортовое)
Минимально допустимая высота приемной антенны над подстилающей поверхностью	25 сантиметров
Количество наблюдаемых ИСЗ	Не меньше 5 (все доступные)
Точность определения превышения фазового центра антенны над центром пункта	Меньше 1 миллиметра (принудительное центрирование)

Точность центрирования фазового центра приемной антенны над центром пункта	Меньше 1 миллиметра (принудительное центрирование)
--	--

Таблица 4.2. Детали методики спутниковых определений координат базовых станций и главных пунктов

Геодезические приемники спутниковых сигналов должны работать в так называемом «статическом режиме». То есть приемные антенны должны быть установлены неподвижно над центрами определяемых пунктов на длительный интервал времени. Плановое положение фазового центра приемных антенн должно быть совмещено с центрами пунктов (марками-хранителями координат) с погрешностью не более 1-2 мм. Превышение фазового центра приемной антенны над центром каждого пункта должно быть измерено дважды (перед началом измерений и по их завершению) с погрешностью не более 1-2 мм. На главных пунктах с устройством принудительного центрирования антенна установлена при помощи трегера, высота измеряется до плоскости площадки крепления трегера. Одновременно с этим обеспечивается точность взаимного положения определения смежных главных пунктов с СКП не более  $\pm 8$  миллиметров (предельная погрешность  $\pm 15$  миллиметров).

Контроль выполнения этих требований осуществлялся по результатам апостериорной оценки точности спутниковых измерений, выполняемой при уравнивании ОГС как «максимально свободного построения», т.е. без фиксации координат пунктов ОГС, способной исказить результаты уравнивания и оценки точности.

*Определение координат промежуточных пунктов.* Геодезическая привязка промежуточных пунктов опорной геодезической сети производилась к главным пунктам и базовым станциям ОГС с использованием двухсистемных, двухчастотных геодезических спутниковых приемников GPS/ГЛОНАСС.

На каждом промежуточном пункте опорной геодезической сети выполнялись определения геодезических высот и планового положения относительным спутниковым методом в режиме «Быстрая статика» с опорой на главные пункты опорной геодезической сети и БС. Использовались

двухчастотные геодезические приемники марок Topcon и Javad, задействованных в режиме «Быстрая статика» и обеспечивающие точность относительных определений в этом режиме не хуже  $\pm(5\text{мм}+2\text{мм/км})$ . Определения выполнялись с установкой приемных антенн на штатив и трегер, выставленные над центром пункта с помощью оптического центрира с погрешностью 1-2 мм.

Измерения проводятся синхронно, одновременно на двух и более пунктах в течение одного часа, помимо непосредственно измерений спутниковым приемником, необходимо определять высоту расположения антенны над пунктом ОГС по схеме, изображенной на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2. Схема измерения высоты антенны

Обработка данных производилась в режиме постобработки на персональном компьютере с применением специализированных программных комплексов TopconTools и ТВС. Пример векторной сети промежуточных пунктов ОГС показан на рисунке 4.3.

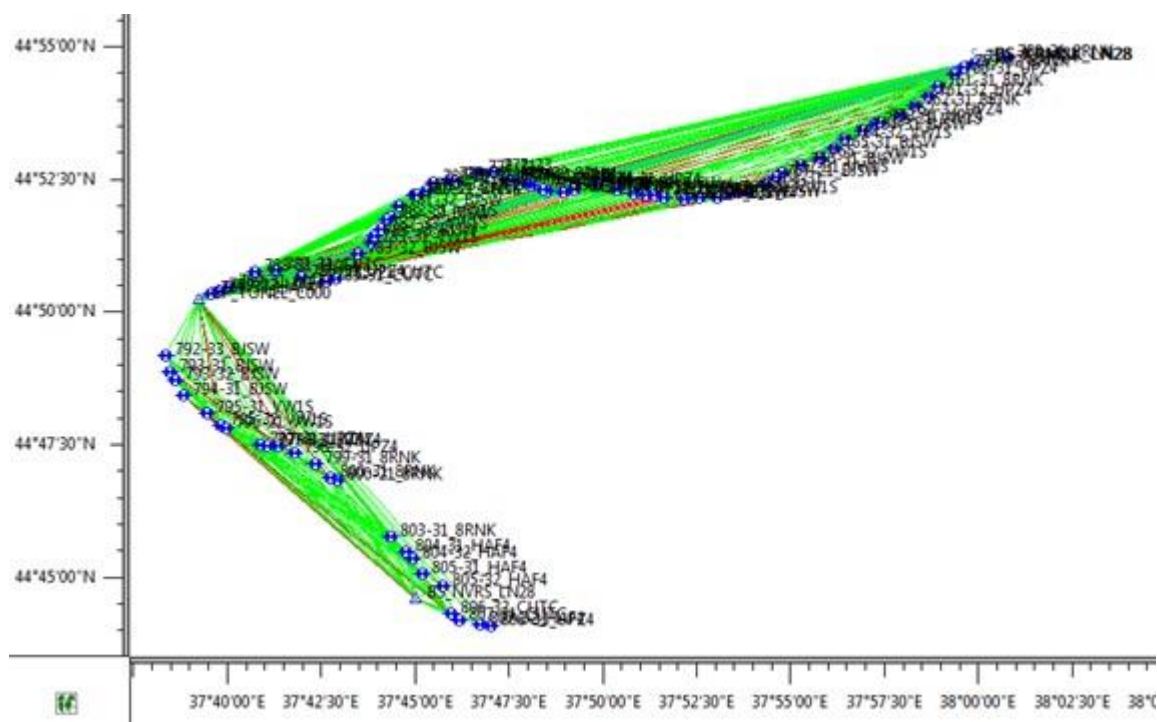


Рисунок 4.3. Пример векторной сети промежуточных пунктов ОГС

При проведении измерений заполняется журнал измерений. Измерения в опорной геодезической сети выполняются сеансами на базовых пунктах, ближайших главных пунктах и на измеряемом промежуточном пункте ОГС. Фрагменты, которые созданы таким образом, связываются друг с другом главными пунктами опорной геодезической сети и пунктами, участвующими в наблюдениях двух сеансов, следующих друг за другом. Последовательно, сеанс за сеансом, перекрывая друг друга, образуется сеть полной протяженности.

Дискретность регистрации эпох спутниковых наблюдений составляет 15 секунд. Маска возвышения – 15 градусов. Первое требование обуславливается теми обстоятельствами, что более высокая частота регистрации обуславливает более высокую взаимную корреляцию измерений. Это необоснованно завышает оценки точности результатов при обработке измерений с использованием специального программного обеспечения. При более низкой частоте обеспечивается большая продолжительность разрывов наблюдений в связи с наличием определенных препятствий. Это может сказаться на качестве разрешения неоднозначности фазовых определений. Так «маской» возвышения 15 градусов при наличии значительного количества препятствий (например,

лесополос) обеспечивается их оптимальное отсечение, уменьшение разрывов и получение длительного слежения спутников.

При установке антенн над центрами каркасной сети используются выверенные оптические центры с ошибкой центрирования около 1 миллиметра. Из обработки и уравнивания следует, что удвоенная СКП, составляющих положения пунктов ОГС, не превышает 8 мм. Аналогичному анализу, на предмет удовлетворения требований ТЗ, подвергаются все результаты обработки измерений на промежуточных пунктах. После этого составляются выходные каталоги координат пунктов сети.

*Определение высотного положения пунктов ОГС.* Определение нормальных высот пунктов ОГС выполняется методом геометрического нивелирования в виде одиночных ходов, прокладываемых с соблюдением допусков методики III класса (Таблица 4.3). Исходными пунктами для этих ходов должны служить только реперы из состава ГВО, т.е. реперы ходов нивелирования I и II класса.

№	Параметр методики	Допустимая величина
1	Максимально допустимая длина разомкнутого хода, км	20-30
2	Минимальная высота луча визирования над подстилающей поверхностью, м	0,3
3	Накопление неравенства плеч в секции/ходе, м	5
4	Допустимое неравенство плеч на станции, м	2
5	Максимально допустимая длина луча визирования, м	75
6	Допустимые невязки по линиям нивелирования, мм, где L в км	$10 \sqrt{L}$
7	Допустимое расхождение двойных значений превышений, которые измерены на станциях, мм	3
8	Количество направлений/линий в ходах нивелирования	1

Таблица 4.3. Допуски геометрического нивелирования III класса



Взаимное высотное положение смежных пунктов ОГС должно характеризоваться СКП не более  $\pm 5$  мм. Для обеспечения регламентированной выше точности нивелирования используются цифровые нивелиры Sokkia, Nikon и Leica. Высоты пунктов ОГС определены ходами нивелирования III класса точности (Таблица 4.4).

№ хода	км линии	Конечные реперы	Длина линии, км	Невязки линий в мм	
				Полученная	допустимая
1	200 - 227	Мр БН – Гр. Рп 5171	27.0	-8	$\pm 52$
2	227 - 249	Гр. Рп. 5171 – Обринский, Мр. БН	23.0	-5	$\pm 48$
3	250 - 255	Обринский, Мр. БН – Чудцы, Мр. БН	6.5	+22	$\pm 25$
4	256 - 274	Чудцы, Мр. БН – Ефимовская, Мр. БН	19.6	-42	$\pm 44$
5	275 - 290	Ефимовская, Мр. БН – Подборовье, Мр. БН	16.8	-39	$\pm 41$
6	291 - 306	Подборовье, Мр. БН – Заборье, Мр. БН	18.0	-41	$\pm 42$
7	307 - 311	марка б/н - марка 720	5.18	6.0	22.7
8	311 - 319	марка 720 - марка 783	8.31	-20.0	28.8
9	319 - 322	марка 783 – марка б/н	3.28	1.0	18.1
10	322 - 331	марка б/н - марка б/н Тешемля	8.06	11.0	28.4
11	331 - 344	марка б/н Тешемля - марка б/н Колодинка	14.29	9.0	37.8

12	344 - 352	марка б/н Колодинка - Бабаево марка б/н	7.71	25.0	27.75
13	352 - 365	Бабаево марка б/н - марка 22	14.31	-31.0	37.85
14	365 - 377	марка 22 - марка 475	11.71	19.0	34.2
15	377 - 380	марка 475 - марка 304	3.07	-15.0	17.5
16	380 - 384	М 304 - М б/н Сиуч	4.08	-7.0	20.2
17	384 - 397	М б/н Сиуч - М74 Ширьево	13.73	-33.0	37.05
18	397 - 405	марка 74 - марка 155	8.12	-21.0	28.5

Таблица 4.4. Характеристики ходов нивелирования по пунктам ОГС

На участке Тихвин–Заборье–Уйта проведены работы по определению планового и высотного положения 332 промежуточных и 40 главных пунктов ОГС.

#### 4.2.3. Сеть электронных меток

Электронные метки располагаются в шпалах напротив пикетажных столбиков и километровых столбов, то есть в среднем через 100 метров на всех главных путях перегона. Определение положения оси пути в местах размещения электронных меток выполняется с помощью относительных определений по сигналам ГНСС.

Для спутниковых определений используются четыре геодезических приемника марки TopconGR-5 и TopconHiper+ из комплекта оборудования для создания ОГС. Работы выполняются в режиме «Быстрая статика». При этом пара статичных приемников устанавливается на удобных для работы БС, ГП или ПП, а два других приемника, задействованных в качестве «роверов», устанавливаются с помощью вехи и уровня над головками рельсов и на оси пути в местах

размещения ЭМ. Атрибутивная информация о снимаемых точках верхнего строения пути заносится в память измерительного прибора.

Высотное положение головок рельсов в местах размещения ЭМ определяется методами геометрического и спутникового нивелирования. Для работ применяются электронные нивелиры и спутниковые приемники. При этом определяется высотное положение правой или левой по ходу пикетажа головки рельса. На участке Заборье-Кошта выполняются работы по определению пространственного положения оси пути и головок рельсов в местах размещения 4080 ЭМ.

#### 4.2.4. Сеть реперных объектов

Создание сети включает выбор места размещения и маркировку реперных объектов. В качестве реперных объектов (РО), выполняющих при мобильном лазерном сканировании функции планово-высотных опознаков, выбираются углы фундаментов оттяжек опор контактной сети. Схема маркировки РО показана на рис.4.4.

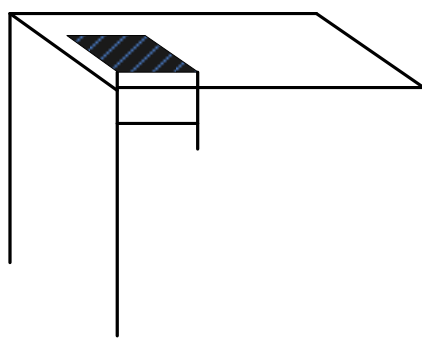


Рисунок 4.4. Схема маркировки РО

Определение положения реперных объектов выполняется с помощью относительных определений по сигналам ГНСС. Для спутниковых определений используются четыре геодезических приемника марки TopconGR-5 и TopconHiper+ из комплекта оборудования для создания ОГС. Работы выполняются в режиме кинематических определений «Быстрая статика». При

этом пара статичных приемников устанавливается на удобных для работы БС, ГП или ПП, а два других приемника, задействованных в качестве «роверов», устанавливаются с помощью вехи и уровня над углом реперного объекта. Высотное положение реперных объектов определяется методами геометрического и спутникового нивелирования.

На указанном участке выполнены работы по определению пространственного положения РО в количестве 540 объектов.

Проведенные экспериментальные исследования на объектах показали работоспособность методики и ее эффективность.

### **4.3. Мобильное лазерное сканирование как источник построения моделей ОТИ**

Деятельность по проектированию и разработке объектов транспортной инфраструктуры базируется на получении пространственных данных, а также их дальнейшем использовании. Получение пространственных данных предполагает использование современных технологий сбора данных и их первичной обработки. При сборе и моделировании в области транспорта используются данные геоинформатики. В данном аспекте технология МЛС полностью согласуется с геоинформатикой и принципами ее интеграции.

Съемка методом лазерного сканирования предполагает контролируемое отклонение невидимых и видимых лазерных лучей [129]. В сфере сканирования 3D-объектов лазерное сканирование предполагает использование лазерного дальномера и управление лазерными лучами.

Измеряя расстояние в разных направлениях, сканер получает несколько моделей поверхностей каждого объекта, т.е. с разных углов обзора. Так получается форма поверхностей, ландшафтов и зданий. При этом, например, некоторые предметы небольшой формы могут быть размещены на вращающемся постаменте в технике, схожей с фотограмметрией [180].

Лазерное сканирование является бесконтактным методом измерения, при

котором лазерный луч используется для определения 3-мерного положения точки на поверхности объекта. При многократном повторении данного процесса лазерным сканером создается «облако точек», т. е. точный снимок формы и размеров физического объекта. При необходимости это облако точек может быть обработано и визуализировано при условии его импорта на компьютер с имеющимся на нем специальным программным продуктом.

В теоретическом плане МЛС входит в группу методов дистанционного зондирования [140], предполагающих получение данных любым неконтактным способом. В узком понимании дистанционное зондирование земной поверхности нередко связывают с космическими наблюдениями. Существует четкая тенденция интеграции методов геоинформатики и космического ДЗ. Метод МЛС может рассматриваться в качестве интегрированной технологии фотограмметрии и геодезии либо в качестве геоинформационной технологии.

Мобильное лазерное сканирование сочетает два вида методов сбора информации – геодезические и фотограмметрические. С точки зрения сбора данных осуществляется полевой сбор информации, характерный фотограмметрическим методам [143, 148]. С точки зрения анализа мобильное лазерное сканирование предполагает проведение ситуационного анализа той или иной сферы, т. е. использование модели информационной ситуации [152]. Мобильное лазерное сканирование может рассматриваться в качестве цифровой технологии [159]. В контексте пространственного анализа технология МЛС решает пространственные задачи определения координат объектов железнодорожного транспорта [158]. С точки зрения семантического моделирования мобильное лазерное сканирование исследует семантическое окружение объекта с целью уточнения его конфигурации и положения. С точки зрения моделирования мобильное лазерное сканирование может рассматриваться в качестве разновидности геоинформационного моделирования, применяемого при проектировании и контроле линейных объектов, в т. ч. железной дороги. С точки зрения проектирования технология МЛС предполагает поддержку проектных решений. С точки зрения мониторинга существующих объектов

мобильное лазерное сканирование – это вид геотехнического мониторинга [160]. Мобильное лазерное сканирование выступает в качестве эффективного инструмента поддержки принятия решений и является технологией информационного управления [181, 164]. В аспекте познания мобильное лазерное сканирование выступает в качестве основы получения пространственных знаний. Таким образом, мобильное лазерное сканирование – это совокупность технологий, которые позволяют решать прикладные задачи.

*Полное измерение дорожного коридора.* Благодаря «облакам точек» обеспечивается полное измерение дорожного коридора (рисунок 4.5).

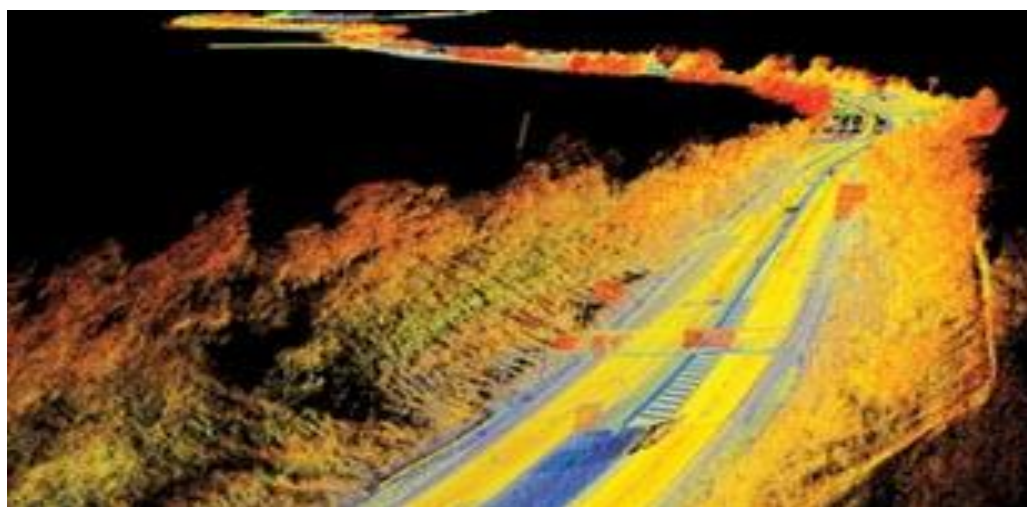


Рисунок 4.5. Измерение дорожного коридора

Общими приложениями для дорожных исследований охватываются:

- текущее состояние дорог для целей технического обслуживания (край битума, выбоины, трещины);
- обследования качества работ для выявления соответствия дорожных работ проектным требованиям;
- размещение разметки линий для создания полос движения и запланированных слияний;
- подтверждение достаточной топологии дорожного покрытия для обеспечения стоков вод; определение ровных участков дорожной поверхности, способных вызвать аквапланирование для автомобильного транспорта в условиях высокой влажности;

- выравнивание края битума и осевой линии для повторного выравнивания, модернизации или расширения дороги;
- точное установление зазоров под мостами;
- выявление всех твердых конструкций и поверхностей (опоры ЛЭП, дорожные знаки, желоба, бордюры, водопропускные трубы, мосты, дорожные барьеры);
- создание цифровых моделей рельефа окружающей местности при подготовке к расчету земляных работ (требуется для строительства новых и расширения существующих дорог).

#### *Отображение ж/д коридоров*

Система мобильного лазерного сканирования, созданная специально для удовлетворения потребностей клиентов в безопасности, точности и скорости, идеально подходит для обследований ж/д инфраструктуры в коридорах (рисунок 4.6) [186].

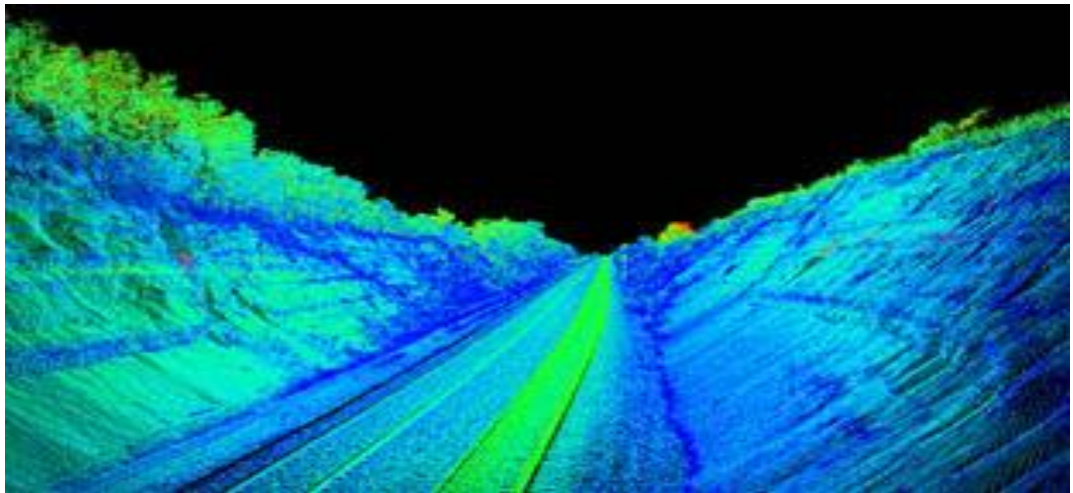


Рисунок 4.6. Отображение железнодорожных коридоров

Вращающийся лазер способен к развертыванию на любых мобильных платформах (транспортные средства, поезда). Он способен собирать сотни тысяч точек в секунду, измеряя все видимое для сканера в радиусе 30 метров от транспортного средства и создавая облако точек. Эти изображения снимаются камерой 360°, благодаря чему обеспечивается получение высокоточного комплексного набора данных по ж/д коридору.

Мобильное лазерное сканирование обеспечивает достижение высокого уровня точности и позволяет измерять центральную линию трека из сканированного изображения.

#### *Решение задач распознавания*

Обеспечение и измерение зазоров – ключевое требование в управлении ж/д системами. Облако точек LiDAR 3D может быть использовано для получения данных о разрешении из оцифрованного ж/д коридора. После этого через облако точек может быть запущен заранее определенный профиль или зазор, а все вторжения в данный датчик могут быть выделены и документально зафиксированы. Впоследствии такие вторжения могут быть отображены в профиле и снабжены примечаниями с расстояниями до центральной линии рельса.

#### *Сравнение геометрии рельса*

Под эффективностью системы мобильного лазерного сканирования подразумевается, что рельсовые пути могут быть получены с высокой степенью точности. Это значит, что элементы геометрии рельса (наклон, радиус кривой) можно вычислить в каждой точке вдоль линии (рисунок 4.7). Затем измерения геометрии могут быть сравнены с исходным дизайном и сгенерированным отчетом для выделения любых областей существенных отклонений от проектных.

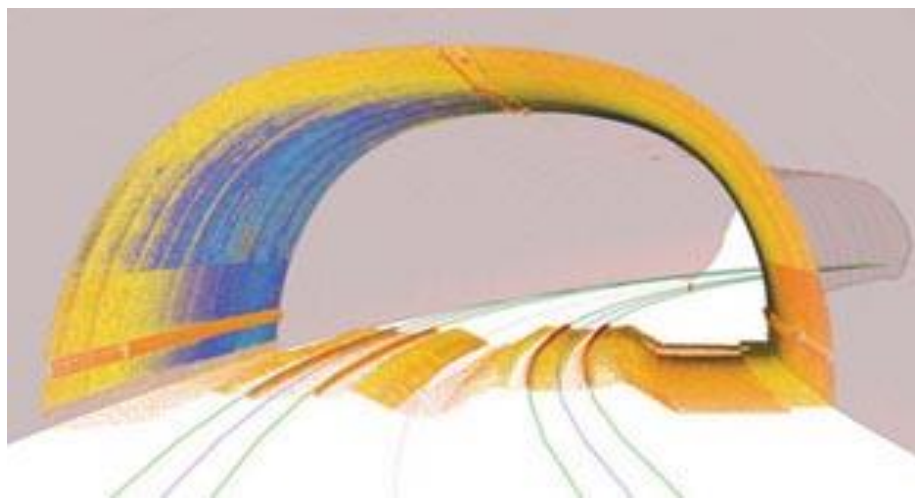


Рисунок 4.7. Сканирование геометрии рельсов

Проанализировать геометрию можно по горизонтали и вертикали либо получить из измерений в 3D Point Cloud. Этим демонстрируются достаточно



точные и мощные возможности измерения системы мобильного лазерного сканирования.

#### *Определение профиля балласта*

Определение и оценка состояния балласта ж/д пути в коридоре осуществляется системами мобильного лазерного сканирования посредством проверки профилей поперечного сечения балласта с интервалами вдоль профиля рельса (рисунок 4.8). После этого автоматическая процедура проходит через облако точек и выделяет области, где имеющийся балласт не отвечает шаблону балласта, определенному предварительно.



Рисунок 4.8. Определение профиля балласта

#### **4.4. Геоинформационное ситуационное моделирование при мобильном лазерном сканировании**

Существует различие между моделью объекта и моделью ситуации. Модель ситуации описывает ареальный участок пространства и включает все объекты на этом участке. Геоинформационное ситуационное моделирование представляет комплекс разных технологий [182], направленных на создание модели реальной пространственной ситуации. Ситуационная модель служит основой выноса проектов транспортной инфраструктуры в натуру и основой комплексного анализа. Ситуационное моделирование включает построение модели ситуации и последующее воздействие на одни параметры модели для изучения изменения

других параметров.

На транспорте ситуационная модель дает возможность контролировать состояние железнодорожного пути и других объектов инфраструктуры. Ситуационная модель дает основание принимать решение о проведении или не проведении ремонтных работ. В случае чрезвычайных ситуаций (оползень, землетрясение, террористический акт) ситуационная модель позволяет определить размеры ущерба и оценить объем восстановительных работ. Ситуационная модель включает модели нескольких объектов, связи и отношения между ними. Она содержит больше полезной информации, чем модели отдельных объектов. Ситуационная модель привязана к реальной поверхности и позволяет решать практические задачи размещения или демонтажа объектов. Недостатком информационной ситуации является необходимость сбора большого количества информации для формирования модели ситуации. Старые технологии сбора полевой информации были неудобны тем, что точка за точкой собирали информацию и были весьма трудоемкими.

Новой технологией, позволяющей по-новому моделировать пространственные объекты и местность, является технология мобильного лазерного сканирования [183, 184]. Сканеры, устанавливаемые на подвижные средства: сначала на автомобили, а затем на железнодорожный транспорт, – дали развитие технологии МЛС.

МЛС [129] позволяет фиксировать даже провода линий электропередач. Лазерный луч скользит по поверхности объекта согласно заранее установленному правилу. При сканировании создается облако точек (несколько миллионов), описывающих форму поверхности объектов и рельефа местности. Это дает множество точек, необходимое для построения ситуации. В последующем, это облако требуется перевести в трехмерную модель поверхности объекта и его окружения. Облако точек содержит для каждой точки расстояние от лазера до точки и направление двух углов (горизонтального и вертикального) на эту точку. Пространственная модель должна содержать три координаты точки в пространстве. Такое преобразование выполняют с применением специального

программного обеспечения.

Для сложных поверхностей сканирование выполняют в несколько приемов. Построение итоговой информационной ситуации включает комплементарное [130] совмещение нескольких моделей поверхностей, полученных с различных углов обзора. Технологию МЛС на транспорте применяют для съемки дорог, а также разных типов инфраструктурных коридоров, в т. ч. силовых, трубопроводных, железнодорожных и автомобильных линий [135, 138].

Использование мобильного лазерного сканирования за границей показало окупаемость и эффективность. По существу, эта технология не имеет альтернативы. Ее аналогом могут быть геодезические методы измерений в сочетании с фотограмметрической съемкой. Но экономически они не конкурентоспособны. Лазерный сканер за короткое время (2-3 мин) измеряет несколько миллионов близко расположенных точек. Ни один геодезист в мире не измерит миллион точек, даже за сутки, с регулярным шагом и близко расположенных друг к другу.

Основная задача мобильного лазерного сканирования - помочь в создании трехмерной модели ситуации на местности. Трехмерная ситуация на местности может иметь разные масштабы: участок железной дороги (200-300 км), станция, искусственное сооружение (мост), рельеф местности, модель верхнего строения пути и так далее. Сканирование осуществляется циклами по нескольким миллионам точек, поэтому большой объект сканируется за несколько циклов. В силу этого при сканировании участка железной дороги он заранее разбивается на блоки, для которых сканирование проводят за один цикл. Затем результаты обработки разных блоков «сшивают» в единую пространственную модель. Здесь следует подчеркнуть, что мобильное лазерное сканирование - это не объектный метод (обработка отдельных объектов), а ситуационный метод, то есть обработка реальной ситуации как совокупности связанных объектов.

Согласно классификации, мобильное лазерное сканирование (МЛС) входит в число методов дистанционного зондирования. В широком понимании дистанционное зондирование рассматривается как получение с помощью любых

неконтактных методов данных об объектах на земной поверхности и в недрах планеты. Данные методы применяются в радиотехнике, оптике, геодезии, фотограмметрии, геофизике, геологии. В узком понимании метод дистанционного зондирования земной поверхности нередко связывают исключительно с космическим ДЗ. Вместе с тем, существует четкая тенденция интеграции методов космического ДЗ с методами геоинформатики. Обусловливается это интеграционными возможностями, присущими геоинформатике. МЛС может рассматриваться в качестве интегрированной технологии фотограмметрии и геодезии либо в качестве новой геоинформационной технологии [125].

МЛС представляет собой дистанционный метод измерения, при применении которого лазерный луч используют в двух режимах. Первый режим - это режим измерения расстояний. Второй режим – режим угловых измерений, подобно геодезическим угловым измерениям. Оба режима совместно позволяют определять трехмерное положение точки на поверхности моделируемого объекта. Повторив несколько раз процесс сканирования поверхности, лазерный сканер создает «облако 3D-точек». данное облако – модель размеров и формы реального объекта. Исходную модель облака точек можно просматривать в псевдоцветах или в реальном цвете. Но это изображение существенно ниже по качеству, чем фотоснимок. МЛС обеспечивает быструю съемку удаленных поверхностей. Данные МЛС можно связать с существующей трехмерной моделью (например, проекта сооружения) или совместить с планами топографических съемок, а также разрезами.

Как инструмент пространственного анализа, мобильное сканирование осуществляет пространственный ситуационный анализ. Как инструмент информационного анализа, эта технология создает модель информационной ситуации [81], соответствующей ситуации на местности. В аспекте цифровизации – МЛС может рассматриваться в качестве цифровой технологии. С точки зрения координирования МЛС способствует решению пространственных задач по определению координат объектов транспортной инфраструктуры [67]. МЛС может рассматриваться в качестве инструмента семантического моделирования. В

этом аспекте МЛС позволяет исследовать содержание пространственной ситуации и строить прогнозы ее изменения.

Как специальный метод моделирования объектов транспортной инфраструктуры, МЛС является специфическим моделированием, применяемым при проектировании линейных объектов. Как метод поддержки проектирования, мобильное лазерное сканирование позволяет вставлять модели проектов в существующую реальность и моделировать совмещение проекта с реальной ситуацией. Мобильное лазерное сканирование применяют в мониторинге пространственных объектов, и, в этом смысле, МЛС можно рассматривать как часть технологии геотехнического мониторинга. Как технология управления, МЛС можно рассматривать как компонент технологий системного информационного управления [165]. Мобильное лазерное сканирование, являясь научным методом, выступает в качестве основы получения пространственных знаний.

Общее технологическое решение мобильного лазерного сканирования охватывает совокупность специальных технологических этапов. Первым этапом применения идет ситуационное обследование района. Затем осуществляют подготовку мобильной сканирующей системы.

Установку аппаратуры называют ситуационной, поскольку условия установки аппаратуры на подвижный объект никогда в точности не повторяются, и приходится действовать по ситуации.

В ходе работы используются данные инерциальной и глобальной навигационной системы – INS и GNSS. Для получения точных INS и GNSS данных до непосредственного лазерного сканирования участка железнодорожного пути проводится инициализация. Ее сущность состоит в приведении двух блоков системы мобильного лазерного сканирования (INS/GNSS) в рабочее состояние. Инициализация проводится в два этапа. Первый этап: измерение данных глобальной навигационной системы в статическом режиме. Длительность этапа – 5-10 минут. На этом этапе система МЛС находится в состоянии покоя. Второй этап: перемещение на расстояние от километра с попеременным торможением и

набором скорости. Длительность этапа – 35-40 минут. Система МЛС включена.

По существу, использовались две тестовые ситуации: ситуация статики и ситуация движения на ограниченном пространстве.

Перед началом работ всю территорию сканирования разбивают на ситуации (блоки) (рис.4.9.). Это нужно для того, чтобы объем информации, получаемой за цикл лазерного сканирования, не превышал возможности программного обеспечения по его обработке. Таким образом, разбиение на блоки – это вынужденная мера, обусловленная ограничениями программного обеспечения по обработке информационных массивов о местности. На рисунке 4.9. приведен участок железной дороги и показано его разбиение на блоки. Рисунок взят из реального отчета по выполненным работам.

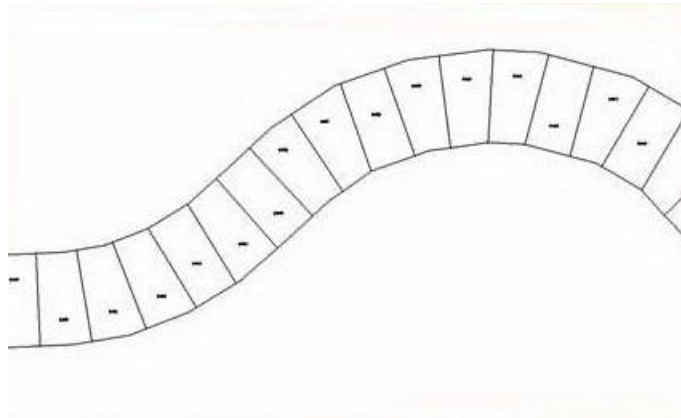


Рисунок 4.9. Ситуационное разбиение сканируемого участка

Основное требование к блокам - это ограничение на объем информации, получаемой при сканировании, чтобы программные средства могли обработать информацию о блоке за один проход. При сканировании получают миллионы точек и обработка ситуации, соответствующей блоку, сжимает первичную информацию на три - четыре порядка.

При проведении практических работ (на Северо-Кавказкой железной дороге, на Октябрьской железной дороге, МЦК) мобильное лазерное сканирование выполнялось при помощи современной системы мобильного сканирования RIEGL VMX-450. Данная система включает шесть широкоугольных камер, два сканера, вычислительный, навигационный и инерциальный блок.

Частота фотографирования широкоугольной камеры – до 18 кадров в сек. Разрешение снимков 2452×2056 пикселей. В основу системы мобильного сканирования заложено применением лазерного дальномера импульсного действия.

Процедура МЛС участков железной дороги и инфраструктурных объектов проводилась с применением системы мобильного сканирования RIEGL VMX-450. Данная система была предварительно закреплена на крыше автомотрисы. Сканирование проводилось со скоростью до 60 км/ч одновременно в двух направлениях – прямом и обратном. Частота сканирования составила 600 кГц. Вместе с тем, с проведением МЛС проводилась фотофиксация железнодорожного пути и инфраструктурных объектов с помощью шести камер, ориентированных в обоих направлениях (прямом и обратном) движения сканирующей системы. Частота фотосъемки – 12 кадров в секунду (два кадра в секунду для каждой камеры).

После МЛС была проведена камеральная обработка полученных данных. Обработка проводилась в два этапа:

- расчет траекторий мобильного лазерного сканирования;
- вывод, уравнивание и конвертация точек лазерной локации или точек лазерного отражения (ТЛО) и данных, полученных фотокамерами.

Привязка спутниковых данных осуществлялась относительно базовых станций, которые работали в процессе сканирования. Обработка производилась в системе координат WGS84.

На очередном этапе обработки данных используется программа POSpac MMC. В эту программу импортируются все данные, которые были получены в программном обеспечении GrafNav. Затем полученные данные совмещались с INS – инерционными данными. При совместной обработке инерциальная система позволяет получить помимо координат углы ориентации системы сканирования, необходимые для вычисления координат ТЛО. В результате совместной работы с INS достигается получение сглаженной траектории без пробелов и ошибок по данным ГНСС.

Для того, чтобы преобразовать облако точек лазерной локации в координаты трехмерной ситуации, необходима дополнительная обработка. Более конкретно пересчет данных фотофиксации и лазерных данных производится вдоль траектории движения. Расчеты производят при движении в прямом и обратном направлении в рамках одного блока. Для повышения точности проводят взаимное уравнивание координат, полученных при прямом и обратном движении. После этого, данные конвертируют в различные форматы для использования в ГИС или САПР. Для практического использования, координаты, которые получают в глобальной спутниковой системе координат, переводят в местные системы координат для конкретной железной дороги. На этом же этапе также проводят уравнивание, но уже с использованием местной реперной сети.

При проведении процедуры уравнивания используются каталоги координат реперных объектов. Сама процедура производится в полуавтоматическом режиме. Оператор ручным способом проводит измерение каждого отсканированного реперного объекта, а затем сравнивает полученные значения с реальными координатами. Только после этого возможен запуск автоматического процесса уравнивания точек на реперные объекты. В результате уравнивания выявляются реперные объекты с неверными координатами, а также объекты, не вошедшие в границы мобильного сканирования. Соответственно, из процесса уравнивания реперные объекты с некорректными координатами должны быть исключены.

В ходе проведения работ точность взаимного уравнивания с обратного и прямого подхода на различных участках СКЖД в среднем составляла 2 сантиметра в плане и 1 сантиметр по высоте (СКО). По завершению уравнивания был выполнен пересчет данных из глобальной системы в систему координат Северо-Кавказской ж/д - местную железнодорожную систему координат (МЖСК).

В местной системе координат был проведен контроль точности произведенных работ. Для ТЛЮ были выполнены такие виды контроля:

- контроль точности пространственного положения точек лазерных отображений относительно реперных объектов;



- контроль точности взаимного уравнивания облаков точек лазерных отображений.

Контроль взаимного уравнивания точек лазерных отображений проводился визуально – вдоль участков сканирования железной дороги. По итогам контроля планово-высотная среднеквадратическая ошибка (СКО) взаимного положения облаков ТЛЮ составила около 1 сантиметра. Контроль точности пространственного положения точек лазерных отображений относительно реперных объектов проводился посредством их совмещения с реперными объектами.

По результатам обработки строят цифровые модели ситуаций, предварительно выполнив векторизацию с использованием информационных единиц. На рисунке 4.10 показан результат 3D-моделирования с применением информационных единиц.

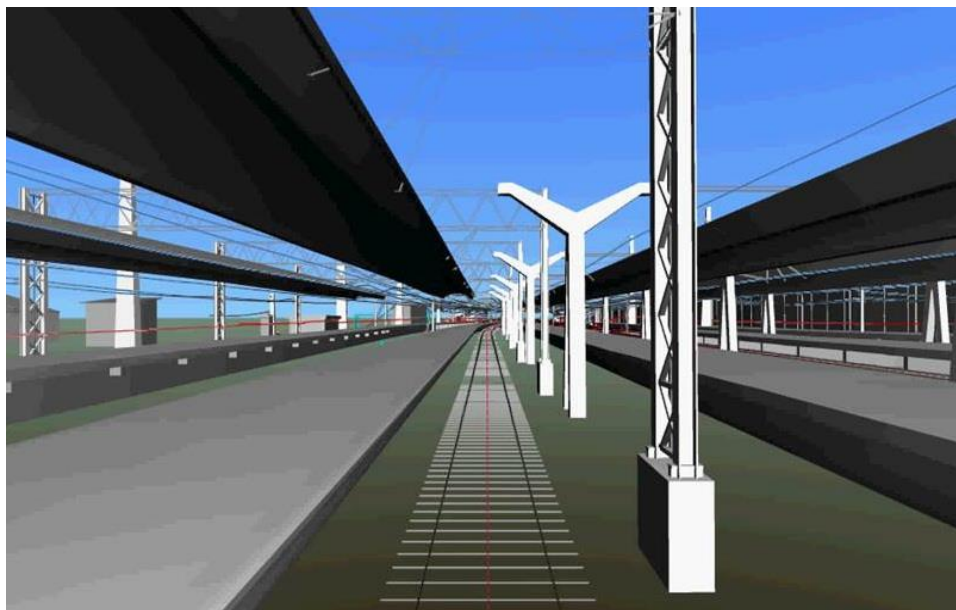


Рисунок 4.10. Результат трехмерного моделирования с использованием информационных единиц

Цифровые модели ситуаций включают различные объекты транспортной инфраструктуры и цифровые модели рельефа местности. Сам по себе объект не представляет особого интереса. Значение имеет пространственная ситуация, в которой объект совмещен с другими объектами. На рис.4.11 – 4.13 приведены пространственные информационные ситуации, полученные на основе

сканирования местности и последующей обработки.

Именно цифровая модель ситуации служит основой для контроля, управления и выноса в натуру объектов инфраструктуры.

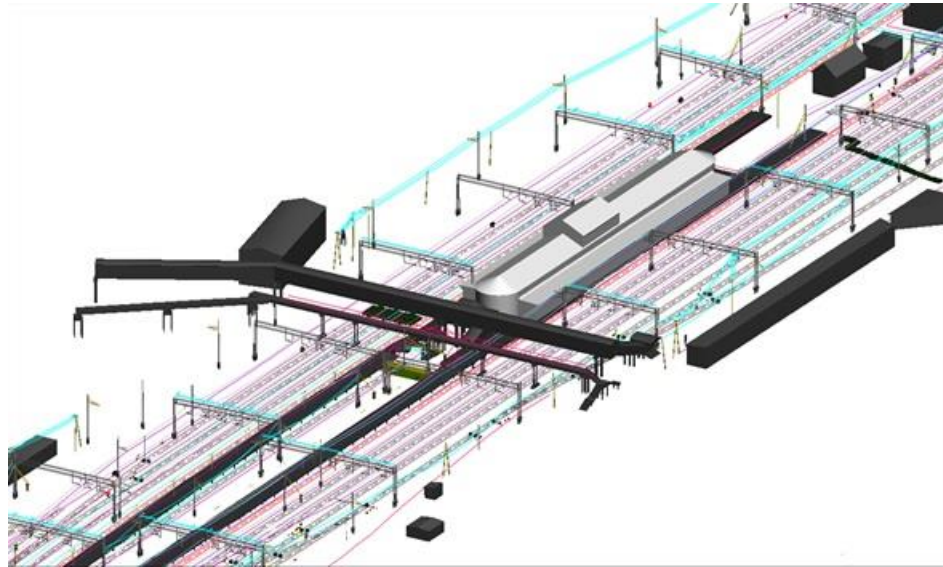


Рисунок 4.11. Пространственная информационная ситуация, полученная на основе данных МЛС. Фрагмент готовой цифровой модели ст. Клин 561км

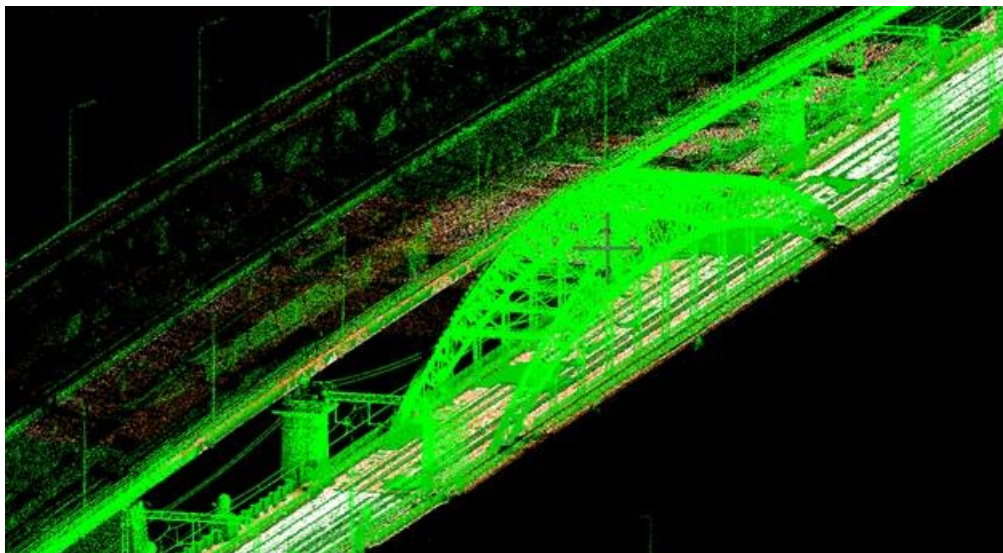


Рисунок 4.12. Фрагмент данных мобильного лазерного сканирования 38км  
5/6пк МЦК

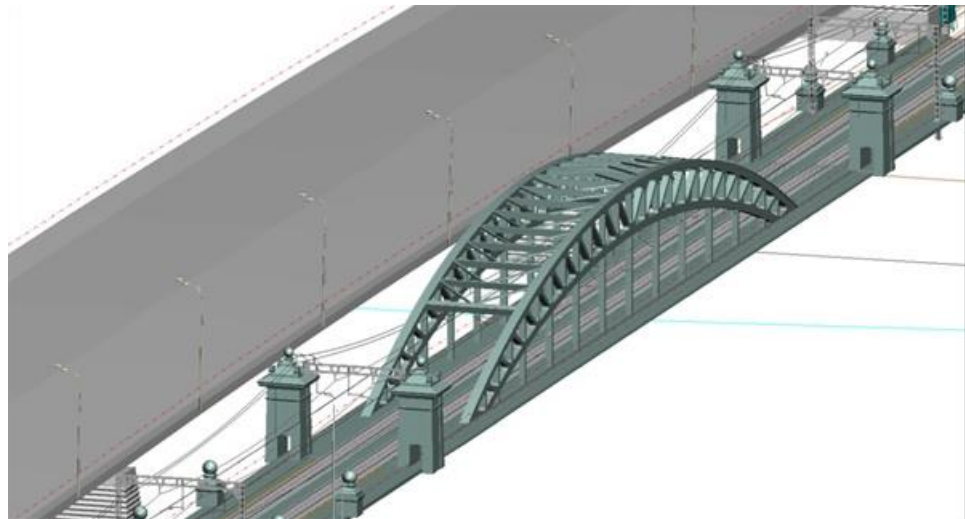


Рисунок 4.13. Фрагмент информационной ситуации, полученной по материалам рис.4.11. МЦК 38км 5/бпк

### **Выводы по четвертой главе**

Разработанная методика геоинформационного моделирования применима для создания геоинформационных моделей объектов протяженных инфраструктур, в т. ч. инфраструктуры ж/д транспорта. Методика и разработанные правила моделирования и правила формирования базы данных просты в применении и апробированы на ряде железных дорог, эффективность применения которых подтверждается актами о внедрении.

Основой этой технологии является ситуационное моделирование и ситуационные модели. Можно говорить о локальных ситуациях и общей ситуации. Первоначальная съемка на участке пути ведется по локальным ситуациям на отдельных блоках. Локальные ситуации, полученные по блокам, сшивают в единую модель общей пространственной ситуации. Мобильное лазерное сканирование является технологией поддержки принятия решений, проектирования и реконструкции объектов инфраструктуры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры ж/д транспорта на основе данных, полученных по технологии МЛС, в соответствии с которой формирование геоинформационных моделей происходит по созданным автором единым правилам моделирования трехмерных объектов и правилам формирования базы данных, позволяет повысить качество создаваемых моделей, упростить и унифицировать процесс моделирования, оптимизировать временные затраты на формирование модели, а также расширить границы применения и использования данных моделируемых объектов, а также геоинформационной модели инфраструктуры в целом.

**Рекомендации** и предложения. В ходе диссертационного исследования были усовершенствованы научные подходы и предложены решения в области геоинформационного моделирования и создания геоинформационных моделей, была определена необходимость в упорядочивании организации сбора и представления пространственных данных и их использования, что дало максимальный экономический эффект.

В ходе диссертационного исследования также были разработаны рекомендации и предложения по использованию пространственных моделей с применением моделей информационных единиц, как основы построения моделей, и моделей информационной ситуации как локальной модели связанных объектов.

Для создания геоинформационной модели инфраструктуры и ведения базы пространственных данных, необходимы единая методика моделирования, единые правила моделирования 3D-объектов и правила формирования БД. Необходимо, также, чтобы сбор и формирование данных происходили эффективно и централизованно, с четкими планами и установленной системой стандартов. При этом, важно иметь единые требования к формам представления и точности исходных данных.

В процессе работы над диссертацией проведен анализ опыта работ по применению на практике методов геоинформационного моделирования при

создании моделей пространственных данных; проанализированы методы геоинформационного моделирования; исследованы технологические особенности геоинформационного моделирования.

**Итоги диссертационного исследования.** В результате диссертационного исследования автор разработал принципы геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры, исследовал технологические особенности сбора исходных данных для геоинформационного моделирования объектов на основе технологии применения мобильного лазерного сканирования как части технологии геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры ж/д транспорта, разработал методику геоинформационного моделирования на основе данных, полученных по технологии МЛС, которая включает: научные положения; основные методы и приемы обработки материалов съемки; правила геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры ж/д транспорта, а также выполнил логическое обоснование методики и разработал прескриптивные модели для методики геоинформационного моделирования.

В результате настоящего диссертационного исследования автором были сформулированные правила моделирования 3D-объектов, правила формирования БД геоинформационных объектов, исследованы модели информационных ситуаций и информационных единиц как инструмента моделирования пространственных объектов, а также проведены экспериментальные исследования разработанной методики геоинформационного моделирования на основе данных, полученных с помощью технологии МЛС.

Разработанная методика геоинформационного моделирования и правила моделирования трехмерных объектов, а также правила разработки БД геоинформационных объектов успешно внедрены в производственные процессы геоинформационного моделирования нескольких предприятий. Разработанная методика позволила в оперативном режиме решать задачи строительства, проектирования и мониторинга объектов, имеющих протяженность сотни километров.

**Перспективы дальнейшей разработки темы.** Полученные результаты

открывают новую перспективную область в геоинформатике - применение моделирования на основе мобильного лазерного сканирования. Разработанный в ходе исследования формальный и технологический аппарат позволяет формулировать возникающие не только в геоинформатике, но также в геоинформатике транспорта задачи обработки и моделирования временных и пространственных данных, предоставляя методологический инструментарий, необходимый для разрешения данных задач.

Последующая разработка темы настоящего диссертационного исследования является возможной не только в направлении развития теоретических основ геоинформатики, но также в направлении разработки новых технологий создания геоинформационных систем с использованием технологий МЛС. Это, например, задачи разработки приложений пространственного моделирования, охватывающие большие территории. Разработанная методология может использоваться при решении задач геоинформатики (в т. ч. геоинформатики транспорта), а также для систем геоинформационного картографирования и экологического мониторинга. Результаты позволяют использовать их для управления геосистемами.

## Список литературы

1. Лёвин Б.А., Круглов В.М., Матвеев С.И., Цветков В.Я., Коугия В.А. Геоинформатика транспорта. - М.: ВИНТИ РАН, 2006. - 336 с.
2. Романов И. А Применение методов геоинформатики при анализе инновационных проектов на железнодорожном транспорте // Науки о Земле. Выпуск 03-2012.- с.26-28
3. Цветков В.Я. О пространственных и экономических отношениях // Международный журнал экспериментального образования. - 2013. - №3. - с.115-117
4. Цветков В.Я. Виды пространственных отношений // Успехи современного естествознания. - 2013. - № 5 - с.138-140.
5. Розенберг И.Н. Цветков В.Я. Координатные системы в геоинформатике – МГУПС, 2009 -67с.
6. Максимова М.В. Применение местных систем координат // Науки о Земле. Выпуск 03-2012.- с.43-45.
7. Цветков В.Я. Формальная и содержательная классификация // Современные наукоёмкие технологии. - 2008. - №6. - с. 85-86.
8. Елсуков П.Ю. Классификация и типизация в информатике // Перспективы науки и образования. - 2016. - №2. - с.7-11.
9. Савиных В.П., Цветков В.Я. Синергетический аспект геоинформатики и технологий дистанционного зондирования// Исследование Земли из космоса.- 2002.- № 5.- с.71-78.
10. Кудж С.А. Синергетика пространственной информации // Перспективы науки и образования- 2014. - №5. – с.14-20.
11. Мордвинов В. А. Синергетика в информационном поле // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. - с.25-31.
12. Максудова Л.Г., Цветков В.Я. Информационное моделирование как фундаментальный метод познания // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2001. - №1. - с.102-106

13. Лёвин Б.А. Информационное моделирование при управлении транспортом // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - с.50-54
14. Розенберг И.Н. Геоинформационное моделирование как фундаментальный метод познания // Перспективы науки и образования. - 2016. - №3. - с.12-15.
15. Цветков В.Я. Визуальное моделирование в системах поддержки принятия решений // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №10-1. – с.13-17.
16. Цветков В.Я. Информационно измерительные системы и технологии в геоинформатике. - М.: МАКС Пресс, 2016. - 94с. ISBN 978-5-317-05117-4.
17. Савиных В.П., Цветков В.Я. Фактофиксирующие модели // Славянский форум. -2019. – 3(25). - с.67-74.
18. Цветков В.Я. Модель геоданных для управления транспортом // Успехи современного естествознания. -2009. - №4. - с.50-51
19. V. P. Savinykh and V. Ya. Tsvetkov. Geodata As a Systemic Information Resource. Herald of the Russian Academy of Sciences, 2014, Vol. 84, No. 5, pp. 365–368.
20. Омельченко А. С. Геоданные как инновационный ресурс // Качество, инновации, образование. - 2006. - №1. - с.12- 14.
21. Кудж А.С. Сбор и измерение геоданных в науках о Земле// Славянский форум. - 2013. – 2(4). - с.135-139.
22. Матчин В.Т. Формирование геоданных// Славянский форум, 2015. - 2(8) - с.185-193
23. Кудж С. А. Организация геоданных // Российский технологический журнал. - 2014 - № 1 (2) - с.106-112.
24. Лёвин Б.А. Комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.14-21.
25. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование // Славянский форум. -2019. – 2(24). - с.7-12.
26. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование при



проектировании линейных объектов // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1(11). – с. 30-39.

27. Андреева О.А. Геоинформационное семантическое моделирование // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019.- № 3 (13). – с.27-32.

28. Цветков В.Я. Геоинформационное моделирование // Информационные технологии. - 1999. - №3. - с.23- 27.

29. Цветков В.Я. Модели в информационных технологиях. -. М.: МАКС Пресс 2006 -104с.

30. Розенберг И.Н., Вознесенская М.Е. Геознания и геореференция.// Вестник Московского государственного областного педагогического университета. -2010. - № 2. - с. 116-118.

31. Ожерельева Т.А. Геознания. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №5. (часть 4) – с.669-669.

32. Кулагин В. П., Цветков В. Я. Геознание: представление и лингвистические аспекты // Информационные технологии. - 2013. - №12. - с.2-9

33. Кудж С.А. Исследование окружающего мира методами геоинформатики // Российский технологический журнал 2013 - № 1 (1) - с.95-102.

34. Цветков В.Я. Информационное описание картины мира // Перспективы науки и образования- 2014. - №5. – с.9-13/

35. Tsvetkov V. Ya. Worldview Model as the Result of Education // World Applied Sciences Journal. -2014. - 31 (2). – p.211-215.

36. Бутко Е. Я. Геоинформатика как метод построения картины мира // Славянский форум. - 2017. -1(15). – с.34-41.

37. Булгаков С.В. Информационное визуальное моделирование // Российский технологический журнал. -2014 - № 1 (2) - с.58-73.

38. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2000. - №2. - с.147-155.

39. Андреева О.А. Цифровое моделирование при проектировании железных дорог // Славянский форум. -2019. – 1(23). - с.7-13

40. Савиных В.П., Цветков В.Я. Особенности интеграции геоинформационных технологий и технологий обработки данных дистанционного зондирования // Информационные технологии. - 1999. - №10. - с.36-40.
41. Максудова Л.Г., Савиных В.П., Цветков В.Я. Интеграция наук об окружающем мире в геоинформатике // Исследование Земли из космоса.- №1. - 2000. с.46-50.
42. Коваленко А.Н. Системный подход создания интегрированной информационной модели // Славянский форум. - 2014. – 2 (6). - с.51 -55.
43. Ожерельева Т.А. Об отношении понятий информационное пространство, информационное поле, информационная среда и семантическое окружение // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 10 – с. 21-24.
44. V. Ya. Tsvetkov. Semantic environment of information units // European researcher. Series A. 2014, Vol.(76), № 6-1, p. 1059-1065
45. V. Ya. Tsvetkov, Resource Method of Information System Life Cycle Estimation // European Journal of Technology and Design . - 2014. - Vol.(4), № 2, pp.86-91.
46. Майоров А.А., Цветков В.Я. Геореференция как применение пространственных отношений в геоинформатике // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2012.- №3. - с.87 -89.
47. Савиных В.П. Информационные пространственные отношения // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. - №1 (18). – с.79-88.
48. Андреева О. А., Дышленко С. Г. Геоинформационное проектирование трехмерных объектов // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1(11). – с. 39-46.
49. Ожерельева Т. А. Организационное эвристическое управление // Государственный советник. – 2014. - №4. – с.69-75.
50. Лотоцкий В.Л. Пространственное информационное моделирование // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - 3 (15). – с.114-122. DOI:

10.21777/2312-5500-2016-3-114-122.

51. Савиных В.П. Геоинформационное моделирование в космических исследованиях // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -3 (20). – с.109-117.
52. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии - М.: Финансы и статистика, 1998. -288с.
53. Бахарева Н.А. Пространственные отношения как фактор оценки земель // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении.- 2018.- № 6. –С61-69.
54. Васютинская С. И. Пространственные отношения в кадастре недвижимости // Славянский форум, 2015. - 4(10) – с.89-96
55. Кулагин В.П. Геореференция в пространственных отношениях // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - №5 (17). – с.80-86.
56. Зайцева О. В. Развитие цифрового моделирования // Славянский форум, 2015. - 3(9) - с.105-112
57. Павлов А.И. Цифровое моделирование пространственных объектов // Славянский форум, 2015. - 4(10) – с.275-282
58. Омельченко А. С. Информационные модели пространственных объектов в геоинформационных системах // Качество, инновации, образование. - 2006. - №3. - с.14- 17.
59. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. -4(14). – с.198-203
60. Цветков В.Я. Пространственные знания // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2013. - №7. - с.43-47
61. Кужелев П. Д. Пространственные знания для управления транспортом // Государственный советник. – 2016. - №2. – с17-22.
62. Савиных В.П. Геознание. - М.: МАКС Пресс, 2016. - 132с.
63. Wallgrün, J. O. Exploiting qualitative spatial reasoning for topological adjustment of spatial data. In Proceedings of the 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems pp. 2012, November .229-238

64. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Геоинформатика. - М.: МАКС Пресс, 2001. -349с.
65. Васютинская С. И. Динамические визуальные модели в образовательных технологиях // Современное дополнительное профессиональное педагогическое образование. - 2016. - №2. - с.70.-83.
66. Раев В.К. Дихотомический метод уменьшения информационной неопределенности // Перспективы науки и образования. - 2017. - №2(26). - с.7-11.
67. Гальченко С. А. Межевание земель населенных пунктов в условиях уплотненной застройки //Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2008. – №. 5.- с.41-48
68. Гришина О. В. Границы муниципальных образований и закрепление их на местности (на примере Московской области) //Журнал российского права. – 2005. – №. 7 (103). –с.138-144.
69. Цветков В.Я. Информационное соответствие // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №1 – 3. – с.454-455
70. Булгаков С.В. Информационное соответствие в геоинформационном моделировании // Славянский форум. - 2017. -4(18). – с.7-13.
71. Ожерельева Т.А. Информационное соответствие и информационный морфизм в информационном поле // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2017 -№4. – с.86-92
72. Zandbergen P. A. A comparison of address point, parcel and street geocoding techniques //Computers, Environment and Urban Systems. – 2008. – V. 32. – №. 3. – С. 214-232.
73. Cayo M. R., Talbot T. O. Positional error in automated geocoding of residential addresses //International journal of health geographics. – 2003. – V. 2. – №. 1. – С. 10.
74. Goldberg D. W., Wilson J. P., Knoblock C. A. From text to geographic coordinates: the current state of geocoding //URISA journal. – 2007. – V. 19. – №. 1. – С. 33-47

75. Jacquez G. M. A research agenda: does geocoding positional error matter in health GIS studies? //Spatial and spatio-temporal epidemiology. – 2012. – V. 3. – №. 1. – С. 7-16
76. Ratcliffe J. H. Geocoding crime and a first estimate of a minimum acceptable hit rate //International Journal of Geographical Information Science. – 2004. – V. 18. – №. 1. – С. 61-72.
77. Corney J., Lim T. 3D Modeling with ACIS. – Stirling : Saxe-Coburg, 2001.
78. Haleem A., Javaid M. 3D scanning applications in medical field: a literature-based review //Clinical Epidemiology and Global Health. – 2018.
79. Bin D., Ghani A. Dissemination of Seri Rama Shadow Play puppet as a cultural heritage through Capcom's Street Fighter IV //Proceedings of the 6th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication. – ACM, 2012. – С. 106.
80. Лёвин Б. А., Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Моделирование рельефа на основе триангуляции Делоне // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – с.3-15.
81. Майоров А.А., Цветков В.Я. Геоинформатика как важнейшее направление развития информатики // Информационные технологии. - 2013. - № 11. – с.2-7
82. Кудж С. А., Цветков В. Я. Развитие геоинформационного моделирования // Геодезия и картография. - 2014. - №3. - с51-56
83. Журкин И.Г., Цветков В.Я. Информационное моделирование в ГИС для обработки данных дистанционного зондирования // Исследование земли из космоса. - 1998. - №6. - с.66-72.
84. Tsvetkov V. Ya. Spatial Information Models // European researcher. Series A. 2013. №10-1(60). с.2386-2392
85. Remondino F. Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning //Remote Sensing. – 2011. – Т. 3. – №. 6. – С. 1104-1138
86. V. Ya. Tsvetkov. Virtual Modeling // European Journal of Technology and Design, 2016, 1 (11), pp. 35-44

87. I. P. Deshko, K.G. Kryazhenkov, E. E. Cheharin. *Virtual Technologies // Modeling of Artificial Intelligence*. 2016, Is. 1(9), pp. 33-43.
88. Ozhereleva T. A. *Systematics for information units // European Researcher*. 2014, № 11/1 (86), pp. 1894-1900.
89. Лютый А.А. *Язык карты: сущность, система, функции*. - 2-е изд. - М.: ГЕОС, 2002. - 327 с
90. Цветков В. Я. *Язык информатики // Успехи современного естествознания*. - 2014.- №7. - с.129-133
91. Bailey-Kellogg, C., & Zhao, F. (2003). *Qualitative spatial reasoning extracting and reasoning with spatial aggregates*. *AI Magazine*, 24(4), 47
92. Цветков В. Я. *Семантика информационных единиц // Успехи современного естествознания // 2007. -. №10.- с. 103-104*
93. Савиных В.П., Цветков В.Я. *Развитие методов искусственного интеллекта в геоинформатике // Транспорт Российской Федерации*. – 2010. –№ 5. – с.41-43
94. Дышленко С.Г., Демиденко А.Г., Железняков В. А., Цветков В.Я. *Новые возможности ГИС "Панорама // Кадастр недвижимости*. – 2010. - №3(20). –с.101-103
95. Forbes A., Janée G. *Visually Browsing Georeferenced Digital Libraries // Geoinformatics*. – 2007.
96. Ознамец В. В. *Геодезическое обеспечение транспортной сферы // Славянский форум*. -2018. – 2(20). - с.50-56
97. Tsvetkov V. Ya. *Information Constructions // European Journal of Technology and Design*. -2014. № 3.(5). - p.147-152
98. Дешко И.П. *Информационное конструирование: Монография*. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 64с. ISBN 978 -5-317-05244-7.
99. Андреева О.А. *Мобильное пространственное управление // Славянский форум*. -2019. – 4(26). - с.174-184
100. Ознамец В.В. *Геодезическое обеспечение мобильного лазерного сканирования железных дорог // Наука и технологии железных дорог*. – 2019. –

2(10). – с.64-76.

101. Андреева О.А. Геоинформатика транспорта. - Saarbruken.: Palmarium Academic Publising, 2019. –181с. ISBN 978-620-0-55592-7.

102. Цветков В.Я. Информационные модели объектов, процессов и ситуаций // Дистанционное и виртуальное обучение- 2014. – 5(83). - с.4- 11.

103. Куприянов А.О. Цифровое моделирование железнодорожного пути // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - 3 (15). – с.104-114. DOI: 10.21777/2312-5500-2016-3-104-114.

104. Андреева О. А., Булгаков С. В. Цифровое моделирование при проектировании трассы железных дорог // Информация и космос. 2019.- №3. – с.136-134.

105. V. Ya. Tsvetkov. The Cognitive Modeling with the Use of Spatial Information // European Journal of Technology and Design, 2015, 4 (10), pp. 149-158.,

106. Болбаков Р.Г. Когнитивное пространственное моделирование // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019.- № 3 (13). – с.3-9.

107. Scicluna J., Abela C., Montebello M. Visual modeling of owl-s services //Proceedings of CSAW’04. – 2004. – С. 86.

108. Майоров А.А. Виртуальные модели при изучении логистики // Славянский форум. -2015. - 1(7) - с.169-176.

109. V.Ya. Tsvetkov, R.G. Bolbakov and A.V. Sinicyn. Dichotomous and semantic trees // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), Volume 9, Issue 11, November 2018, pp. 2477–2485. .

110. Tsvetkov V. Ya. Information objects and information Units // European Journal of Natural History. - 2009. - №2. - p.99.

111. Кудж С.А. Тринитарные информационные единицы // Славянский форум, 2016. -4(14). – с.137-143.

112. Козлов А.В. Информационные единицы в субсидиарных технологиях // Славянский форум. -2019. – 1(23). - с.14-19.

113. Tsvetkov V. Ya. Information interaction // European researcher. 2013.

№ 11-1 (62). С. 2573-2577.

114. Раев В.К. Процессуальные и дескриптивные информационные модели // Славянский форум. -2018. – 3(21). - с.28-32.

115. Цветков В. Я. Естественное и искусственное информационное поле// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. -2014. - №5- 2. – с.178 -180

116. Tsvetkov V.Ya., Shaitura S.V., Minitaeva A.M., Feoktistova V.M., Kozhaev Yu.P., Belyu L.P. Metamodelling in the information field // Amazonia Investiga. 2020. Т. 9. № 25. С. 395-402.

117. Кудж С.А. Информационное поле: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 97 с. ISBN 978-5-317-05530-1

118. Габидулин В. Трехмерное моделирование в AutoCAD 2013. – Litres, 2017.

119. Akenine-Moller T., Haines E., Hoffman N. Real-time rendering. – АК Peters/CRC Press, 2018.

120. Плессер П. Л., Ильинский Н. И. Видозависимая тесселяция 3d-объектов как инструмент управления динамическим уровнем детализации //Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2011. – №. 3. – С. 81-87.

121. Борнев А. Ю., Разборщикова А. В. Адаптивная тесселяция гладких параметрических поверхностей на GPU //Молодежный научно-технический вестник. – 2017. – №. 4. – С. 21-21.

122. Burdea G. C., Coiffet P. Virtual reality technology. – John Wiley & Sons, 2003.

123. Дышленко С.Г., Цветков В.Я. Развитие дополненной реальности // Науки о Земле. – 2017. - № 1. - с.69-78.

124. Pan Z. et al. Virtual reality and mixed reality for virtual learning environments //Computers & graphics. – 2006. – Т. 30. – №. 1. – С. 20-28.

125. Андреева О.А. Применение мобильного лазерного сканирования для мониторинга объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии



железных дорог. – 2019. – 3(11). – с.61-74.

126. Markelov V.M. The Application of Information Units in Logistics// European Journal of Technology and Design, 2014, № 4(6), p. 176-183.

127. Докукин П. А. Графические информационные единицы // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. - с.32-39.

128. Ознамец В. В. Ситуационное решение задачи пространственного размещения // Геодезия и картография. - 2018. - №9. – с.45-51.

129. Gerald F. Marshall Handbook of Optical and Laser Scanning, Marcel Dekker, Inc., 2004,

130. Цветков В.Я. Комплементарность информационных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №2. – с.182-185

131. Богоутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. - 2014. - Т. 24. № 4. – с.103-116.

132. Цветков В.Я. Комплементарные отношения // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. -2019. – 2(75). - с.101-114.

133. Щенников А.Н. Комплементарность при обработке информации // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1. – с. 24-30

134. Савиных В.П. Концептуальное смешивание в геознании // Славянский форум. - 2017. - 2(16). – с.19-24.

135. Hubbard T. D., RD Combellick R. A. High-resolution lidar data for Alaska infrastructure corridors. – 2011.

136. Priemus H., Zonneveld W. What are corridors and what are the issues? Introduction to special issue: the governance of corridors //Journal of Transport Geography. – 2003. – V. 11. – №. 3. – p.167-177

137. Szimba E. et al. Evaluation of transport infrastructure projects on corridors by a Strategic Assessment Framework //10th World Conference on Transport

ResearchWorld Conference on Transport Research Society Istanbul Technical University. – 2004.

138. Witte P. et al. Capitalising on Spatiality in European Transport Corridors //Tijdschrift voor economische en sociale geografie. – 2013. – V. 104. – №. 4. – p.510-517.

139. Nechaev G., Slobodyanyuk M. Development of transport infrastructure in Eastern Ukraine and its interaction with the international transport corridors //TeKa Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. – 2011. – V. 11.

140. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. - М.: Картоцентр-Геодезиздат, 2001. - 224с.

141. Бондур В. Г., Чимитдоржиев Т. Н. Дистанционное зондирование растительности оптико-микроволновыми методами //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2008. – №. 6. – С. 64-73.

142. Саворский В. П. и др. Современные подходы и технологии организации работы с данными дистанционного зондирования Земли для решения научных задач //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. – №. 5. – С. 21-44.

143. Савиных В.П. Интеграция учебных дисциплин на основе геоинформатики // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2013. - №6. –с.5-10

144. Булгаков С.В., Ковальчук А.В., Цветков В.Я., Шайтура С.В. Интегрированные геоинформационные системы. - М.: МГТУ им. Баумана, 2007 - 113 с.

145. Непоклонов В.Б., Шлапак В.В., Цветков В.Я., Лонский И.И. Автоматизация обработки визуальной геопространственной информации ГИС // Информация и космос. -2018. - №2. – с. 93-97.

146. Лобанов А. Н. Аналитическая фотограмметрия. – М.: Недра, 1972. - 224с.

147. Агапов С. В. Фотограмметрия сканерных снимков. – М.: Картоцентр – геодезиздат, 1996. -228с.

148. Цветков В.Я. Методы и системы обработки и представления

видеоинформации. - М.:ГКНТ, ВНИЦентр, 1991. - 113с

149. Макар С. В. Пространственный анализ: развитие концепции и возможностей применения //Вестник финансового университета. – 2012. – №. 2. – С. 61-72.

150. Орехова Е. А., Плякин А. В. Пространственный анализ и оценка потенциала экономического развития муниципальных районов //Бизнес. Образование. Право. – 2015. – №. 1. – С. 98-105.

151. Булгаков С.В., Цветков В.Я. Пространственный анализ: Монография. – Москва: МАКС Пресс, 2018. – 216с.

152. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. 2012, 12-1 (36), p.2166- 2170.

153. Tsvetkov V. Ya. Dichotomic Assessment of Information Situations and Information Superiority // European researcher. 2014. № 11-1 (86). p.1901-1909.

154. Лотоцкий В.Л. Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский форум. - 2017. -2(16). – с.39-44.

155. Сельманова Н.Н. Информационная ситуация как инструмент оценки недвижимости // Славянский форум. -2018. – 2(20). - с.90-96.

156. Титов Е.К. Модели информационных ситуаций // Славянский форум. - 2019. – 1(23). - с.46-52.

157. Замышляев А.М. Эволюция цифрового моделирования // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.82-91.

158. Дышленко С.Г. Пространственные задачи определения координат объектов железнодорожного транспорта // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – с.31-38.

159. Куприянов А.О. Цифровое моделирование при проектировании и мониторинге трасс // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.70-81.

160. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. - 2012. - №4. - с.054-058.

161. Козлов А.В. Многоцелевое управление транспортом мегаполиса//

Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 4(8). – с.40-47.

162. Дзюба Ю.В. Многоцелевое управление подвижными объектами // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 1(9). – с.53 -60

163. Кужелев П.Д. Применение методов предпочтений для поддержки принятия решений в прикладной геоинформатике // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - 3 (15). – с.95-104.

164. Замышляев А.М. Информационное управление в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – с.11-24.

165. Цветков В.Я. Системное управление // Государственный советник. – 2019. - №1(25). – с.57-64.

166. Савиных В.П. Космические исследования как средство формирования картины мира // Перспективы науки и образования- 2015. - №1. – с.56-62.

167. Коваленко Н.И. Информационный подход при построении картины мира // Перспективы науки и образования. - 2015. - №6. - с.7-11

168. Цветков В.Я., Журкин И.Г. Разработка характеристик и оценка качества информации в ГИС// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэросъемка. – 1999. -№5. - с.113-121.

169. Цветков В.Я. Журкин И.Г. Оценка качества графических данных, полученных на основе векторизации // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэросъемка. - 1999. - №5. -с 121- 125.

170. Ожерельева Т.А. Дескриптивные модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №5-4. – с. 675-675

171. Андреева О.А. Прескриптивные логические модели как основа научного обоснования методики геоинформационного моделирования с МЛС // Славянский форум. -2019. – 4(26). - с.7-16.

172. Кудж С.А., Цветков В.Я. Логика и алгоритмы: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2019. – 112 с.

173. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование с использованием МЛС // Славянский форум. -2019. – 3(25). - с.206-215.

174. Дышленко С.Г. Трехмерное моделирование в ГИС // Перспективы

науки и образования- 2014. - №2. – с.28-33.

175. Непейвода Н. Н. Конструктивная математика: обзор достижений, недостатков и уроков. Часть I //Логические исследования. – 2011. – №. 17. – с.191-240
176. Brouwer L.E.J. Over de grondslagen der wiskunde. Amsterdam: Thesis, 1907
177. Буравцев А.В. , Цветков В.Я. Облачные вычисления для больших геопространственных данных // информация и космос. - 2019. - №3. –с .110-115.
178. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. 2017. – Т.15 , №6(73). – с.20-30.
179. Андреева О.А., Конон Н.И., Ратинский М.Г. К вопросу использования дистанционного зондирования местности при проектировании железных дорог // Геодезия и картография – 2019.- №5.- С.47-53.
180. Dassot, M., Constant, T., & Fournier, M. (2011). The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. *Annals of forest science*, 68(5), 959-974.
181. Цветков В.Я. Информационное управление. Saarbrücken, Germany 2012.
182. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – с42-46.
183. Fernald F. G. Analysis of atmospheric lidar observations: some comments //Applied optics. – 1984. – Т. 23. – №. 5. – С. 652-653.
184. Ye C., Borenstein J. Characterization of a 2D laser scanner for mobile robot obstacle negotiation //Proceedings 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 02CH37292). – IEEE, 2002. – Т. 3. – С. 2512-2518.
185. Ознамец В. В. Геодезическое обеспечение железнодорожных трасс//Наука и технологии железных дорог. - 2019. - Т. 3. № 3 (11). С. 50-60.
186. Ознамец В. В. Геодезическое обеспечение мобильного лазерного

сканирования железных дорог//Наука и технологии железных дорог. - 2019. - Т. 3. № 2 (10). С. 64-76.

187. Майоров А.А. Развитие информатики в научном направлении геоинформатика //Вестник МГТУ МИРЭА. - 2014. - № 1 (2). С. 42-57.

188. Б. А. Левин [и др.]; Геоинформатика транспорта = Geoinformatics of transports//[науч. ред.: Резер С. М.] ; Рос. акад. наук, ВИНТИ, Москва 2006 – 334 с.

189. Мазина, Анастасия Сергеевна, диссертация кандидата технических наук, Исследование технологии визуального моделирования в геоинформатике, 25.00.35, Москва 2004 – 157 стр.

190. Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 1999. - № 4. С. 147-157.

191. А.А. Майоров, В.Я. Цветков, О.А. Андреева Трехмерное геоинформационное моделирование при массовом сборе информации// Известия ВУЗОВ. Геодезия и аэрофотосъемка – 2020.-№2.-С.229-236;

192. В.Я. Цветков, О.А. Андреева Геоинформационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры по данным мобильного лазерного сканирования// Известия ВУЗОВ. Геодезия и аэрофотосъемка – 2020.-№3.-С.354-360.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1. Правила моделирования трехмерных объектов

#### 1. Назначение.

Настоящие Правила устанавливают требования к цифровому описанию трехмерных объектов в формате Bentley Microstation и EsriArcGIS с использованием библиотеки трехмерных элементов инфраструктуры железнодорожного транспорта (ИЖТ).

#### 2. Термины, сокращения.

МЛС – мобильное лазерное сканирование.

ИЖТ – инфраструктура железнодорожного транспорта.

ТЛО – точки лазерного отражения.

СК – система координат.

ЖД – железная дорога.

КС – контактная сеть.

ЛЭП – линии электропередачи.

ИССО – искусственные сооружения.

#### 3. Требования к цифровому описанию объектов по типам.

##### 3.1. Группа объектов 01 "Зона векторизации"

Это служебная группа, которая используется для определения области обработки.

**Зоны** отсчитываются от осевой, проложенной посередине между путями, по которым осуществлялось мобильное лазерное сканирование. В случае одного прохода осевой является траектория движения носителя МЛС.

**Блоки** формируются вдоль осевой.

##### 3.2. Группа объектов 02 "Математическая основа"

**Километровые, пикетные, предельные столбики** отображаются в виде объемных моделей (mesh), с точкой (point) в верхней точке модели. Модели построены по проектным чертежам и представлены в библиотеке информационных единиц. При отсутствии библиотеки, объекты моделируются по ТЛО. Точность вписывания в ТЛО +/-50 мм.

**Отметки высот** следует формировать равномерно по сетке с ребром 25 м.

**Горизонталы** должны быть представлены сглаженной полилинией. Основные горизонталы наносят через 0,5 м и утолщенные через 2 м (каждая четвертая основная горизонталь – утолщенная). Горизонталы длиной менее 3м удаляются.

##### 3.3. Группа объектов 03 "Неклассифицированные объекты"

Данная группа объектов не моделируется.

##### 3.4. Группа объектов 10 "Населенный пункт, здания, сооружения "

Каждое здание должно отображаться в виде твердотельного объекта (solid, smartsolid, mesh) с основными элементами крыши. Строения, находящиеся на расстоянии до 5 м от оси пути, моделируются с основными элементами конструкции (выступающими за контур фундамента более чем на 1 м).

Небольшие сооружения, примыкающие друг к другу вплотную (такие как гаражи) могут отображаться единым объектом. Точность вписывания в ТЛЮ видимых частей строений +/-50 мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения.

### **3.5. Группа объектов 11 "Дорожные сооружения"**

**Платформа** должна отображаться в виде твердотельного объекта solid, smartsolid, mesh в зависимости от способа моделирования и представлять собой единый объект не разбитый на участки. Сложносоставные платформы (высокие/низкие) моделируются как отдельные объекты. **Фундаменты платформ** моделируются упрощенно (особое внимание на выступающие за платформу в направление пути элементы фундамента). **Лестницы, примыкающие к платформе** и расположенные вдоль путей, моделируются упрощенно (без ступеней). Другие лестницы не моделируются. Перила примыкающих лестниц заносятся в слой «Ограждения». Платформы должны моделироваться с точностью не менее "+" 25 мм (в сторону оси пути) и "-" 30 мм (в сторону противоположную оси пути) в плане, и "+" 20 мм "-" 50 мм по высоте (рис. 1). Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения.



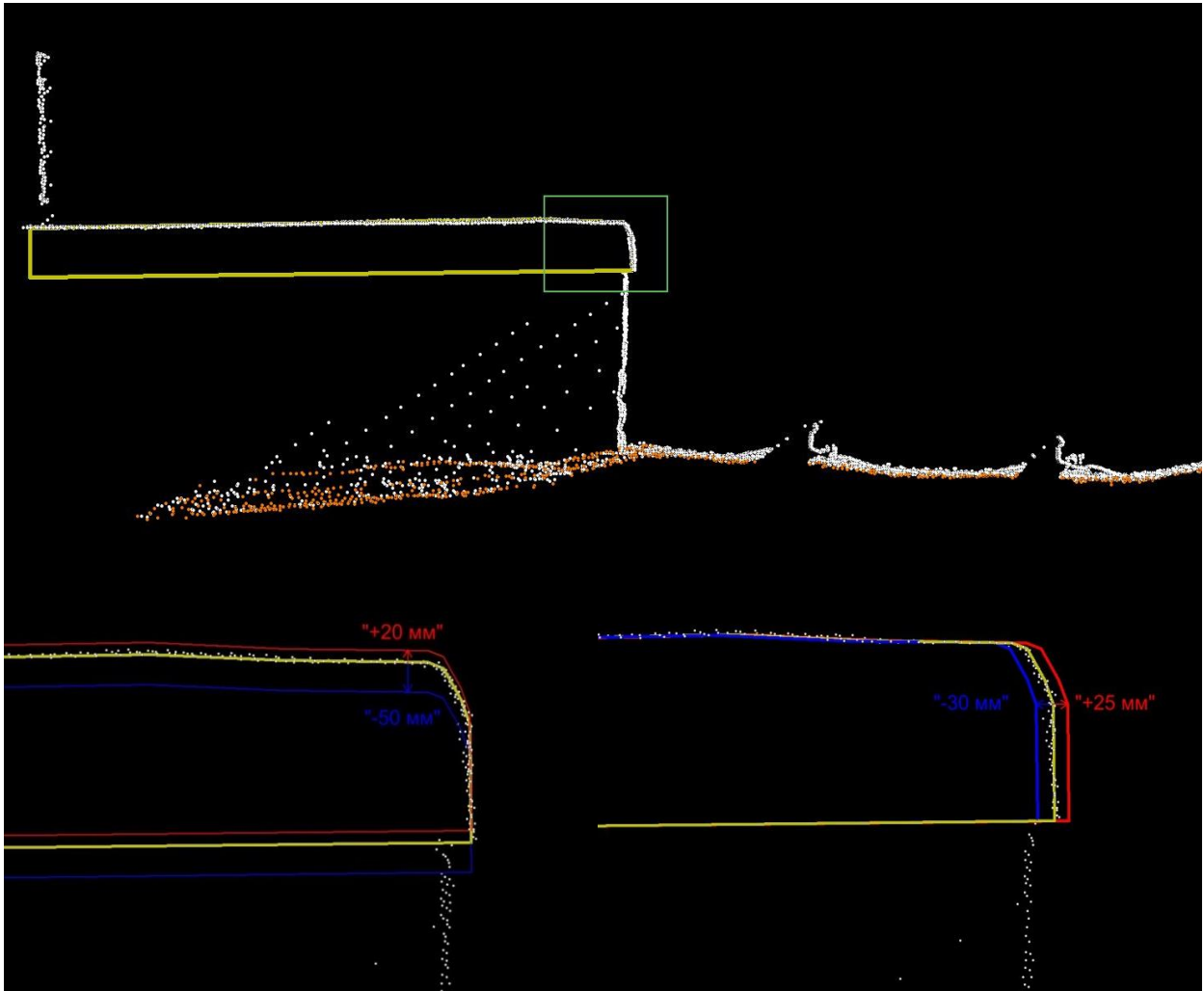


Рисунок 1. Точность моделирования платформы

**Перезеды и переходы** также должны отображаться в виде твердотельных объектов и разделяться или иметь выемки в местах пересечения с рельсами (рис. 2). Точность вписывания в ТЛЮ 50 мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения.

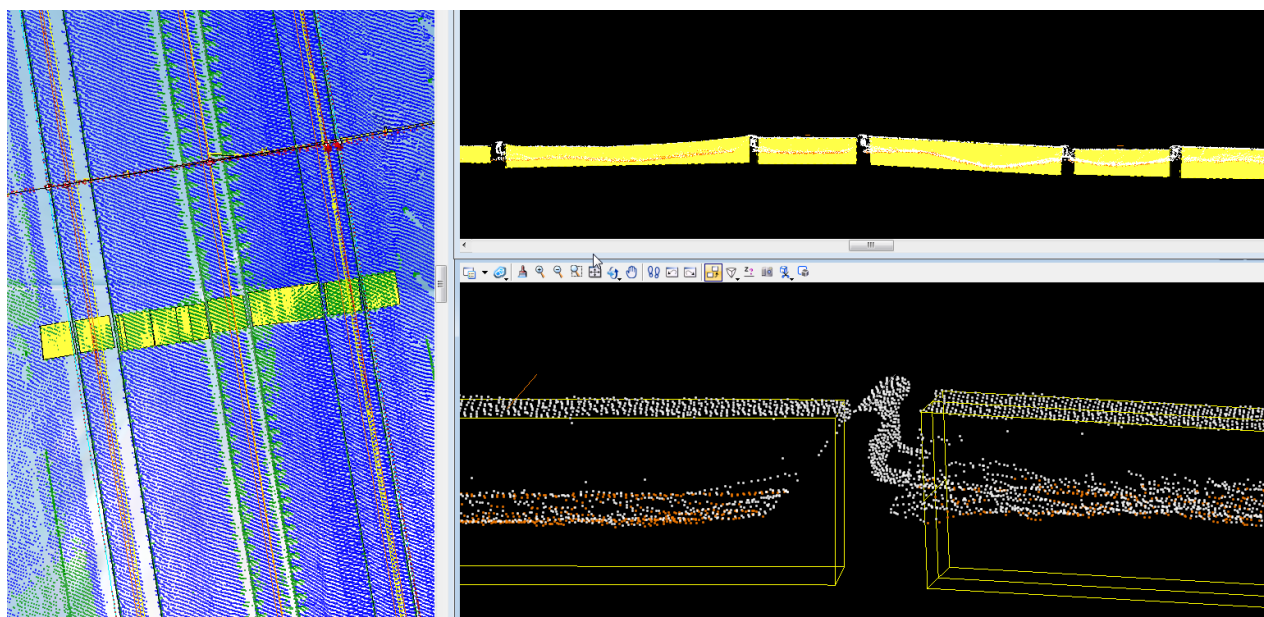


Рисунок 2. Отображение переездов и переходов

**Светофоры ж/д** должны представлять собой твердотельный объект (mesh, solid, smartsolid). Светофор должен в себя включать ось (line) и точку (point). **Точка** формируется в центре опоры на высоте головки рельса для мачтовых светофоров. Для карликовых - в центре и на максимальной высоте фундамента, подвесных – в центре подвеса по минимальной высоте. **Ось** формируется для мачтового светофора (обязательно) и должна проходить по центру опоры (мачты). Каждый геометрический тип модели светофора должен находиться в слое согласно классификатору.

Тип (мачтовый/карликовый/подвесной) светофора должен быть четко идентифицирован по ТЛО или фотофиксации. Светофоры отображаются в виде единых объемных моделей или моделей-«конструкторов» (блоков), построенных по проектным чертежам и представленных в библиотеке трехмерных информационных единиц. Модели-«конструкторы» представляют собой полностью смоделированный объект, но не сложенный в единый solid, что дает возможность вписывать его по частям и редактировать элементы креплений. Точность вписывания в ТЛО и моделирования светофоров 50 мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения. При отсутствии светофора данного типа в библиотеке, моделирование происходит путем сборки объекта из библиотечных моделей-«конструкторов» (блоков). При отсутствии в библиотеке требуемого типа светофора или подходящих блоков, объекты моделируются по ТЛО. **Светофор на пересечении с ж/д** входит в состав модели-«конструктора» шлагбаума, находясь при этом в слое, согласно классификатору. Корзина подвесного светофора векторизуется полилиниями как часть поперечины. Подвесной светофор обязательно должен иметь крепление к поперечине.

**Устройства СЦБ** отображаются в виде упрощенных моделей, построенных по ТЛО, или библиотечных информационных единиц. Точность вписывания в ТЛО 50 мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения. **Шлагбаумы** отображаются в виде библиотечных информационных единиц. Точность вписывания в ТЛО 200 мм.

### 3.5. Группа объектов 12 "Верхнее строение пути"

**Рельсовая нить по верху центра головки рельса** отображается в виде трехмерной полилинии (рис. 3). Каждая рельсовая нить должна быть непрерывна в пределах участка обработки и сводиться в один узел с рельсовыми нитями на примыкающих участках. Точность вписывания рельсовой нити в ТЛО для главных путей, по которым производилась съемка (для одного прохода) «←» 4 мм / «+» 8 мм. Для каждого соседнего пути точность уменьшается на 50%. Рельсовые нити, плохо идентифицируемые по ТЛО (не видны характерные точки, по которым вписывается шаблон рельсы), не векторизуются. Точность вписывания рельсовой нити по данным нескольких проходов определяется на основе уравнивания этих проходов.

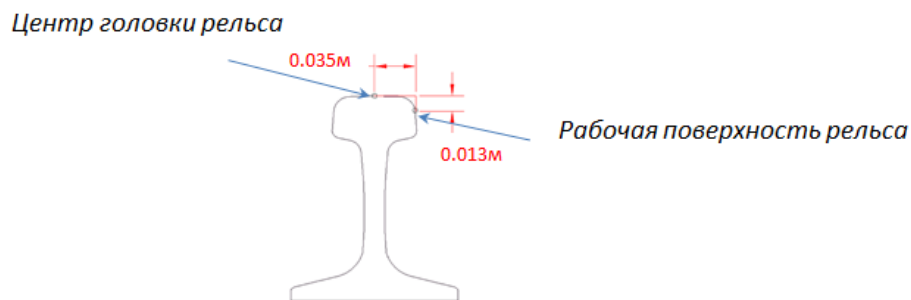


Рисунок 3. Пространственная модель сечения рельса и рельсовая нить

**Рельсовая нить по рабочей поверхности** не моделируется (не векторизуется).

**Ось пути** формируется посередине между рельсами в плане и по высоте. На перекрестном стрелочном переводе векторизуются все рельсовые нити (8 шт.) (рис. 4). Рельсовые нити на перекрестном стрелочном переводе можно условно разделить на основные (зеленые – рельсовые нити подходящих или проходящих через стрелочный перевод путей) и дополнительные (желтые – рельсовые нити внутри стрелочного перевода).

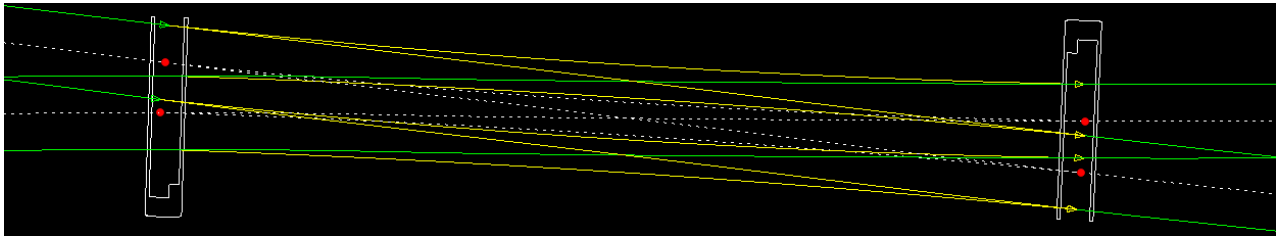


Рисунок 4. Рельсовые нити перекрестного стрелочного перевода

Осевые линии отображаются для всех рельсовых нитей.

**Межрельсовые уголки** векторизуются на мостах, а на стрелках не векторизуются. По цифровой модели рельефа должны быть определены и векторизованы в виде 3D полилинии следующие структурные линии (рис. 5):

- Бровка балластной призмы (БП);
- Подошва балластной призмы (БП);
- Бровка земляного полотна (ЗП);
- Подошва земляного полотна (ЗП).

Все структурные линии векторизуются при их однозначной идентификации.

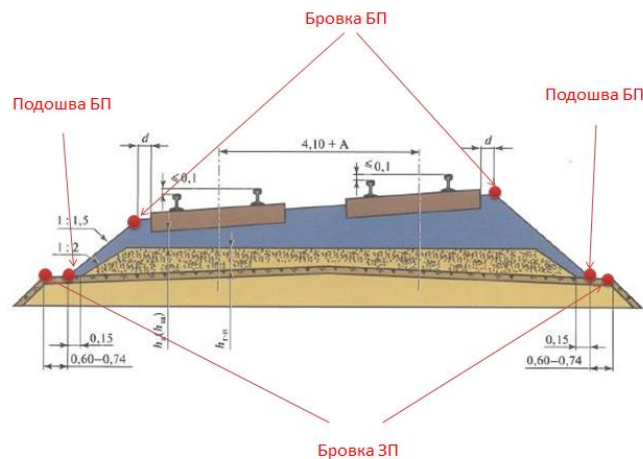


Рисунок 5. Пространственная модель балластной призмы

**Шпалы** векторизуются в виде линий по следующим правилам:

- Расстояние (по высоте) от шпалы до линии рельсы должно быть одинаковым (т.е. если левая рельса выше правой – шпала должна быть наклонной);
- Необходимо учесть, что при изгибе оси пути шпалы расставляются в виде веера, как перпендикуляр к оси пути.

**Тупик** отображается в виде твердотельного объекта (solid, smartsolid, mesh). Верхняя часть тупика отображается библиотечным элементом, нижняя моделируется по факту. Если нижняя часть тупика представляет собой насыпь, она описывается ЦМР и не подлежит моделированию.

Точность моделирования - 100 мм.

К **трубопроводу** относятся все параллельные и пересекающие ж/д пути объекты круглого (овального) сечения диаметром от 40 см. Точность моделирования - 50 мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения.

**Водоотводная канава** векторизуются полилинией, проходящей по центру нижней выемки, либо по верху водоотводного короба (рис. 6). Точность векторизации "+/-" 200 мм.

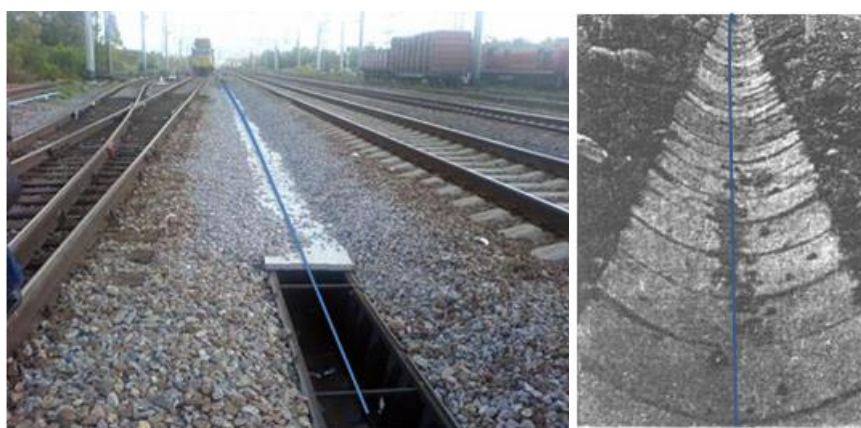


Рисунок 6. Водоотводные канавы

К **освещению** относятся столбы освещения и фонари, расположенные на опорах КС, ЛЭП, фермах освещения и других конструкциях. Фонари отображаются в виде объемных моделей.

**Стрелочный перевод** представляет собой:

- точку, поставленную на оси в месте пересечения с переводной балкой;

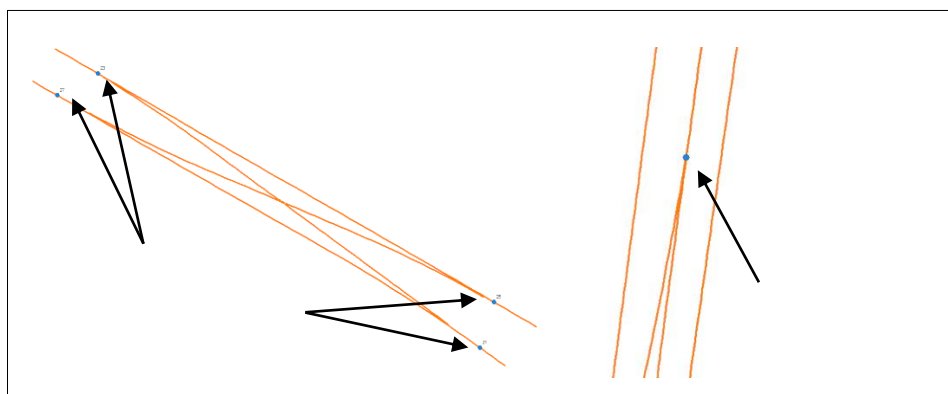


Рисунок 7. Моделирование стрелочного перевода

- объемную модель, моделируемую с точностью +/-50 мм путём вписывания библиотечной модели в ТЛО.

**Ферма освещения** (балка на жесткой поперечине, к которой крепятся осветительные фонари) моделируется 3D полилинией с точностью +/- 100 мм.

**Громкоговорители** отображаются в виде библиотечных информационных единиц. Точность вписывания в ТЛО 50 мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения.

### **3.6. Группа объектов 13 "Автодороги"**

Автодороги отображаются в трехмерном виде. Дороги векторизуются полилинией и только те, которые однозначно идентифицируются по данным МЛС/ортофото и имеют четко выраженную бровку. Не допускается, чтобы линия выходила за пределы бровки (при использовании ТЛО) или асфальтовое покрытие (при использовании ортофото). Дороги следует векторизовать полностью, до границ зоны обработки. Объекты, не имеющие четко выраженной бровки (покрытия), допускается векторизовать одной полилинией, проходящей вдоль, по центру объекта.

### **3.7. Группа объектов 14 "Линии электропередач и связи ЛЭП"**

Все виды **опор ЛЭП**, включая их фундаменты, отображаются в виде объемных моделей. Фермовые опоры моделируются в виде твердотельного объекта, построенного по её внешнему контуру. При отсутствии в библиотеке требуемого типа опор, объекты моделируются по ТЛО. Если опора ЛЭП расположена за пределами земляного полотна ж/д, допускается моделирование в упрощенном виде (например, информационная единица в виде одиночного столба ЛЭП). Опоры ЛЭП должны быть искусственно заглублены ниже «точек земли».

**Провод ЛЭП** отображается в виде 3D полилинии, описывающей геометрическую ось объекта. Начинаться и заканчиваться провод должен в точке подвеса или в опоре. Изломы провода располагаются только в точках подвеса провода, по всей длине пролета между точками подвеса изломов быть не должно. Провод ЛЭП должен быть векторизован непрерывной полилинией в пределах обрабатываемого участка. Если пролет провода ЛЭП между точками подвеса частично выходит за границу зоны обработки, его следует векторизовать до границы зоны обработки (не до точки повеса). Точность вписывания в ТЛО +/- 100 мм. Провода связи, расположенные вертикально на опорах КС, допускается упрощать до одного. Количество проводов на одной консоли ЛЭП может быть сокращено до трех (если их больше).

**Трансформатор, шкаф** отображаются в виде упрощенных моделей, построенных по ТЛО или библиотечных информационных единиц. Точность вписывания в ТЛО 50 мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения.

На **подстанции** векторизуется только портал, на который заводятся линии электропередач ж/д. Остальные элементы подстанции (в пределах ограждения) не моделируются.

**Консоли ЛЭП** должны векторизоваться в виде линий, отражающих пространственное положение геометрической оси элементов конструкции. Консоли ЛЭП допускается отображать упрощенным способом. Все линии должны быть привязаны друг к другу в местах сопряжения конструкций.

Подвес проводов ЛЭП векторизуется в упрощенном варианте: без изоляторов и шлейфов (провод подсоединяется непосредственно к консоли); спуски и отводы на опорах, перемычки - не векторизуются; отводы на трансформатор допускается векторизовать по прямой. Точность вписывания в ТЛО 200 мм.

### **3.8. Группа объектов 15 "Контактная сеть"**

Все виды **опор КС**, включая их фундаменты, отображаются в виде объемных моделей, включающих в себя ось (line) и точку (point). Модели построены по проектным чертежам и представлены в библиотеке трехмерных информационных единиц. Фермовые опоры моделируются в виде твердотельного объекта, построенного по её внешнему контуру. При отсутствии в библиотеке требуемого типа опор, объекты моделируются по ТЛО. Точность вписывания в ТЛО и моделирования опор 50 мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения. Опоры КС и анкера должны быть искусственно заглублены ниже «точек земли». Опорами КС необходимо считать все опоры, находящиеся на земляном полотне или на расстоянии 8 м от крайнего рельса.

**Провод и трос КС** отображается в виде трехмерной полилинии, описывающей геометрическую ось объекта. Начинаться и заканчиваться провод должен в точке подвеса или в опоре КС. Контактный провод и трос должны быть непрерывными в пределах анкерного участка и при окончании анкерного участка заглубляться в опору КС. Двойной контактный провод и поддерживающие их тросы допускается упрощать до одного. Точность вписывания в ТЛО 100 мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения.

**Консоли КС** должны векторизоваться в виде линий, отражающих пространственное положение геометрической оси элементов конструкции. Консоли КС допускается отображать упрощенным способом. Все линии должны быть привязаны друг к другу в местах сопряжения конструкций. Двойные фиксаторы заменяются одиночными. Подвес проводов КС векторизуются в упрощенном варианте: без изоляторов и шлейфов (провод подсоединяется непосредственно к консоли); спуски и отводы на опорах, перемычки - не векторизуются.

**Жесткие и гибкие поперечины** отображаются в виде трехмерных полилиний и должны соединяться с телом опоры. Корзина подвесного светофора векторизуется полилиниями как часть поперечины. Точность вписывания в ТЛО +/- 150 мм.

Элементы конструкций натяжения проводов отображаются упрощенно линейными (**подвес компенсатора**) и объемными (**компенсатор**) информационными единицами в зависимости от типа элемента (бетонные грузы – цилиндры, металлические тросы – трехмерная полилиния, **анкера** – твердотельный объект). Количество тросов **оттяжек** и грузокompенсаторов должно соответствовать количеству, идентифицируемому по ТЛО.

Под **брошенными фундаментами** понимаются конструктивные элементы демонтированных опор КС. Точность вписывания в ТЛО 50 мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения. Брошенные фундаменты должны быть искусственно заглублены ниже «точек земли».

### ***3.9. Группа объектов 16 "Границы, ограждения"***

Все **ограждения** (перила, заборы и т.п.) векторизуются полилиниями, отображающими верхний край объекта по кромке (не по стойкам/столбам). Если ограждение имеет округлую форму, в этом случае скругленная часть подлежит схематичному разделению на более короткие прямолинейные участки и отображается также, как описано выше. Точность вписывания в ТЛО 100 мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения.

### ***3.10. Группа объектов 17 "Искусственные сооружения (ИССО)"***

**Мосты, тоннели, путепроводы, водопропускные трубы, укрепительные сооружения** моделируются в виде единых твердотельных объектов, включающих в себя основные элементы конструкций. Сложносоставные объекты ИССО допускается моделировать из нескольких частей. Опоры мостов должны быть искусственно заглублены ниже «точек земли». Объекты автодорожной инфраструктуры *на путепроводах* (ограждения, светофоры, освещение) не моделируются. Подземные элементы ж/д мостов и водопропускных труб моделируются как логическое продолжение (соединение) видимых элементов (рис. 8).



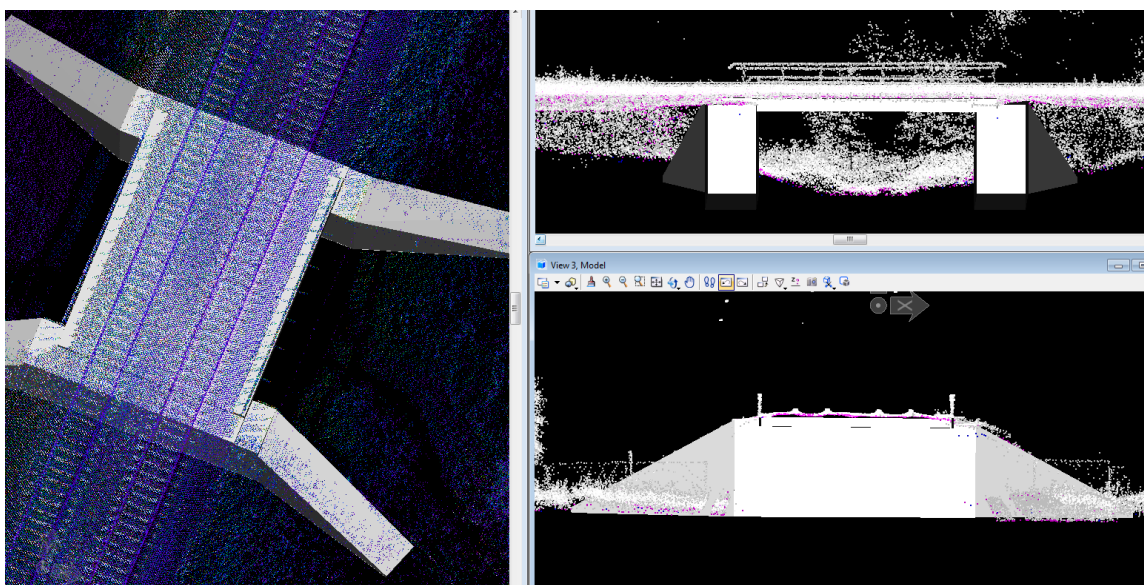


Рисунок 8. Искусственные сооружения

Точность вписывания в ТЛО 50 мм. Указанная точность определяется как максимальное отклонение трехмерной модели объекта от соответствующих этому объекту точек лазерного отражения.

### **3.11. Группа объектов 20 "Цифровая модель рельефа земли (ЦМР)"**

Цифровая модель рельефа должна формироваться в виде регулярной сетки только из точек класса «земля». ЦМР не должна содержать артефактов от любых искусственных сооружений и низкой растительности (трава). Шаг сетки при построении модели должен составлять 10 см. Формат выходных данных: ArcGIS: RasterDataset, CellSize: 0.1, 0.1м(\*.asc); Modelkeypoints(\*.las).

### **3.12. Группа объектов 21 "Гидрография"**

Данный объект не является обязательным для отображения в трехмерном виде. Объекты гидрографии векторизуются полилинией по урезу воды (при использовании ТЛО) или по видимой поверхности воды (при использовании ортофото). Объекты гидрографии следует векторизовать полностью, до границ зоны обработки. Объекты, не имеющие четко выраженного уреза воды (ручьи), допускается векторизовать одной полилинией, проходящей вдоль, по центру объекта.

### **3.13. Группа объектов 22 "Цифровая модель местности (ЦММ)"**

Цифровая модель местности (растительности) формируется в виде регулярной сетки по точкам, принадлежащим высокой растительности (от 3 метров над землей или выше). ЦММ не должна содержать артефактов от любых искусственных сооружений. Шаг сетки при построении модели должен составлять 50 см. Формат выходных данных: ArcGIS: RasterDataset, CellSize: 0.5, 0.5м(\*.asc); Model keypoints (\*.las).

***Общее для всех объектов***


Все объекты векторизуются в зоне +/- 50 м, которая отсчитывается от осевой, проложенной посередине между путями, по которым осуществлялось мобильное лазерное сканирование. Твердотельные объекты, выходящие из зоны векторизации, необходимо моделировать целиком. Составные объекты должны объединяться в один, за исключением платформ переменной высоты и ИССО сложных конструкций.

## Приложение 2. Правила формирования базы данных геоинформационных объектов


### 1. Правила формирования базы данных геоинформационных объектов

#### 1.1. Вспомогательные объекты

##### 1.1.1. Зоны съемки, обработки, векторизации (полигон), pMask/pZona\_a

Наименование слоя		pZona_a				
Тип хранящихся данных		2D Polygon				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Зоны съемки, обработки, векторизации (полигон)				
Вхождение в групповой слой проекта		pMask				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой					
	На которые ссылается данный слой					
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	020050
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	020050	Полоса обработки данных МЛС				
2	010051-010099	Служебные маскирующие слои (для СЦТП)				

##### 1.1.2. Блоки LAS (полигон), pMask /pBlock\_a



<b>Общее описание слоя</b>						
Наименование слоя		pBlock_a				
Тип хранящихся данных		Polygon				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Блоки LAS-файлов (2D-полигон)				
Вхождение в групповой слой проекта		pMask				
Связанные слои с иным представлением объектов	слой/таблица					
	атрибут/поле					
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Домен	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	010001
3	Text	Номер блока	String	10		
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	010001	Блоки LAS-файлов				

### 2. Путьевые постоянные знаки (Математическая основа)



#### 1.2.1. Путьевые постоянные знаки (3D-объект), wOthers /wPk\_m

Наименование слоя				wPk_m		
Тип хранящихся данных				3D Multipath		
Описание группы объектов хранящихся в слое				Путевые постоянные знаки (3D-объект)		
Вхождение в групповой слой проекта				wOthers		
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой		<a href="#">pPk_p</a>		
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	020100,020200
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID		X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание		Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте
1	020100	Километровый столб				
2	020200	Пикетажный столбик				

### 1.2.2. Километровый столб, пикетный столбик (точка), wGeodesy /pPk\_p

Наименование слоя				pPk_p		
Тип хранящихся данных				2D Point		
Описание группы объектов хранящихся в слое				Километровый столб, пикетный столбик (точка)		
Вхождение в групповой слой проекта				wGeodesy		
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой		<a href="#">wPk_m</a>		
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	020100,020200
3	NUM	Номер	String	50		
4	WID	Идентификатор главного пути	Integer	4		
5	ANGLE	Угол отображения условного знака	Double	8	X	
6	PRESENCE	Наличие	ShortInteger			0 – Нет 1 – Да (сBoolean)
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание		Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте
1	020100	Километровый столб				
2	020200	Пикетажный столбик				

### 1.2.3. Километровый столб, пикетный столбик (точка), wGeodesy /pPk\_p

Наименование слоя				pPk_p		
Тип хранящихся данных				2D Point		
Описание группы объектов хранящихся в слое				Километровый столб, пикетный столбик (точка)		
Вхождение в групповой слой проекта				wGeodesy		
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой		<a href="#">wPk_m</a>		
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	020100,020200
3	NUM	Номер	String	50		
4	WID	Идентификатор главного пути	Integer	4		
5	ANGLE	Угол отображения условного знака	Double	8	X	
6	PRESENCE	Наличие	ShortInteger			0 – Нет 1 – Да (сBoolean)
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	020100	Километровый столб				
2	020200	Пикетажный столбик				

#### 1.2.4. Снесенный на ось пути километровый пикетаж (точка), wGeodesy /pPicket\_p

Наименование слоя				pPicket_p (старое название wPk_p)		
Тип хранящихся данных				2D Point		
Описание группы объектов хранящихся в слое				Снесенный на ось пути километровый пикетаж (точка)		
Вхождение в групповой слой проекта				wGeodesy		
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	020210
3	OP_KM	Эксплуатационный километр	Integer	4	X	
4	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID		X	
5	M	Метр	Double	8	X	
6	NUM	Номер	String	8	X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	020210	Снесенный км пикетаж				

## 1.2.5. Сквозной метровой пикетаж (точка), wGeodesy /pMPk\_p

Наименование слоя		pMPk_p				
Тип хранящихся данных		2D Point				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Сквозной метровой пикетаж (точка)				
Вхождение в групповой слой проекта		wGeodesy				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	020300
3	KM	Эксплуатационный километр	Integer	4		
4	M	Метр	Double	8		
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	020300	Метровой пикетаж				

## 1.2.6. Предельный столбик (3D-объект), wGeodesy /wPSt\_m

Наименование слоя		wPSt_m				
Тип хранящихся данных		3D Multipath				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Предельный столбик (3D-объект)				
Вхождение в групповой слой проекта		wGeodesy				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой			<a href="#">pPSt_p</a>	
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	020400
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID		X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	020400	Предельный столбик				

## 1.2.7. Предельный столбик (точка), wGeodesy /pPSt\_p

Наименование слоя		pPSt_p				
Тип хранящихся данных		2D Point				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Предельный столбик (точка)				
Вхождение в групповой слой проекта		wGeodesy				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой			<a href="#">wPSt_m</a>	
		На которые ссылается данный слой			<a href="#">pSwch_p</a>	
Атрибуты объектов						

№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	020400
3	SWITCHG ID	Глобальный идентификатор стрелочного перевода	GUID			
4	PRESENCE	Наличие	ShortInteger			0 – Нет 1 - Да
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	020400	Предельный столбик			•	

### 1.3.8. Фиксированный пикетаж (точка), wGeodesy /pFPk\_p

Наименование слоя			pFPk_p			
Тип хранящихся данных			2D point			
Описание группы объектов хранящихся в слое			Фиксированный пикетаж (точка)			
Вхождение в групповой слой проекта			wGeodesy			
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	021000
2	KM	Эксплуатационный километр	Integer	4	X	
3	M	Метр	Double	8	X	
4	NAME	Наименование	String	255		
5	ASUP_ISS O_ID	АСУ-П, идентификатор ИССО	Integer	4		
6	CONST_G UID	Идентификатор ИССО из слоя wConst a	GUID			
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	021000	Фиксированный пикет				

### 1.3.9.Пункт OGS (точка), wGeodesy /pOGS\_p

Наименование слоя			pOGS_p			
Тип хранящихся данных			2D point			
Описание группы объектов хранящихся в слое			Пункт OGS (точка)			
Вхождение в групповой слой проекта			wGeodesy			
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	020101
2	NUM	Номер пункта	String	255	X	

3	KATEGORY	Категория пункта	Integer	4	X	
4	CENTER_TYPE	Тип центра	Integer	4	X	
5	KM	километр	String	7	X	
6	PK	пикет	String	7	X	
7	M	Метр	String	7	X	
8	X	Координата X (МЖСК)	String	20	X	
9	Y	Координата Y (МЖСК)	String	20	X	
10	Z	Координата Z (МЖСК)	String	20	X	
11	DESCRIPTION	Описание пункта	String	255	X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	020101	Пункт OGS				

#### 1.4.Отметки высот (старое название Математическая основа)



##### 1.4.1.Высотные отметки земли (точка), wTopo /wSurf\_p

Наименование слоя		wSurf_p				
Тип хранящихся данных		3D Point				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Высотные отметки земли (точка)				
Вхождение в групповой слой проекта		wTopo				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	
3	HEIGHT	Высота	Double			
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	020500	Отметка высоты			•	
2	020510	Отметка высоты земляного полотна для продольного профиля				

##### 1.4.2.Горизонталы (полилинии), wTopo /wCont\_1

Наименование слоя		wCont_1				
Тип хранящихся данных		3D Polyline				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Горизонталы (полилинии)				
Вхождение в групповой слой проекта		wTopo				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения



1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	020600-020700
3	HEIGHT	Высота	Double			
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	020600	Горизонталы обычные		 Горизонталы основные      ширина 0.13		
2	020700	Горизонталы утолщенные		 Горизонталы утолщенные      ширина 0.25		


## 1.5. Гидрография

### 1.5.1. Гидрография (полилинии), wТopo /wHydro\_1

Наименование слоя		wHydro_1				
Тип хранящихся данных		3D Polyline				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Гидрография (полилинии)				
Вхождение в групповой слой проекта		wТopo				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	210100
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	210100	Береговая линия		 Гидрография		

### 1.5.2. Гидрография (полигон), wТopo /pHydro\_a

Наименование слоя		pHydro_a				
Тип хранящихся данных		2D Polygon				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Гидрография (полигон)				
Вхождение в групповой слой проекта		wТopo				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	210200
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		

1	210200	Береговая линия (заливка рек с 2-мя прорисованными берегами для СЦТП)		Гидрография
---	--------	---	---	-------------

## 1.6. Населенный пункт, здания, сооружения

## 1.6.1. Строения (3D-объект), wToro /wSettl\_m

Наименование слоя		wSettl_m				
Тип хранящихся данных		3D Multipath				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Строения (3D-объект)				
Вхождение в групповой слой проекта		wToro				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
		<a href="#">pSettl_a</a>				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	100100,100200
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID		X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	100100	Жилые и прочие строения				
2	100200	Служебные здания				


## 1.6.2. Строения (полигон), wToro /pSettl\_a

Наименование слоя		pSettl_a				
Тип хранящихся данных		2D Polygon				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Строения (полигон)				
Вхождение в групповой слой проекта		wToro				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
		<a href="#">wSettl_m</a>				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	100100, 100200
3	TYPE	Тип здания	SHORT		X	0. Не определено 1. Жилое 2. Не жилое 3. Пассажирское здание
4	HEIGHT	Этажность здания	SHORT			Целое число
5	MATERIAL	Материал здания	SHORT		X	0. Не определено 1. Металлическое 2. Каменное 3. Деревянное
6	TEXT	Подпись	String	10		
Классификатор объектов слоя						

№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте
1	100100	Жилые и прочие строения		
2	100200	Служебные здания		

### 1.7. Железнодорожные сооружения (старое название дорожные сооружения)

#### 1.7.1. Платформы (полигон), wStations /pPlatf\_a

Наименование слоя			pPlatf_a			
Тип хранящихся данных			2D Polygon			
Описание группы объектов хранящихся в слое			Платформы (полигон)			
Вхождение в групповой слой проекта			wStations			
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой		wPlatf_m		
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	110100
3	NAME	Имя платформы	String	255		
4	TYPE	Тип	ShortInteger	2	X	0. Не определено 1. Пассажирская низкая 2. Пассажирская высокая 3. Грузовая
5	COVER	Покрытие	ShortInteger	2	X	0. Без покрытия 1. Асфальт 2. Бетон 3. Брусчатка 4. Дерево 5. Гравий
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	110100	Платформа		 платформа высокая    платформа низкая    платформа грузовая		

#### 1.7.2. Платформы (3D-объект), wStations /wPlatf\_m

Наименование слоя			wPlatf_m			
Тип хранящихся данных			3D Multipath			
Описание группы объектов хранящихся в слое			Платформы (3D-объект)			
Вхождение в групповой слой проекта			wStations			
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой		<a href="#">pPlatf_a</a>		
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	110100, 110200
3	JOIN_GUI	Глобальный	GUID			

	D	объединяющий идентификатор объекта			
Классификатор объектов слоя					
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	110100	Платформа			
2	110200	Фундамент платформы			

### 1.7.3. Светофоры, маршрутные указатели (точка), wCommunications /pTrLig\_p

Наименование слоя			pTrLig_p			
Тип хранящихся данных			2D Point			
Описание группы объектов хранящихся в слое			Светофоры, маршрутные указатели (точка)			
Вхождение в групповой слой проекта			wCommunications			
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой		<a href="#">wTrLig_m</a> , <a href="#">pTrLig_a</a> , <a href="#">wTrLig_l</a>		
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	110300, 110400
3	NUM	Номер	String	255		
4	TYPE	Тип	ShortInteger	2		0. Частично демонтированный светофор 1. Мачтовый 2. Карликовый 3. Консольный 4. Туннельный 5. Указатель
5	DIRECT	Направление	ShortInteger	2		0. Не известно 1. По ходу движения 2. Против хода движения 3. В обе стороны
6	EYES	Количество знаков	ShortInteger	2		0..6
8	ISINPUT	Входной светофор	ShortInteger	2	X	0. Нет 1. Да
9	WNUM	GLOBALID оси пути, на который действует светофор	GUID			
10	TRAFFIC DESCRIPTION	Описание светофора	Double			Домен составлен в соответствии с документом «Номера чертежей и коды (светофоры).xls»
11	ANGLE	Угол отображения условного знака	Double	8	X	
12	ISO_GUID	GLOBALID изостыка, на который действует светофор	GUID			
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		

1	110300	ЖД Светофор и указатели	
2	110400	Автоматическая светофорная сигнализация (на ж.д. переезде/переходе)	

#### 1.7.4.Ось мачтовых светофоров ЖД (полилиния), wCommunications/ wTrLig\_1

Наименование слоя		wTrLig_1				
Тип хранящихся данных		3D Polyline				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Ось мачтовых светофоров ЖД (полилиния)				
Вхождение в групповой слой проекта		wCommunications				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой		wTrLig_m, pTrLig_a			
	На которые ссылается данный слой		pTrLig_p			
<b>Атрибуты объектов</b>						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	110301
<b>Классификатор объектов слоя</b>						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	110301	Ось мачтовых светофоров ЖД				

#### 1.7.5.Светофоры ЖД (полигон), wCommunications/ pTrLig\_a

Наименование слоя		pTrLig_a				
Тип хранящихся данных		2D Polygon				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Светофоры ЖД (полигон)				
Вхождение в групповой слой проекта		wCommunications				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой		wTrLig_m			
	На которые ссылается данный слой		pTrLig_p			
<b>Атрибуты объектов</b>						

№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	110300
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	110300	ЖД Светофор и указатели				

### 1.7.6. Светофоры (3D-объект), wCommunications/ wTrLig\_m

Наименование слоя		wTrLig_m				
Тип хранящихся данных		3D Multipath				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Светофоры (3D-объект)				
Вхождение в групповой слой проекта		wCommunications				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой					
	На которые ссылается данный слой		<a href="#">pTrlig_p</a>			
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	110300, 110310
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID		X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	110300	ЖД Светофор и указатели				
2	110310	Автоматическая светофорная сигнализация (на ж.д. переезде/переходе)				

### 1.7.7. Переездные/пешеходные настилы (полигон), wCommunications /pCross\_a

Наименование слоя		pCross_a				
Тип хранящихся данных		2D Polygon				
Описание группы объектов хранящихся в слое		ЖД переезды, пешеходные переходы (полигон)				
Вхождение в групповой слой проекта		wStations				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой		<a href="#">wStInf_m</a>			
	На которые ссылается данный слой					
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	110400, 110600
3	SAFE	Охраняемый	Short Integer		X	0 – Нет 1 – Да
4	TYPE	Тип переезда	Short Integer		X	1 – Одинарный 2 - Двойной
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты		Пример условного знака отображения	

			данного типа в других слоях	объекта в проекте
1	110400	Переездный настил через ЖД пути		<input type="checkbox"/>
2	110600	Пешеходный настил через ЖД пути		



## 1.7.8. Переездные/пешеходные настилы и лестницы (3D-объект), wCommunications /StInf\_m

Наименование слоя			wStInf_m			
Тип хранящихся данных			3D Multipach			
Описание группы объектов хранящихся в слое			Переезды, переходы через ЖД, лестницы (3D-объект)			
Вхождение в групповой слой проекта			wStations			
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой		<a href="#">pCross_a</a>		
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	110400, 110600, 110800
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID			
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	110400	Переездный настил через ЖД пути				
2	110600	Пешеходный настил через ЖД				
3	110800	Лестницы платформы				

## 1.7.9. Оборудование переезда (3D-объект), wCommunications /wComOb\_m

Наименование слоя			wComOb_m			
Тип хранящихся данных			3D Multipath			
Описание группы объектов хранящихся в слое			Оборудование переезда (3D-объект)			
Вхождение в групповой слой проекта			wCommunications			
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой		<a href="#">pComOb_p</a>		
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	110500, 112000
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID		X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	110500	Шлагбаум				
2	112000	УЗП				

## 1.7.10.Оборудование переезда (точка), wCommunications /pComOb\_p

Наименование слоя		pComOb_p				
Тип хранящихся данных		2D Point				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Оборудование переезда (точка)				
Вхождение в групповой слой проекта		wCommunications				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой			<a href="#">wComOb_m</a>	
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	110500, 112000
3	TYPE	Тип	ShortInteger	2	X	1. автоматический 2. ручной
4	ANGLE	Угол отображения условного знака	Long Integer	8	X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	110500	Шлагбаум				
2	112000	УЗП				

## 1.7.11Сигнальный/направляющий столбик (3D-объект), wOthers /wGuide\_m

Наименование слоя		wGuide_m				
Тип хранящихся данных		3D Multipath				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Направляющий столбик (3D-объект) wGuide_m				
Вхождение в групповой слой проекта		wOthers				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой			<a href="#">pGuide_p</a>	
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	111000
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID		X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	111000	Сигнальный/направляющий столбик				

## 1.7.12.Сигнальный/направляющий столбики (точка), wOthers /pGuide\_p

Наименование слоя	pGuide_p
-------------------	----------



Тип хранящихся данных		2D Points				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Направляющие столбики (точка)				
Вхождение в групповой слой проекта		wOthers				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой		<a href="#">wGuide_m</a>			
	На которые ссылается данный слой					
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	111000
3	TYPE	Тип	ShortInteger		X	1. Плоская поверхность 2. Цилиндрическая поверхность
4	MATERIAL	Материал	ShortInteger		X	0. Не известно 1. Бетон 2. Металл 3. Дерево
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	111000	Сигнальный/направляющий столбик			.	

## 1.7.13. Станция (точка), pRailways /pRCons\_p

Наименование слоя		pRCons_p				
Тип хранящихся данных		2D Point				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Станция (точка)				
Вхождение в групповой слой проекта		pRailways				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой					
	На которые ссылается данный слой					
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	110700
3	NAME	Наименование	String	255	X	
4	SIDE	Сторонность	ShortInteger	2	X	1. Слева от пути 2. Справа от пути 3. Между путями
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	110700	Станция				

## 1.7.14. Ось станции (полилиния), pRailways /pRCons\_1

Наименование слоя		pRCons_1				
Тип хранящихся данных		2D Polyline				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Ось станции (полилиния)				
Вхождение в групповой слой проекта		pRailways				


Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	110700
3	NAME	Наименование	String	255	X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	110700	Ось станции			—	

### 1.7.15. Наземные объекты электроснабжения и СЦБ (3D-объект), wPower /wESup\_m

Наименование слоя			wESup_m			
Тип хранящихся данных			3D Multipath			
Описание группы объектов хранящихся в слое			Наземные объекты электроснабжения и СЦБ (3D-объект)			
Вхождение в групповой слой проекта			wPower			
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой		<a href="#">pESup_a</a>		
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	140600, 140700, 140900, 123000, 110901, 110902, 110903, 110904
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID			
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	140600	Трансформатор				
2	140700	Шкаф				
3	140900	Устройства СЦБ (не светофоры)				
4	123000	Механизм стрелочного перевода				
5	110901	Релейный шкаф				
6	110902	Путевая коробка				
7	110903	Дроссель-трансформатор				
8	110904	Кабельная муфта				

### 1.7.16. Наземные объекты электроснабжения и СЦБ (полигон), wPower /pESup\_a

Наименование слоя		pESup_a
Тип хранящихся данных		2D Polygon
Описание группы объектов хранящихся в слое		Наземные объекты

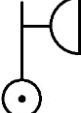
						электроснабжения и СЦБ (полигон)
Вхождение в групповой слой проекта						wPower
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				<a href="#">wESup_m</a> (за исключением <a href="#">CLS_ID=0605000</a> )
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	140500,140600,140700,110900,123000,110900,110902,110903,110904
3	NAME	Наименование	String	255		
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	140500	Тяговая подстанция				
2	140600	Трансформатор				
3	140700	Шкаф				
4	110900	Объекты СЦБ (не светофоры)				
5	123000	Механизм стрелочного перевода				
6	110900	Релейный шкаф				
7	110902	Путевая коробка				
8	110903	Дроссель-трансформатор				
9	110904	Кабельная муфта				

## 1.7.17.Громкоговоритель (3D-объект), wCommunications /wSpeak\_m

Наименование слоя						wSpeak_m
Тип хранящихся данных						3D multipach
Описание группы объектов хранящихся в слое						Громкоговоритель (3D-объект)
Вхождение в групповой слой проекта						wCommunications
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				<a href="#">pSpeak_p</a>
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	121800
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID		X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Вхождение в групповой слой проекта	Пример условного знака отображения объекта в проекте
1	121800	Громкоговоритель			wCommunications	

## 1.7.18.Громкоговоритель (точка), wCommunications /pSpeak\_p

Наименование слоя	pSpeak_p
-------------------	----------

Тип хранящихся данных		2D Point				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Громкоговоритель (точка)				
Вхождение в групповой слой проекта		wCommunications				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой		wSpeak_m			
	На которые ссылается данный слой					
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	121800
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Вхождение в групповой слой проекта	Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	121800	Громкоговоритель		wOthers		

## 1.7.19. Освещение (3D-объект), wPower /wLight\_m

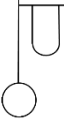

Наименование слоя		wLight_m				
Тип хранящихся данных		3D Multipath				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Освещение (3D-объект)				
Вхождение в групповой слой проекта		wPower				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой					
	На которые ссылается данный слой		<a href="#">pLight_p</a>			
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	121300,121310
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID		X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	121300	Фонарь освещения				
2	121310	Мачта освещения				

## 1.7.20. Ферма освещения (полилиния), wPower /wLight\_1

Наименование слоя		wLight_1				
Тип хранящихся данных		3D Polyline				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Ферма освещения (полилиния)				
Вхождение в групповой слой проекта		wPower				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой					
	На которые ссылается данный слой					
Атрибуты объектов						

№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	121500
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Вхождение в групповой слой проекта	Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	121500	Ферма освещения		wPower	-----	

### 1.7.21. Освещение (точка), wPower/ pLight\_p

Наименование слоя			pLight_p			
Тип хранящихся данных			2D Point			
Описание группы объектов хранящихся в слое			Освещение (точка)			
Вхождение в групповой слой проекта			wPower			
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой		<a href="#">wLight_m</a>		
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	121500,121310
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	121300	Фонарь освещения				
2	121310	Мачта освещения				

### 1.8. Верхнее строение пути и земляное полотно

#### 1.8.1. Ось пути (полилиния), wGeodesy /wAxes\_1

Наименование слоя			wAxes_1			
Тип хранящихся данных			3D Polyline			
Описание группы объектов хранящихся в слое			Ось пути (полилиния)			
Вхождение в групповой слой проекта			wGeodesy			
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой		<a href="#">wRails_1</a> , <a href="#">wAxes_1</a> , <a href="#">pTrackStop_p</a>		
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	120100

3	NUM	Номер	String	50		
4	LEFT_RAIL_GID	Глобальный идентификатор левого рельса	GUID		X	
5	RIGHT_RAIL_GID	Глобальный идентификатор правого рельса	GUID		X	
6	WAY_TYPE	Тип	ShortInteger	2	X	1.Главный 2.Съезд 3.Приемо - отправочный 4.Сортировочный 5.Специальный 6.Соединительный 7.Обводной 8.Вытяжной 9.Ходовой 10.Погрузочный 11.Перепогрузочный 12.Деповский 13.Прочий 14.Подъездной 15.Горочный и подгорочный 16. Подкрановый путь 17. Путь на консервации 23. Перекрестная стрелка
7	WID	Идентификатор главного пути	Integer	4		
8	BEGIN_AXIS_GUID	Идентификатор входящей оси	GUID			
9	END_AXIS_GUID	Идентификатор выходящей оси	GUID			
10	PARK	Парк	ShortInteger	2		0. Не определено 1. Приемоотправочный 2. Сортировочный 3. Грузовой
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	120100	Ось пути		--		




### 1.8.2.Ось пути по атрибутам (полилиния), wGeodesy /pAxes\_1\_separate

Наименование слоя		pAxes_1_separate				
Тип хранящихся данных		2D Polyline				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Ось пути по атрибутам (полилиния)				
Вхождение в групповой слой проекта		wGeodesy				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой					
	На которые ссылается данный слой		<a href="#">wAxes_1</a> , <a href="#">wRails_1</a>			
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7		120101






3	NUM	Номер	String	255		
4	MINOP_K M	Мин.отметка эксплуатационного пикетажа, км	LongInteger	4		
5	MINOP_ M	Мин.отметка эксплуатационного пикетажа, м	Double	8		
6	MAXOP_ KM	Макс.отметка эксплуатационного пикетажа, км	LongInteger	4		
7	MAXOP_ M	Макс.отметка эксплуатационного пикетажа, м	Double	8		
8	LEFT_RA IL_GID	Глобальный идентификатор левого рельса	GUID		X	
9	RIGHT_R AIL_GID	Глобальный идентификатор правого рельса	GUID		X	
10	DOCFILE NAME	Документ	LongInteger			
11	OBJTYPE	Тип объекта	LongInteger			
12	WID	Идентификатор главного пути	LongInteger		X	
13	WLOCTN	Участок пути	ShortInteger		X	
14	ISRIGHT	Путь крайний справа	ShortInteger		X	
15	ISCARW	Несущий трос в контактной подвеске	ShortInteger		X	
16	ISNOPOW	Электрификация пути исключена	ShortInteger		X	
17	ISCONST R	Путь в пределах ИССО	ShortInteger		X	
18	ISTUNNE L	Путь в пределах мостов, тоннелей, галерей, платформ	ShortInteger		X	
19	ISSTOP	Предусмотрена технологическая стоянка подвижного состава	ShortInteger		X	
20	WTYPE	Тип пути	ShortInteger		X	
21	R	Радиус кривой	LongInteger			
22	HRAIL	Превышение наружного рельса	Double			
23	V	Макс. разрешенная скорость движения подвижного состава	LongInteger			
24	ISTN	По пути разрешено движение подвижного состава, построенного по габариту Т	ShortInteger		X	
25	ISNARRO W	Перегрузочный путь с суженным междупутьем	ShortInteger		X	
26	WNUM		Text	50		
27	ISLEFT	Путь крайний слева	ShortInteger		X	

## 1.8.3.Рельсовые нити по верху головки рельса, контррельс (полилиния), pRailways /wRails\_1

Наименование слоя	wRails_1
-------------------	----------

Тип хранящихся данных		3D Polyline				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Рельсовые нити по верху головки рельса, контррельс (полилиния)				
Вхождение в групповой слой проекта		pRailways				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой		<a href="#">wAxes_1</a>			
	На которые ссылается данный слой					
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	120200,120300
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	120200	Рельсовая нить (по главным путям)				
2	120300	Рельсовая нить (по второстепенным путям)				
3	120400	Контррельс (старое название – межрельсовые уголки)				

#### 1.8.4. Структурные линии ЖД полотна (полилиния), wWay /wRelief\_1

Наименование слоя		wRelief_1				
Тип хранящихся данных		3D Polyline				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Структурные линии ЖД полотна (полилиния)				
Вхождение в групповой слой проекта		wWay				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой					
	На которые ссылается данный слой					
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	120500,120600,120900,121000,121700
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	120500	Бровка балласта				
2	120600	Подопла балласта				
3	120900	Бровка земляного полотна				
4	121000	Подопла земляного полотна				
5	121700	Водоотводная канава				

#### 1.8.5. Изолирующий стык (точка), pRailways /pIsoJunc\_p

Наименование слоя		pIsoJunc_p
Тип хранящихся данных		2D Point



Описание группы объектов хранящихся в слое					Изолирующий стык (точка)	
Вхождение в групповой слой проекта					pRailways	
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	124000
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID		X	
3	OVERALL	Негабаритный стык	ShortIntenger	2		0 - Нет 1 - Да
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	124000	Изолирующий стык				

#### 1.8.6. Условные оси шпал (полилиния), wWay /wTies\_1

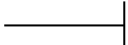
Наименование слоя					wTies_1	
Тип хранящихся данных					3D Polyline	
Описание группы объектов хранящихся в слое					Условные оси шпал (полилиния)	
Вхождение в групповой слой проекта					wWay	
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	121100
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	121100	Шпалы			—	

#### 1.8.7. Тупик (3D-объект), wOthers/ wTrackStop\_m

Наименование слоя					wTrackStop_m	
Тип хранящихся данных					3D Multipach	
Описание группы объектов хранящихся в слое					Тупик (3D-объект)	
Вхождение в групповой слой проекта					wOthers	
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						

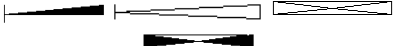
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	121600
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID			
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	121600	Тупик				

### 1.8.8.Конец тупикового пути (точка), wOthers /pTrackStop\_p

Наименование слоя		pTrackStop_p				
Тип хранящихся данных		2D Point				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Конец тупикового пути (точка)				
Вхождение в групповой слой проекта		wOthers				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой					
	На которые ссылается данный слой		<a href="#">wAxes_1</a>			
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	121900
3	AXIS_GUID	Глобальный идентификатор оси	GUID		X	
4	STOP	Тип окончания	ShortIntenger	2	X	0. Без упора (Нет) 1. С упором (Да)
5	BALLAST	Тупиковая призма	ShortIntenger	2	X	0. Нет 1. Да
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	121900	Конец тупикового пути				

### 1.8.9.Стрелочный перевод (точка), wWay /pSwthch\_p

Наименование слоя		pSwthch_p				
Тип хранящихся данных		2D Point				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Стрелочный перевод (точка)				
Вхождение в групповой слой проекта		wWay				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой					
	На которые ссылается данный слой					
Атрибуты объектов						

№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	123000
3	NUM	Номер	String	50		
4	DIRECT	Направление	ShortInteger	2		1.Прямой 2.Обратный 3. Перекрестный
5	HAND	Сторонность	ShortInteger	2		1.Левый 2.Правый 3. Симметричный 4. Перекрестный 5. Глухое пересечение
6	HILL	Признак горчности	ShortInteger	2		0.Нет 1.Да
7	TYPE	Тип остряка	ShortInteger	2		1.обычный 2.сбрасывающий
8	CONTROL	Способ управления	ShortInteger	2		1.ЭЦ 2.Механический
9	SWITCH_JOIN	Объединяющий код	GUID			
10	MARK	Марка	ShortInteger			0 – 1/6 1 – 1/9 2 – 1/11 3 – 1/18 4 – 1/22 5 – 2/6 6 – 2/9 7 – 2/11 8 – 2/18 9 – 2/12 10 – 2/22 11 - 27° 12 - 45° 13 - 90°
11	ANGLE	Угол отображения условного знака	Double	8	X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	123000	Стрелочный перевод				

## 1.9.Линии электропередач и связи

### 1.9.1.Провод ЛЭП, связи (полилиния), wPower /wWires\_1

Наименование слоя		wWires_1
Тип хранящихся данных		3D Polyline
Описание группы объектов хранящихся в слое		Провод ЛЭП, связи (полилиния)
Вхождение в групповой слой проекта		wPower
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой	
	На которые ссылается данный слой	
Атрибуты объектов		

№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	140200
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	140200	Провод ЛЭП, воздушный кабель связи			—	
2	140201	Провод ЛЭП, воздушный кабель связи (пересекающий ось пути)			Не заполняется	

### 1.9.2.Консоль ЛЭП (полилиния), wPower /wCarSt\_1

Наименование слоя		wCarSt_1				
Тип хранящихся данных		3D Polyline				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Консоль ЛЭП (полилиния)				
Вхождение в групповой слой проекта		wPower				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	140900
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	140900	Консоль ЛЭП				


## 1.10.Дороги и пути

### 1.10.1.Дороги и пути (полилиния), wTopo /wRoads\_1

Наименование слоя		wRoads_1				
Тип хранящихся данных		3D Polyline				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Дороги (полилиния)				
Вхождение в групповой слой проекта		wTopo				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	130100
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	

1	130100	Дорога		—
---	--------	--------	--	---


## 1.10.2. Дороги и пути (полигон), wToro /wRoads\_a

Наименование слоя				pRoads_a		
Тип хранящихся данных				2D Polygon		
Описание группы объектов хранящихся в слое				Дороги (полигон)		
Вхождение в групповой слой проекта				wToro		
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	130200
3	COVER	Покрытие	ShortInteger	2	X	0 - не определено 1 - асфальт 2 – грунтовая
4	TEXT	Надпись	String	10		
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	130200	Дорога (заливка)				

## 1.11. Границы, ограждения

## 1.11.1. Ограждение (полилиния), wOthers /wGuard\_1

Наименование слоя				wGuard_1		
Тип хранящихся данных				3D Polyline		
Описание группы объектов хранящихся в слое				Ограждение (полилиния)		
Вхождение в групповой слой проекта				wOthers		
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	160100
3	TYPE_GUARD	Тип ограждения	Short		X	0. Не определено 1. Проволочное 2. Деревянное 3. Железобетонное 4. Металлическое 5. Кирпичное 6. Перила 7. Асбестовое/шиферное 8. Шумозащитный экран 9. Перила моста
Классификатор объектов слоя						

№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте
1	160100	Ограждение		

## 1.12. Искусственные сооружения (ИССО)

### 1.12.1. Объекты ИССО (3D-объект), wConstructions /wConst\_m

Наименование слоя		wConst_m				
Тип хранящихся данных		3D Multipach				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Объекты ИССО (3D-объект)				
Вхождение в групповой слой проекта		wConstructions				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой		<a href="#">pBridgeSpan_a</a>			
	На которые ссылается данный слой		<a href="#">pConst_a</a>			
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	170100,170200,170300,170400,170500,170600,170700,170800,170900,171100,171200,171400
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID		X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	170100	Мост железнодорожный				
2	170200	Автодорожный путепровод				
3	170300	Мост автодорожный				
4	170400	Мост пешеходный				
5	170500	Тоннель железнодорожный				
6	170600	Тоннель пешеходный				
	170700	Галерея				
8	170800	Водопрпускная труба				
9	170900	Тоннель автодорожный				
10	171100	Укрепительные сооружения (подпорная стенка, габион)				
11	171200	Железнодорожный путепровод				
12	171400	Продуктопровод (радиус > 40см)				

### 1.12.2. Объекты ИССО (полигон), wConstructions/ pConst\_a

Наименование слоя		pConst_a
Тип хранящихся данных		2D Polygon
Описание группы объектов хранящихся в слое		Объекты ИССО (полигон)

Вхождение в групповой слой проекта					wConstructions	
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой			<a href="#">wConst_m</a>	
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	170100, 170200, 170300, 170400, 170500, 170600, 170800, 171000, 171100, 171200, 170700, 171400
3	ASUP_ID	Идентификатор по АСУ-П	Long integer	50		
5	ASUP_NAME	Наименование объекта по АСУ-П	String	50		
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	170100	Мост железнодорожный				
2	170200	Автодорожный путепровод				
3	170300	Мост автодорожный				
4	170400	Мост пешеходный				
5	170500	Тоннель железнодорожный				
6	170600	Тоннель пешеходный				
7	170700	Галерея				
8	170800	Водопускная труба				
9	171000	Тоннель автодорожный				
10	171100	Укрепительные сооружения				
11	171200	Железнодорожный путепровод				
12	171400	Продуктопровод (радиус > 40см)				

### 1.12.3. Пролеты моста (полигон), wConstructions /pBridgeSpan\_a

Наименование слоя					pBridgeSpan_a	
Тип хранящихся данных					2D Polygon	
Описание группы объектов хранящихся в слое					Пролеты моста (полигон)	
Вхождение в групповой слой проекта					wConstruction	
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой			<a href="#">pConst_a</a>	
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	170100, 170500, 171200
3	TYPE	Тип	ShortInteger	2	X	1. Железобетонный 2. Металлический 3. Сталежелезобетонный

						4.Деревянный 5.Каменный
4	JOIN_GUID	Объединяющий идентификатор по полигональному слою	GUID		X	
5	DRIVING	Тип езды	ShortInteger	2	X	1.Понизу 2.Поверху
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	170100	Железнодорожный мост				
2	171200	Железнодорожный путепровод				
5	170500	Тоннель железнодорожный				

### 1.13.Электрификация










#### 1.13.1.Опора (3D-объект), wPower /wTower\_m

Наименование слоя		wTower_m				
Тип хранящихся данных		3D Multipath				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Опора (3D-объект)				
Вхождение в групповой слой проекта		wPower				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой			<a href="#">pTower_p</a>	
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	140100, 150100
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID		X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
	140100	Опора ЛЭП/связи				
	150100	Опора контактной сети				

#### 1.13.2.Опора (точка), wPower /pTower\_p

Наименование слоя		pTower_p				
Тип хранящихся данных		2D Point				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Опора (точка)				
Вхождение в групповой слой проекта		wPower				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой			<a href="#">wTower_m</a> , <a href="#">wTower_l</a> , <a href="#">pTower_a</a>	
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					



2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	140100, 150100
3	NUM	Номер	String	50		
4	TYPE	Тип	ShortInteger	2	X	1. Железобетонная 2. Металлическая 3. Железобетонная двойная 4. Деревянная
5	ANCHOR_SIDE	Расположение оттяжки	ShortInteger	2	X	0. Нет 1. Оттяжка спереди 2. Оттяжка сзади 3. Оттяжка сбоку
6	ANCHOR_NUM	Количество оттяжек	ShortInteger	2	X	0. Нет 1. Одинарная оттяжка 2. Двойная оттяжка
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	140100	Опора ЛЭП/связи		<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> опора ЛЭП</li> <li> опора металлическая фермовая</li> <li> опора металлическая фермовая</li> <li> опора металлическая</li> <li> опора железобетонная</li> <li> опора деревянная</li> </ul>		
2	150100	Опора контактной сети		<ul style="list-style-type: none"> <li> опора контактной сети металлическая</li> <li> опора контактной сети железобетонная двоян</li> <li> опора контактной сети железобетонная</li> <li> опора контактной сети металлическая фермов</li> </ul>		

### 1.13.3. Ось опоры контактной сети (полилиния), wPower /wTower\_1

Наименование слоя		wTower_1				
Тип хранящихся данных		3D Polyline				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Ось опоры контактной сети (полилиния)				
Вхождение в групповой слой проекта		wPower				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой		<a href="#">wTower_m</a> , <a href="#">pTower_a</a>			
	На которые ссылается данный слой		<a href="#">pTower_p</a>			
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	150110
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	150110	Ось опоры контактной сети				

### 1.13.4. Опоры контактной сети (полигон), wPower /pTower\_a

Наименование слоя		pTower_a				
Тип хранящихся данных		2D Polygon				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Опоры контактной сети (полигон)				
Вхождение в групповой слой проекта		wPower				

Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой			<a href="#">wTower_m</a>	
		На которые ссылается данный слой			<a href="#">pTower_p</a>	
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	150100
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	150100	Опора контактной сети				

### 1.13.5. Линейные объекты контактной сети (полилиния), wPower /wCarW\_1

Наименование слоя		wCarW_1				
Тип хранящихся данных		3D Polyline				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Линейные объекты контактной сети (полилиния)				
Вхождение в групповой слой проекта		wPower				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	150200, 150600, 150700, 150900, 151000
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	150200	Трос КС			—	
2	150600	Консоль КС				
3	150700	Поперечина КС				
4	150900	Подвес компенсатора КС				
5	151000	Оттяжки КС				
6	151001	Компенсирующий блок КС				

### 1.13.6. Контактный провод (полилиния), wPower /wConW\_1

Наименование слоя		wConW_1				
Тип хранящихся данных		3D Polyline				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Контактный провод (полилиния)				
Вхождение в групповой слой проекта		wPower				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					

2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	150300, 150301
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	150300	Контактный провод		Контактный провод		
2	150301	Второй контактный провод				

### 1.13.7.Фундамент демонтированной опоры и анкер (3D-объект), wPower/ wCarSt\_m

Наименование слоя							wCarSt_m
Тип хранящихся данных							3D Multipath
Описание группы объектов хранящихся в слое							Фундамент демонтированной опоры и анкер (3D-объект)
Вхождение в групповой слой проекта							wPower
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой					
		На которые ссылается данный слой					
Атрибуты объектов							
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения	
1	<a href="#">GLOBALID</a>						
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	150800, 151100, 151200	
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID				
Классификатор объектов слоя							
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте			
1	151100	Анкер					
2	150800	Компенсатор					
3	151200	Фундамент демонтированных опор КС					

### 1.14.Растительность

#### 1.14.1.Растительность (полигон), wТоро /pVeg\_a

Наименование слоя							pVeg_a
Тип хранящихся данных							2D Polygon
Описание группы объектов хранящихся в слое							Растительность (полигон)
Вхождение в групповой слой проекта							wТоро
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой					
		На которые ссылается данный слой					
Атрибуты объектов							
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения	
1	<a href="#">GLOBALID</a>						
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	220200, 220300	
Классификатор объектов слоя							
№пп	Код	Описание	Связанные объекты	Пример условного знака			

			данного типа в других слоях	отображения объекта в проекте
1	220200	Растительность высокая		
2	220300	Растительность луговая		

## 1.15.Точки изменения атрибутов оси пути (POI)


## 1.15.1.Точки изменения атрибутов (точка), wWay /pPOI\_p

Наименование слоя		pPOI_p				
Тип хранящихся данных		2D Point				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Точки изменения атрибутов (точка)				
Вхождение в групповой слой проекта		wWay				
Связанные слои с иным представлением объектов	Ссылающиеся на данный слой					
	На которые ссылается данный слой		<a href="#">wAxes_I</a>			
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	220400
3	KEY	Ключ	ShortInteger	2	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Участок пути</li> <li>2 Электрификация пути исключена</li> <li>3 Путь в пределах платформы</li> <li>4 Предусмотрена стоянка подвижного состава</li> <li>5 Путь в пределах мостов и пр.</li> <li>6 Отсутствие несущего троса</li> <li>7 Крайний левый путь</li> <li>8 Крайний правый путь</li> <li>9 Запрещено движение подвижного состава построенного по габариту Т</li> <li>10 Перегрузочный путь с суженным междупутьем</li> <li>11 Радиус кривой</li> <li>12 Превышение наружного рельса</li> <li>13 Максимальная скорость</li> <li>14 Путь в пределах дистанции пути (ПЧ)</li> <li>15 Платформа слева</li> <li>16 Платформа справа</li> <li>17 Тип рельсов</li> <li>18 Тип земляного полотна</li> </ul>

4	VALUE	Значение	ShortInteger	2	[KEY]1	1 Станция 2 Перегон 3 Остановочный пункт
					[KEY]2	1 Начало 0 Конец
					[KEY]3	1 Начало 0 Конец
					[KEY]4	1 Начало 0 Конец
					[KEY]5	1 Начало 0 Конец
					[KEY]6	1 Начало 0 Конец
					p[KEY]7	1 Начало 0 Конец
					[KEY]8	1 Начало 0 Конец
					[KEY]9	1 Начало 0 Конец
					[KEY]10	1 Начало 0 Конец
					[KEY]11	Число
					[KEY]12	Число
					[KEY]13	Число, $\geq 0$
					[KEY]14	1 Начало
					[KEY]15	1 Начало 0 Конец
					[KEY]16	1 Начало 0 Конец
					[KEY]17	0.Нет информации 1.R43 2.R50 3.R65 4.R75
					[KEY]18	0.Нет информации 1.Насыпь 2.Выемка 3.Полунасыпь 4.Полувыемка 5.Полунасыпь- полувыемка 6.Нулевое место
5	NAME	Наименование	String	255		
6	JOIN_GUID	Глобальный идентификатор принадлежности	GUID		X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	220400	Точки изменения атрибутов				

## 1.15.2.Точки фотофиксации (точка), wMultimedia/ pPhoto\_p

Наименование слоя	pPhoto_p
Тип хранящихся данных	2D Point
Описание группы объектов хранящихся в слое	Точки фотофиксации (точка)


Вхождение в групповой слой проекта					wMultimedia	
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	220500
3	CAMERA	Камера	String	50	X	Целое число больше «0»
4	FILENAME	Путь к файлам фотофиксации	String	255		
5	FILENAME_SHORT	Имя файла	String	255	X	
6	SHOTDT	Дата фотофиксации	Date	8	X	
7	DIRECT	Направление	ShortInteger	2	X	0. По пикетажу 1. Против пикетажа
8	ANGLE	Угол	Integer	4	X	Целое число в диапазоне: -180 ... +180
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Вхождение в групповой слой проекта	Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	220500	Точки фотофиксации				

## 1.16. Станционные объекты


### 1.16.1. Горка (точка), wStations /pGorka\_p

Наименование слоя					pGorka_p	
Тип хранящихся данных					2D Point	
Описание группы объектов хранящихся в слое					Горка (точка)	
Вхождение в групповой слой проекта					wStations	
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	220600
3	TYPE	Тип	ShortInteger	2		1. Полугорка 2. Горка малой мощности 3. Горка средней мощности 4. Горка большой мощности
4	ANGLE	Угол отображения условного знака	Double	8	X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	220600	Горка				

### 1.16.2. Вагонный замедлитель (точка), wStations/ pWagonStop\_p


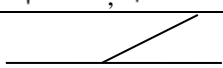
Наименование слоя			pWagonStop_p			
Тип хранящихся данных			2D Point			
Описание группы объектов хранящихся в слое			Вагонный замедлитель (точка)			
Вхождение в групповой слой проекта			wStations			
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	220700
3	TYPE	Тип	ShortIntenger	2	X	1. Начало 2. Конец 3. Центр
4	ANGLE	Угол отображения условного знака	Double	8	X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
2	220700	Вагонный замедлитель				

### 1.16.3.Весы вагонные (точка), wStations /pWeight\_p


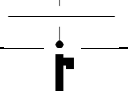


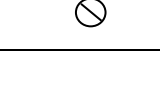


Наименование слоя			pWeight_p			
Тип хранящихся данных			2D Point			
Описание группы объектов хранящихся в слое			Весы вагонные (точка)			
Вхождение в групповой слой проекта			wStations			
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	220800
3	TYPE	Тип	ShortIntenger	2	X	1. Вагонные 2. Путьевые
4	ANGLE	Угол отображения условного знака	Double	8	X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	220800	Весы вагонные				

### 1.16.4.Колесосбрасывающий башмак, башмакосбрасыватель (точка), wStations /pDressOut\_p

Наименование слоя			pDressOut_p			
Тип хранящихся данных			2D Point			
Описание группы объектов хранящихся в слое			Колесосбрасывающий башмак, башмакосбрасыватель (точка)			

Вхождение в групповой слой проекта					wStations	
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой				
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	220900,221000
3	TYPE	Тип	ShortIntenger	2	X	1. Левый 2. Правый
4	ANGLE	Угол отображения условного знака	Double	8	X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	220900	Колесобрасывающий башмак				
2	221000	Башмакосбрасыватель				

## 1.16.5. Станционные объекты (точка), wStations /pStationObject\_p

Наименование слоя					pStationObject_p	
Тип хранящихся данных					2D Point	
Описание группы объектов хранящихся в слое					Станционные объекты (точка)	
Вхождение в групповой слой проекта					wStations	
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой			<a href="#">wStationObject_m</a>	
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	221100,221200,221300,221400,221500,221600,221700
3	ANGLE	Угол отображения условного знака	Double	8	X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	221100	Маневровая колонка				
2	221200	Электронный счетчик осей вагонов				
3	221300	Гидроколонки				
4	221400	Габаритные ворота				
5	221500	Эстакада мостового крана				
6	221600	Упор тормозной (УТС)				
7	221700	Поворотный круг				



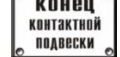

## 1.16.6. Станционные объекты (3D-объект), wStations /wStationObject\_m



Наименование слоя		wStationObject_m				
Тип хранящихся данных		3D Multipatch				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Станционные объекты (3D-объект)				
Вхождение в групповой слой проекта		wStations				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой			<a href="#">pStationObject_p</a>	
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	221100
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID		X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	221100	Маневровая колонка				

## 1.17. Знаки

## 1.17.1. Знаки (точка), pMarks /pMark\_p

Наименование слоя		pMark_p				
Тип хранящихся данных		2D Point				
Описание группы объектов хранящихся в слое		Знаки pMark_p (точка)				
Вхождение в групповой слой проекта		pMarks				
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой			<a href="#">wMark_m</a>	
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	221800,221900,222000,222100
3	ANGLE	Угол отображения условного знака	Double	8	X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях		Пример условного знака отображения объекта в проекте	
1	221800	Граница подъездного пути				
2	221900	Граница станции				
3	222000	Конец контактной подвески				
4	222100	Сигнальный знак «С»				

## 1.17.2. Знаки (3D-объект), pMarks /wMark\_m

Наименование слоя		wMark_m
Тип хранящихся данных		3D Multipatch

Описание группы объектов хранящихся в слое				Знаки pMark_p (3D-объект)		
Вхождение в групповой слой проекта				pMarks		
Связанные слои с иным представлением объектов		Ссылающиеся на данный слой				
		На которые ссылается данный слой		<a href="#">pMark_p</a>		
Атрибуты объектов						
№ пп	Наименование	Псевдоним	Тип данных	Длина	Обязательно	Возможные значения
1	<a href="#">GLOBALID</a>					
2	CLS_ID	Классификатор	String	7	X	222200
3	JOIN_GUID	Глобальный объединяющий идентификатор объекта	GUID		X	
Классификатор объектов слоя						
№пп	Код	Описание	Связанные объекты данного типа в других слоях	Пример условного знака отображения объекта в проекте		
1	222200	Сигнальный знак «С»				