

На правах рукописи



Андреева Ольга Александровна

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

Специальность 25.00.35 - «Геоинформатика»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК) на кафедре информационно-измерительных систем

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Цветков Виктор Яковлевич

Официальные оппоненты: Дулин Сергей Константинович, доктор технических наук, профессор, АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»), главный научный сотрудник

Быстров Антон Юрьевич, кандидат технических наук, ПАО «Сбербанк», руководитель направления

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных», (ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»)

Защита состоится «10» июня 2021 года в 10.00 на заседании диссертационного совета Д 212.143.03 при федеральном государственном бюджетном учреждении высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии», по адресу: 105064, г. Москва, Гороховский пер., д. 4, Зал заседаний Ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета геодезии и картографии и на сайте:

<http://www.miigaik.ru/science/councils/dissertation/>

Автореферат разослан «__» _____ 2021 года

Ученый секретарь

диссертационного совета



Ольга Владимировна Вшивкова

Общая характеристика работы

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 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. Данные требования наиболее важны при проведении исследований по геоинформационному моделированию и созданию ГИС различного назначения на основе наборов пространственных данных и данных большого объема, к которым относят в т.ч. и данные мобильного лазерного сканирования.

В настоящее время в службах передовых стран мира стали разрабатываться 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. 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 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 проблемы. Вопросы геоинформационного моделирования рассматривались в работах ученых и специалистов в данной области: Бугаевского Л.М., Бучкина В.А., Журкина И.Г., Иванова А.Г., Кафтана В.И., Гука А.Г., Карпика А.П., Розенберга И.Н., Лисицкого Д.В., Нехина С.С., Кафтана А.И., Лурье И.К., Майорова А.А., Матерухина А.В., Цветкова В.Я., Дулина С.К., Чибуничева А.Г., Быстрова А.Ю. и др. Несмотря на то, что на сегодняшний день существует ряд нормативных документов в области создания объектов транспортной инфраструктуры и геоинформационных систем, методика разработки геоинформационных моделей по единым принципам и правилам, которая была бы применима ко всем инфраструктурам, имеющим протяженные объекты, в том числе к транспортной инфраструктуре, отсутствует.

Цель диссертации – разработать методику геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры железнодорожного (далее по тексту – ж/д) транспорта, основанную на данных, полученных по технологии

мобильного лазерного сканирования.

Чтобы достичь установленной цели, автором обозначен ряд основных задач:

- 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 (Глава 1);
 - проанализировать методы геоинформационного моделирования (1.4);
 - исследовать технологические особенности геоинформационного моделирования (1.5);
 - обозначить основные направления использования пространственных данных на технологических этапах геоинформационного моделирования (выводы к Главе 1).
- 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 МЛС.

В процессе исследования автором получены следующие **научные результаты:**

- Введены новые термины и понятия в геоинформатике, которые развивают понятийный аппарат в области обработки пространственных моделей.
- Разработана методика геоинформационного моделирования объектов на основе данных, полученных с применением технологии МЛС, с использованием пространственных информационных единиц.
- Разработаны правила моделирования трехмерных объектов.
- Разработаны правила формирования баз данных геоинформационных объектов.

Научная новизна диссертации заключается в том, что:

созданная методика 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 значимость диссертации состоит в совершенствовании и развитии научных подходов и решений в геоинформационном моделировании 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. При внедрении в производственные процессы, разработанная методика геоинформационного моделирования позволила в оперативном режиме решать задачи строительства, проектирования и мониторинга объектов, имеющих протяжённость 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 АО «Транспутьстрой», ООО «Геопроектизыскания».

Внедрение основных результатов подтверждается соответствующими актами.

Методология и методы диссертационного исследования базируются на научных принципах сравнительного и системного анализа, аналитических

методах и алгоритмах геоинформационного моделирования, исследованиях методов получения исходных данных по технологии мобильного лазерного сканирования, исследованиях трехмерного моделирования.

На защиту автором выносятся следующие результаты и положения:

1. 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. Методика геоинформационного моделирования на основе данных, полученных с применением технологии МЛС.
3. Правила моделирования трехмерных объектов.
4. Правила формирования баз данных геоинформационных объектов.
5. Результаты экспериментальных исследований по апробации разработанной методики геоинформационного моделирования на основе данных мобильного лазерного сканирования на примере геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры ж/д транспорта.

Достоверность научных и практических результатов проведенных исследований подтверждается теоретическим обоснованием и экспериментальными исследованиями. Полученные результаты построены на анализе известных и проверенных данных, опубликованных по теме диссертации или по смежным тематикам, связанным с геоинформационным моделированием. В работе использованы методы, апробированные в предприятиях, выполняющих работы по геоинформационному моделированию объектов инфраструктуры ж/д транспорта.

Апробация результатов диссертации

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. 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).

Объектом диссертационного исследования являются методы геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры ж/д транспорта, основанные на данных, полученных по технологии МЛС, а также методы построения 3D-моделей и их атрибутирования.

Предмет исследования: основные этапы технологии формирования пространственных моделей по данным, полученным по технологии МЛС, для целей геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры ж/д транспорта.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности в

следующей области исследований: 7 – «Геоинформационное картографирование и другие виды геомоделирования, системный анализ многоуровневой и разнородной геоинформации» паспорта научной специальности 25.00.35 – «Геоинформатика», разработанного экспертным советом ВАК.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 23 статьи, включая 3 статьи в изданиях, рецензируемых и рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении автором обоснована актуальность темы, установлены цели и определены задачи диссертационного исследования, определена научная новизна.

В первой главе автором проведен анализ существующих методов сбора информации и геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры, рассмотрены и проанализированы технологические особенности геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры.

При геоинформационном моделировании исходный пространственный объект автор заменил пространственной моделью, которая включает информацию об объекте моделирования и о его семантическом окружении. При этом модели содержат различные типы информации. По аспекту пространственных отношений выделены метрический и атрибутивный типы информации. По аспекту семиотического анализа автор выделил семантическую и синтаксическую составляющие. Метрическая информация определяет положение путем задания абсолютных координат точек модели и размеры объекта путем относительных координат точек в условных или местных системах. Атрибутивная информация в модели определяет принадлежность точек или объектов к определенному классу или объекту, описывает свойства объектов и их частей.

Автором введен технологический этап предварительного измерения траектории измерений. На основе обработки данных измерений в работе

создается дополнительная геоинформационная модель – дополнительная модель траектории измерений.

Исследованы особенности при создании дополнительной модели траектории измерений. Автором определена основная особенность, которая связана с проблемой больших данных. Эта особенность возникает при использовании МЛС и обусловлена большим количеством информации при массовом сборе и ограниченностью вычислительных средств обработки этой информации. Именно для решения проблемы больших данных автор создает вспомогательную априорную геоинформационную модель. Эта модель - есть проект измеряемой трассы, включающая маршрут трассы в плановых координатах, который создают на основе предварительного изучения материалов о трассе и который необходимо разбить на участки или блоки с такими объемами данных, которые может обработать применяемое программное обеспечение.

Выводы по первой главе

Геоинформационное моделирование тесно связано с другими видами моделирования и требует предобработки собранной пространственной информации. Именно мобильное лазерное сканирование является технологией массового сбора информации и применяется для обработки большого количества объектов, что особенно важно при моделировании транспортной инфраструктуры.

В результате проведенного автором анализа существующих методов сбора информации и геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры, а также обзора источников информации и на основе проведенных автором исследований технологических особенностей моделирования объектов транспортной инфраструктуры, в работе произведена постановка задачи.

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.

Во второй главе автором рассмотрены принципы и концепции геоинформационного моделирования.

При геоинформационном моделировании реальное пространственное явление или объект автор описывает с помощью специального аппарата. В начале геоинформационного моделирования выделяется слой, объект или объекты моделирования среди множества других, не участвующих в процессе моделирования. Данная процедура является *активизацией* объекта (объектов) и осуществляется по аналогии с процедурой активизации объектов во всех существующих графических редакторах.

Обобщенную процедуру геоинформационного моделирования предлагается описывать на основе отношений между A и S :

$$A, R, S \rightarrow M \quad (1)$$

где: A - активизированный объект; R - пространственное отношение; \rightarrow импликация; S - специальный объект; M – новый или модифицируемый объект из изменяемого объекта;

Здесь важно, что шаблон специального объекта S и активизированный объект A должны быть одного типа. Для описания пространственного объекта используются два класса геоданных: метрический и атрибутивный. В работе применяется условное обозначение совокупности геоданных атрибутивного класса произвольного объекта O символом $At(O)$, а совокупности метрических данных - символом $Pos(O)$.

В диссертации автор применяет три типа графических объектов: точечные (Pt), линейные (Ln), площадные (Ar).

При формировании геоинформационных моделей автором используются ряд процедур. *Объединение объектов* - является наиболее распространенной

процедурой комбинирования объектов. В данном случае процедура описывается теоретико множественным отношением объединения. Объединение объектов производится с использованием компьютерных технологий:

$$A1 \cup A2 \cup Ai \cup Ak \rightarrow M, \quad (2)$$

где k - число исходных объектов, участвующих в объединении.

В результате такого вида моделирования создается новый объект M и определяются соответствующие ему метрические и атрибутивные данные.

Выделение нескольких объектов из одного. Процедура выделения объектов позволяет разбить изменяемый объект на более мелкие объекты. При этом возможны два варианта. Первый - использование отношений принадлежности элементов множества к своим подмножествам. Если имеется множество $M(x_1, x_2, x_3, x_n)$, в котором можно выделить характерные элементы $\{x_1, x_2, x_3, x_n\}$, каждый из которых характеризует непересекающееся подмножество (X_1, X_2, X_3, X_n) данного множества, то процедура выделения имеет вид:

$$\forall x_i \in M(x_1, x_2, x_3, x_n); (x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_n) \rightarrow X_i \quad (3)$$

Этот вариант используется, когда задано пространство признаков, которые в явной форме можно отделить друг от друга. Второй вариант выделения пространственных объектов основан на использовании заданных шаблонов. Такой вариант используется при геоинформационном проектировании и межевании земель. Исходным условием является наличие общего ареала, в котором необходимо создать непересекающиеся множества. С помощью набора шаблонов большая территория разбивается на составляющие части.

$$A \int S1 \rightarrow M1; A \int S2 \rightarrow M2; \dots A \int Sn \rightarrow Mn \quad (4)$$

Шаблоны задаются морфологически, как паттерны, или аналитически, путем измерения на местности по определенным правилам.

Удаление фрагментов объектов. Удаление фрагмента или части изменяемого объекта реализуется путем наложения на него объекта-шаблона. Это удаление по совпадению с образцом.

$$A - A \cap S \rightarrow M \quad (5)$$

Комбинированию пространственной части геоинформационной модели должно соответствовать изменение атрибутов, поэтому при создании нового объекта определяются и задаются его атрибуты. При этом объект может создаваться путем укрупнения или на основе разбиения более крупного объекта. В работе применяются следующие методы обобщения данных:

Сумма - значения атрибутов, соответствующих исходным объектам, складываются, и сумма присваивается новому объекту.

$$At(M) = \sum At(A_i), \quad (6)$$

где $i = 1 \dots k$, k - число исходных объектов.

Среднее - вычисляется среднее значение атрибутов исходных объектов и присваивается атрибуту нового объекта.

$$At(M) = \sum At(A_i) / k_i, \quad (7)$$

где $i=1 \dots k$.

На рисунке 1 приведена технологическая схема моделирования.

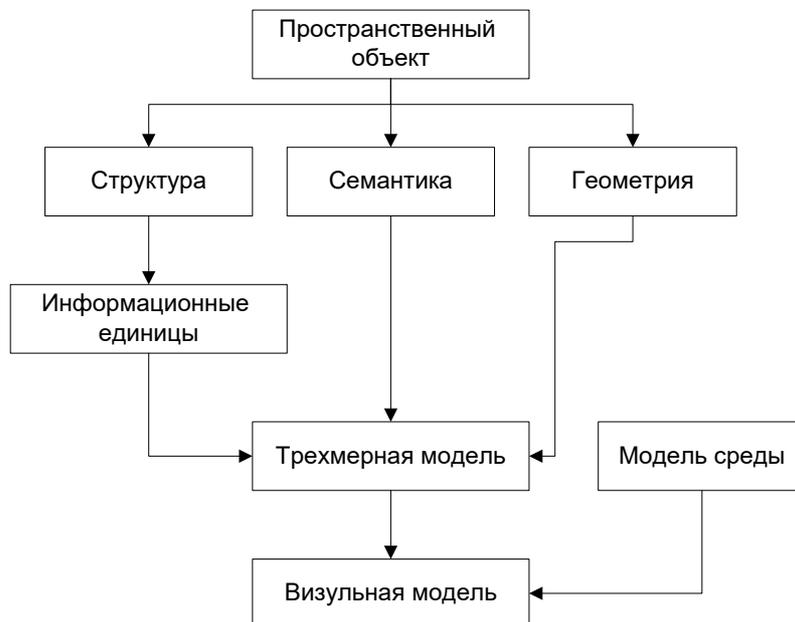


Рис.1. Схема моделирования с использованием информационных единиц

Введенные автором в технологический процесс моделирования информационные единицы - базисные элементы модели, представляют собой алфавит моделирования и задают язык моделирования. Следует заметить, что язык логики, язык карт, язык информатики или язык пространственной

агрегации используют набор специальных информационных единиц как алфавит. Таким образом, информационные единицы играют роль базовых элементов любого описания. Применение информационных единиц повышает научную обоснованность и обеспечивает логическую связанность и системность модели.

Информационные единицы хранятся в базах данных – библиотеках, в которых содержится необходимая информация об объектовом составе, степени детализации и атрибутивному наполнению элементов создаваемой модели. Объекты отображаются в соответствии с электронной библиотекой, соблюдая их плановое и высотное положение, а также конфигурацию и направление.

На рис.2. приведены фрагменты библиотеки информационных единиц для моделирования транспортной инфраструктуры.

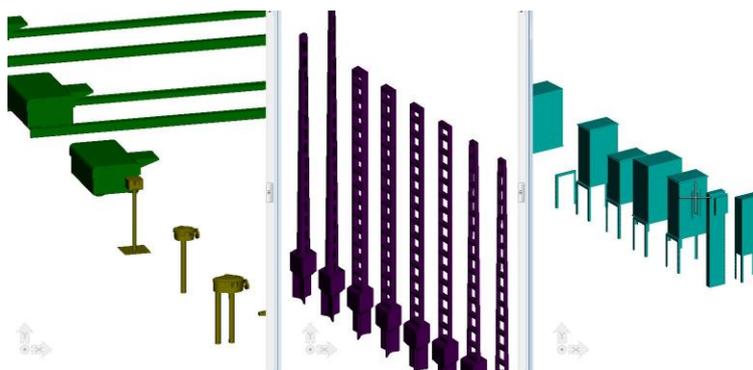


Рис.2. Фрагменты библиотеки информационных единиц.

Выводы по второй главе

Анализ состояния объектов транспортной инфраструктуры предполагает необходимость моделирования этих объектов. В качестве главного принципа геоинформационного моделирования объектов выбрано использование информационных единиц, которые обеспечивают структурность модели. Информационные единицы могут быть линейными, ареальными и трехмерными. Преимуществом геоинформационного моделирования является то, что оно учитывает ряд важных пространственных факторов: пространственные отношения и геореференцию. Предложенное моделирование объектов транспортной инфраструктуры решает задачи размещения на уровне пространственного и плоского моделирования с использованием

информационных единиц. Концепция информационных единиц является важным принципом, обеспечивающим сравнение, структурность и связанность пространственных моделей транспортной инфраструктуры.

В третьей главе разработана методика геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры ж/д транспорта, на основе данных, полученных по технологии МЛС.

Следующим важным элементом при геоинформационном моделировании является определение информационной модели ситуации, которая является отличительным признаком моделирования с использованием МЛС от обычного моделирования. Если информационная модель ситуации описывается с помощью информационных единиц, она является аналогом цифровой модели, если информационная ситуация описывается набором слабо связанных параметров без использования информационных единиц, она является подобием аналоговой модели.

В работе применяется наиболее распространенная процедура построения информационной ситуации - объединение объектов с учетом их пространственных связей и отношений. Этот вид моделирования описывается теоретико-множественным отношением объединения и не представляет сложности при его компьютерной реализации:

$$(O1, R1, Con1) \cup (O2, R2, Con2) \cup (Ok, Rk, Conk) \cup DTM \rightarrow SIS \quad (8)$$

В выражении (8) 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.

Облако точек, полученное в результате применения мобильного лазерного сканирования, можно просматривать в псевдоцветах или в реальном

цвете, оно является источником исходных данных для формирования геоинформационной модели.

Изложенный в работе процесс векторизации - это важный этап геоинформационного моделирования, в котором происходит преобразование растрового изображения в векторный формат. Этот процесс служит основой дальнейшего преобразования планового объекта в формат векторной модели. Такая векторизация, на основе данных, полученных по технологии МЛС, является принципиальным отличием от общепринятой векторизации.

В качестве исходной информации при векторизации автором используется не плоское растровое изображение, а объемное облако точек лазерной локации или точек лазерных отражений. Технология векторизации выполнена в соответствии со следующими этапами: загрузка точек лазерных отражений на обрабатываемый участок исследуемой модели; разделение точек на точки, участвующие в векторизации и на не участвующие в ней; настройка видов объекта, которые дают полную информацию о форме векторизируемого объекта (вид сверху, сбоку, разрез и т.д.); векторизация с использованием специализированного ПО; сборка векторизованных объектов в единую модель.

При векторизации использовался как автоматический, так и ручной режим. Для формирования модели автором разработаны и применены правила моделирования трехмерных объектов. По окончании векторизации всех имеющихся слоев, присутствующих в модели, происходит сборка всех слоев в единую модель (рис.3.).



Рис.3. Информационная ситуация как результат векторизации облака точек

Далее в работе проводилось атрибутирование. Атрибутирование – это разновидность технологии семантического моделирования, которая состоит в присвоении объекту атрибутивной (семантической) информации о его свойствах, технических характеристиках, местоположении, прочей существенной информации, в т.ч. информации о параметрах эксплуатации.

Для формирования базы данных пространственных объектов и ее дальнейшего использования и применения автором разработаны специальные правила. С учетом всех классов объектов создается следующее универсальное отношение: наименование слоя; тип хранящихся данных; описание группы объектов, хранящихся в слое; входение в групповой слой проекта; связанные слои с иным представлением объектов; атрибуты объектов, классификатор объектов слоя; код объекта из классификатора; описание обрабатываемого объекта; пример условного знака отображения объекта в проекте.

Атрибуты объектов включают шесть категорий: наименование объекта; псевдоним объекта; тип данных; длина; является обязательным или необязательным; возможные значения из классификатора.

Данные правила сформированы для каждого типа объекта.

Выводы по третьей главе

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.

Разработка единых правил создания геоинформационных моделей, а также единых правил формирования баз данных, является важной основой для создания единой системы геоинформационного моделирования. Единые стандарты, отраженные в методике и в разработанных правилах моделирования

трехмерных объектов и в правилах формирования базы данных геоинформационных объектов, позволяют формировать типовые модели объектов инфраструктуры ж/д транспорта, а значит унифицировать создание моделей объектов. В связи с тем, что обработка данных в геоинформатике использует не идеальные данные, а реальные, это накладывает ряд дополнительных требований к обработке и оценке качества ее результатов.

Геоинформационные модели, созданные на основе разработанной автором методики, могут являться основой для последующих производственных, строительных и проектных работ.

В четвертой главе отражены экспериментальные исследования технологии.

В соответствии с разработанной технологией и на основании разработанных автором правил моделирования трехмерных объектов и правил формирования базы данных геоинформационных объектов созданы геоинформационные модели на: Московской, Горьковской, Октябрьской, Северо-Кавказской, Юго-Восточной железных дорогах и Московском центральном кольце (МЦК), общей протяженностью более 300 км.

Автором приведены экспериментальные исследования технологии на примере построения геоинформационной модели объектов Московского центрального кольца.

Полученное в результате применения технологии МЛС облако точек было подвергнуто первичной обработке, что обеспечило исходные данные для последующей векторизации.

В первую очередь автором были определены точки, участвующие и неучаствующие в векторизации, была определена и выделена область обработки, а также выделены зоны векторизации, которые были отсчитаны от осевой линии, проложенной посередине между путями, по которым осуществлялось мобильное лазерное сканирование.

На этапе построения модели на основе исходного прошедшего первичную обработку облака точек построена логически структурированная

модель как совокупность информационных единиц. Информационные единицы наполнили семантическим содержанием и выполнили окончательное семантическое моделирование объекта. На рис.4 приведен фрагмент результата трехмерного моделирования с использованием информационных единиц.



Рис.4. Результат моделирования с использованием информационных единиц

В результате дальнейшей обработки была построена геоинформационная модель ситуации. Важное значение в работе имеет именно пространственная ситуация, в которой объект совмещен с другими объектами. На рис.5 приведён фрагмент информационной ситуации, полученной на основе векторизации по разработанной автором методике с применением разработанных автором «правил моделирования трехмерных объектов».

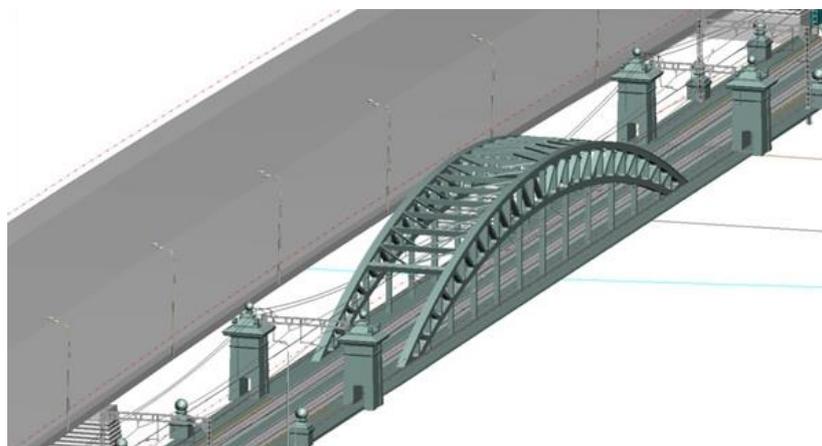


Рис.5. Фрагмент информационной ситуации МЦК 38км 5/6пк

Далее выполнено атрибутирование с применением разработанных автором «правил формирования базы данных геоинформационных объектов».

Сформированная геоинформационная модель служит основой для контроля, управления и выноса в натуру объектов инфраструктуры.

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.

Заключение.

Разработанная методика геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта на основе данных, полученных по технологии МЛС, является системной и эффективной. Единые правила моделирования трехмерных объектов и правила формирования базы данных позволяют 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

Основные итоги диссертационного исследования:

- Проанализирован опыт работ по применению способов геоинформационного моделирования при создании моделей пространственных данных.
- Исследованы технологические особенности сбора исходных данных для геоинформационного моделирования объектов на основе технологии применения МЛС как части технологии геоинформационного моделирования объектов инфраструктуры ж/д транспорта.
- Разработаны принципы геоинформационного моделирования объектов транспортной инфраструктуры.
- Разработана методика геоинформационного моделирования на основе данных, полученных по технологии МЛС.

- Выполнено логическое обоснование методики и разработаны для нее прескриптивные модели.
- Разработаны правила моделирования трехмерных объектов.
- Разработаны правила формирования базы данных геоинформационных объектов.
- Исследованы модели информационных ситуаций и информационных единиц как инструмента моделирования пространственных объектов.
- Проведены экспериментальные исследования разработанной методики.

Рекомендации по практическому использованию. Полученные результаты могут быть использованы при производстве работ по геоинформационному моделированию и при ведении геоинформационных баз данных.

Перспективы дальнейшей разработки темы. 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.

Список публикаций автора по теме диссертации:

Публикации в рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК по теме специальности:

1. Андреева О.А. Цифровое моделирование при проектировании трассы железных дорог / О.А. Андреева, С.В. Булгаков // Информация и космос – 2019.- №3.- С.136-144;
2. Андреева О.А. Трехмерное геоинформационное моделирование при массовом сборе информации / А.А. Майоров, В.Я. Цветков, О.А. Андреева // Известия ВУЗОВ. Геодезия и аэрофотосъемка – 2020.-№2. –С.229-236;
3. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры по данным мобильного лазерного сканирования / В.Я. Цветков, О.А. Андреева // Известия ВУЗОВ. Геодезия и аэрофотосъемка – 2020.-№3. –С.354-360.

Публикации в рецензируемых научных журналах:

4. Андреева О.А. К вопросу использования дистанционного зондирования местности при проектировании железных дорог / О.А. Андреева, Н.И. Конон, М.Г. Ратинский // Геодезия и картография – 2019.- №5.- С.47-53.
5. Андреева О.А. Задачи совершенствования методов проектирования железных дорог с использованием дистанционного зондирования местности / О.А. Андреева, Н.И. Конон // Транспортное строительство – 2019.- №2.- С.6-8.
6. Андреева О.А. Трассирование железных дорог с использованием ГИС / О.А. Андреева, Н.И. Конон // Путь и путевое хозяйство – 2019.- №11.- С.26-29.
7. Андреева О.А. Ситуационное моделирование транспортной инфраструктуры при мобильном лазерном сканировании / В.Я. Цветков, О.А. Андреева, И.Е. Рогов, Е.К. Титов // Автоматика, связь, информатика – 2020.-№2.-С.2-4.
8. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование при проектировании линейных объектов / О.А. Андреева // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении – 2019.- №1.- С.30-39;
9. О.А. Андреева, С.Г. Дышленко Геоинформационное проектирование трехмерных объектов // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении – 2019.- №1.- С.39-46;
10. Андреева О.А. Геоинформационное семантическое моделирование / О.А. Андреева // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении – 2019.- №3.- С.27-32;
11. Андреева О.А. Применение геоинформатики для проектирования железных дорог / О.А. Андреева // Наука и технологии железных дорог /АО "НИИАС" – 2019.- №2.- С.37-52;
12. Андреева О.А. Применение мобильного лазерного сканирования для мониторинга объектов транспортной инфраструктуры / О.А. Андреева // Наука и технологии железных дорог / АО "НИИАС" – 2019.- №3.- С.61-74;
13. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры / О.А. Андреева // Наука и технологии железных дорог / АО "НИИАС" – 2019.- №4.- С.39-49;

14. Андреева О.А. Проектирование железных дорог / О.А. Андреева // Конструкторское бюро – 2019.- №3.- С.32-39;
15. Андреева О.А. Пространственное проектирование с позиций системного анализа / О.А. Андреева // Конструкторское бюро -2019.- №3.- С.70-77;
16. Андреева О.А. Информационные единицы в моделировании транспортной инфраструктуры / О.А. Андреева // Наука и технологии железных дорог / АО "НИИАС" – 2020.- №1.- С.57-68;
17. Андреева О.А. Цифровое моделирование при проектировании железных дорог / О.А. Андреева // Славянский форум – 2019.- №1.- С.7-13;
18. Андреева О.А. Системный анализ геоинформационного проектирования / О.А. Андреева // Славянский форум – 2019.- №1.- С.87-93;
19. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование / О.А. Андреева // Славянский форум – 2019.- №2.- С.7-12;
20. Андреева О.А. Системный анализ ГИС и окружения / О.А. Андреева // Славянский форум – 2019.- №2.- С.94-99;
21. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование с использованием МЛС / О.А. Андреева // Славянский форум – 2019.- №3.- С.7-18;
22. Андреева О.А. Прескриптивные логические модели как основа научного обоснования методики геоинформационного моделирования с МЛС / О.А. Андреева // Славянский форум – 2019.- №4.- С.7-16;
23. Андреева О.А. Мобильное пространственное управление / О.А. Андреева // Славянский форум – 2019.- №4.- С.174-184.