

Министерство обороны Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«27 Центральный научно-исследовательский институт»

На правах рукописи



Смирнов Владислав Николаевич

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ
ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

1.6.20 – Геоинформатика, картография

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор
Флегонтов Александр Валентинович

Москва, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ БАЗ ДАННЫХ	12
1.1 Анализ опыта создания информационного обеспечения навигационных карт и баз данных в Российской Федерации и за рубежом.....	12
1.2 Выбор основных направлений диссертационных исследований	33
1.3 Выводы по разделу 1	35
2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА.....	37
2.1 Разработка и обоснование требований к информационному обеспечению навигационной базы данных для автомобильного транспорта.....	40
2.2 Разработка методических подходов к формированию каталога классов объектов навигационной базы данных	42
2.2.1 Дорожная сеть	51
2.2.2 Узлы.....	66
2.2.3 Условия движения	67
2.2.4 Точки интереса	74
2.2.5 Точечные адреса.....	80
2.2.6 Строения	81
2.2.7 Административные области	81
2.2.8 Дорожные указатели.....	83
2.2.9 Железные дороги	84
2.2.10 Гидрография	85
2.2.11 Объекты землепользования и растительного покрова.....	86
2.2.12 Матрица рельефа.....	88
2.2.13 Навигационно-значимые объекты.....	89

2.2.14 Метаданные	90
2.3 Разработка концептуальной модели навигационной базы данных	91
2.4 Разработка метода представления топологических отношений на основе нечеткой логики для навигационно-значимых объектов навигационной базы данных	92
2.5 Выводы по разделу 2	110
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МЕТОДИКИ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА.....	112
3.1 Патентный поиск.....	112
3.2 Создание навигационной базы данных на экспериментальный участок.....	114
3.3. Оценка эффективности методики	117
3.4 Направления развития информационного обеспечения навигационных баз данных	118
3.5 Выводы по разделу 3	119
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	120
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	122

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время рынок навигационных услуг существенно расширяется. Особенно активно развивается автомобильная навигация, а также связанные с ней услуги и сервисы, которые широко используются в различных отраслях народного хозяйства, включая транспорт, логистику, туризм, телекоммуникации. Появление беспилотного транспорта, внедрение интеллектуальных транспортных систем, востребованность интеллектуальных геосервисов предоставления навигационной информации в форме, наиболее близкой к восприятию человеком, оперирующему нечеткими, слабо формализованными понятиями, требуют постоянного развития технологий. Одним из основных элементов, необходимых для функционирования навигационных систем, являются навигационные базы данных (НБД). НБД – структурированное хранилище информации, включающее в себя различные навигационные данные, необходимые для определения местоположения автомобиля, построения оптимальных маршрутов по различным критериям и предоставления сведений о дорожных условиях. Качество НБД определяется уровнем развития ее информационного обеспечения (ИО). В данной диссертационной работе под ИО понимается информация, упорядоченная по структуре и формам представления и предназначенная для использования в НБД, а также совокупность методов и средств ее формирования, хранения, актуализации и предоставления для использования в навигационных системах и сервисах. Для эффективного решения навигационных задач и внедрения новых технологий важно иметь полные, точные, актуальные и достоверные пространственные данные, организованные с учетом их нечеткости и неопределенности, что не в полной мере реализовано в существующих НБД. В этой связи возникает необходимость совершенствования структуры и содержания НБД.

Актуальность исследования

В Российской Федерации, согласно действующему законодательству, на государственном уровне для решения задач наземной навигации создаются цифровые навигационные карты (ЦНК) и планы (ЦНПГ) [74, 75]. В их основе лежат электрон-

ные топографические карты и планы, служащие картографической основой, которые дополняются навигационной информацией в виде пользовательских карт, включающих информацию о дорожном графе, объектах сервиса и дорожных знаках. Недостатком ЦНК и ЦНПГ является их привязка к технологии создания топографических карт, низкая периодичность обновления которых не позволяет поддерживать актуальность и достоверность постоянно изменяющейся навигационной обстановки на необходимом уровне. Кроме того, они имеют фиксированный масштабный ряд и недостаточный уровень детализации, а при раздельном использовании возникает рассогласование навигационной составляющей с картографической основой, что снижает эффективность их использования.

НБД в России и за рубежом создаются, в основном, коммерческими производителями. Они, в целом, лишены недостатков, присущих цифровым навигационным картам. Но имеют свои минусы, основным из которых является закрытость технологий создания баз данных и отсутствие единых стандартов, вследствие чего возникает несогласованность данных у разных производителей. Также общим недостатком, присущим ЦНК и НБД, является то, что в них не используются межобъектные топологические отношения на основе нечеткой логики, актуальность и перспективность применения которых показали проведенные исследования. А это снижает возможности объективного анализа и оценки обстановки при решении навигационных задач. Кроме того, ряд зарубежных производителей НБД в связи с введенными против РФ санкциями прекратил поддержку обновлений своих продуктов.

Для эффективного решения навигационных задач и внедрения новых технологий важно иметь полные, точные, актуальные и достоверные пространственные данные, организованные с учетом их нечеткости и неопределенности, что не в полной мере реализовано в существующих НБД. В этой связи возникает необходимость совершенствования структуры и содержания НБД. Исследования, проведенные в области развития автомобильной навигации и навигационных баз данных показали наличие противоречий, требующих разрешения.

Первое противоречие заключается в низкой оперативности обновления и недостаточной полноте содержания государственных цифровых навигационных карт, с одной стороны, и необходимостью представления пользователям точной, полной, актуальной и достоверной навигационной информации в соответствии с современными требованиями, с другой стороны.

Второе – между ограниченными возможностями объективного анализа и оценки обстановки на основе существующих НБД и необходимостью выполнения требований однозначного и оперативного ориентирования водителя на местности при следовании по маршруту, выполнении маневров и поиске точек интереса.

В этой связи, актуальность исследования заключается в разрешении выявленных противоречий между существующими подходами к созданию навигационных баз данных и необходимостью повышения эффективности решения навигационных задач за счет научного обоснования и применения разработанной в диссертации методики.

Для этого необходимо решить актуальную научную задачу – разработать методику создания информационного обеспечения навигационной базы данных для автомобильного транспорта, позволяющую повысить эффективность решения задач наземной навигации.

Степень разработанности темы

Вопросы развития наземной навигации и создания навигационных баз данных были исследованы и проанализированы по нормативным документам, публикациям в профильных изданиях и диссертациям соответствующей тематики.

Вопросы развития, задачи и функции наземной навигации, теория и методы проектирования навигационных баз данных, основы классификации и кодирования геопространственной информации, проблемы маршрутизации и мониторинга транспорта раскрыты и обоснованы в научных трудах таких ученых, как Акерман Д. Р., Берлянт А. М., Верещака Т. В., Дубровина С. В., Живичин А. Н., Карпик А. П., Лисицкий Д. В., Мартыненко А. И., Николаева О. М., Платонов П. Л., Присяжнюк С. П., Радченко Л. К., Уилсон Р. Д., Утробина Е. С., Харрингтон Д. Л. и других.

Исследования в области интеллектуализации транспортных систем, разработки новых перспективных подходов к представлению навигационной информации, формированию и использованию знаний о местности в геоинформационных системах проводились такими учеными, как Андрианова Д. Е., Беляков С. Л., Болбаков Р. Г., Васмут А. С., Журкин И. Г., Заде Л. А., Кандрашина Е. Ю., Лисовский Е. В., Майоров А. А., Маркелов В. М., Петри Ф. Э., Пospelов Д. А., Робинсон В. Б., Розенберг И. Н., Савиных В. П., Соколов М. С., Тикунов В. С., Флегонтов А. В., Цветков В. Я. и других.

В их работах рассматривается достаточно широкий круг вопросов развития навигационной отрасли за счет ее интеллектуализации. Но вместе с тем, не в полной мере раскрыты важные и актуальные вопросы разработки интеллектуальных навигационных сервисов представления информации о дорожной обстановке с учетом нечеткости и неопределенности геоданных. Более глубокое изучение данного вопроса позволит повысить уровень интеллектуализации и функциональности НБД, их адаптированность к изменяющимся дорожным условиям.

Цель диссертационной работы – повышение эффективности решения задач наземной навигации за счет использования новых методических подходов к информационному обеспечению навигационных баз данных для автомобильного транспорта.

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

- разработать методику создания ИО НБД для автомобильного транспорта,
- разработать научно-обоснованные требования к ИО НБД для автомобильного транспорта,
- разработать методические подходы к формированию каталога классов объектов НБД,
- разработать концептуальную модель НБД,
- разработать метод представления топологических отношений на основе нечеткой логики для навигационно-значимых объектов НБД,
- провести экспериментальное апробирование методики создания ИО НБД для автомобильного транспорта.

Объектом исследования является методика создания навигационных баз данных для решения задач управления транспортными средствами.

Предметом исследования является информационное обеспечение навигационной базы данных для автомобильного транспорта.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

– впервые разработана методика создания информационного обеспечения навигационной базы данных для автомобильного транспорта с использованием метода межобъектных топологических отношений на основе нечеткой логики, позволяющая решать навигационные задачи для различных категорий пользователей с учетом нечеткости и неопределенности геоданных;

– разработан метод представления межобъектных топологических отношений для навигационной базы данных, основанный на принципах нечеткой логики, и позволяющий осуществлять более гибкую интерпретацию и анализ пространственных данных в условиях динамично изменяющейся дорожной ситуации.

Теоретическая значимость диссертационных исследований заключается в развитии и совершенствовании методических подходов в части создания навигационных баз данных для автомобильного транспорта на основе применения нечеткой пространственной логики для решения широкого круга задач наземной навигации в различных сферах деятельности.

Практическая значимость работы заключается в решении задач в области навигации автомобильного транспорта на более высоком научном и методологическом уровне. Полученные результаты могут быть использованы для создания и применения НБД в различных отраслях экономики и социального развития, разработки стандартов в области наземной навигации, развития интеллектуальных транспортных систем и беспилотного транспорта, в учебном процессе ВУЗов.

Методология и методы исследования

При проведении исследований использовались методы сравнительного анализа, геоинформационного моделирования, системный картографический подход, методы классификации и кодирования, метод экспериментального апробирования, теория нечетких множеств.

Положения, выносимые на защиту:

– методика создания информационного обеспечения навигационной базы данных для автомобильного транспорта, позволяющая решать навигационные задачи для различных категорий пользователей с учетом применения межобъектных топологических отношений на основе нечеткой логики;

– метод представления топологических отношений между объектами навигационной базы данных на основе нечеткой логики, способствующий повышению оперативности и качества решения навигационных задач за счет возможности более гибкой интерпретации и анализа пространственных данных в условиях изменяющейся дорожной обстановки.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация соответствует области научного исследования, определенной паспортом научной специальности 1.6.20 – «Геоинформатика, картография», разработанным экспертным советом ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации по техническим наукам: п. 3 – «Модели и структуры пространственных данных. Базы пространственных данных, пространственные метаданные. Классификация и кодирование картографической информации. Цифровые карты»; п.7 – «Картографические и геоинформационные методы и технологии анализа пространственных данных, моделирования пространственных явлений, объектов, процессов, отношений и систем».

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов исследования подтверждается апробацией разработанной методики в ходе создания НБД, позволяющей решать задачи в области наземной навигации в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях:

научно-практическая конференция «Цель и задачи геоинформационного обеспечения современной высокотехнологичной армии» (2021 г., Московская область, парк «Патриот»);

военно-научная конференция «Создание единого геоинформационного пространства обеспечения обороны и безопасности Российской Федерации» (2021 г., Москва, НИЦ (ТГНО) «27 ЦНИИ» Минобороны России);

научно-практическая конференция «Картография и геоинформатика в системе военного управления. Проблемы и пути их решения» (2023 г., Москва, НИЦ (ТГНО) «27 ЦНИИ» Минобороны России);

научно-практическая конференция «Основные направления развития и проблемные вопросы в военной геодезии, картографии, геоинформатике и наземной навигации» (2024 г., Москва, НИЦ (ТГНО) «27 ЦНИИ» Минобороны России).

Методика реализована в ООО «ТелеПроводник» в рамках:

научно-исследовательской работы «Разработка материалов информационного обеспечения автоматизированной системы обеспечения геопространственной информацией»;

опытно-конструкторской работы «Разработка технического предложения по созданию региональной системы управления и контроля движения автотранспортных средств».

По результатам опытно-конструкторской работы компанией ООО «ТелеПроводник» получен Евразийский патент «Способ обновления и использования картографических данных и пространственно-распределенная гибридная навигационная система для его реализации» [33], а также свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:

- интеллектуальная геоплатформа iGP (Intellectual GeoPlatform) [99];
- система мониторинга и управления подвижными объектами на базе геоплатформы iGP (TeleSafe) [100].

Кроме того, был получен ряд патентов на продукты, в которых использовалась данная методика:

- способ интерактивного навигационно-туристического средства в реальном времени и устройство для его реализации [34];
- система оперативного составления и использования мобилизационных карт при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций [81];

– способ оперативного составления мобилизационных карт при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций [82].

Результаты разработанной методики создания информационного обеспечения навигационной базы данных для автомобильного транспорта используются в технологии создания навигационных баз данных в ОАО «ТелеПроводник».

Публикации

По теме диссертации имеется 6 публикаций, в том числе 5 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Объём и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка литературы. Работа содержит 24 таблицы и 37 рисунков. Объем диссертации 141 страница. Библиография включает 165 наименований.

1 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ БАЗ ДАННЫХ

1.1 Анализ опыта создания информационного обеспечения навигационных карт и баз данных в Российской Федерации и за рубежом

В Российской Федерации деятельность в сфере навигации регулируется на уровне федерального законодательства, а именно законом «О навигационной деятельности» [74]. Этот нормативный акт охватывает все аспекты, связанные с предоставлением услуг и выполнением работ в области навигации, включая производство государственных навигационных карт для автомобильных дорог, в том числе для нужд обороны и безопасности государства.

К государственным навигационным картам относят аэронавигационные и морские карты, карты внутренних водных путей, а также специализированные карты для обеспечения задач обороны и безопасности страны.

Стандарты качества и требования к этим картам устанавливаются соответствующими федеральными органами исполнительной власти по распоряжению Правительства РФ.

Кроме того, законом предусматривается существование коммерческих производителей карт и баз данных для автодорог, осуществляющих свою деятельность на основе собственных стандартов.

Что касается наземной навигации, то здесь создаются государственные навигационные карты для решения задач в сфере обороны и безопасности Российской Федерации. Они разрабатываются в соответствии с требованиями приказа Министра обороны от 24.09.2020 № 478 [75]. Их состав и содержание представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Государственные навигационные карты для решения задач в сфере обороны и безопасности Российской Федерации

В рамках федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы» был выполнен ряд государственных заказов на актуализацию открытых цифровых навигационных карт (ОЦНК) масштабов 1:25 000, 1:50 000 и 1:100 000, а также планов городов (ОЦНПГ) масштаба 1:10 000. Компания ЗАО «КБ «Панорама» разработала техническую документацию для создания этих карт и планов по поручению Росреестра, используя в качестве основы доступные цифровые топографические карты и планы.

ОЦНК предназначены для использования в наземном транспорте и являются векторными картами, которые содержат информацию о дорожной инфраструктуре, графе сети дорог, сервисных объектах и знаках дорожного движения.

Согласно требованиям [75] они создаются в общеземной геоцентрической системе координат ПЗ-90.11, Балтийской системе высот 1977 г. и имеют номенклатурное деление, как и у топографических карт. Граф дорожной сети содержится в

пользовательской карте, не подразделяющейся на номенклатурные листы, и разрабатывается для всего района работ, что обычно соответствует какому-либо из уровней административного деления территории. ОЦНК могут использоваться как отдельно, так и в комбинации с цифровыми топографическими картами масштабов 1:25 000, 1:50 000 и 1:100 000 для той же самой территории. Данные предоставляются и хранятся в базовом обменном формате SXF [89].

В ходе проведенных исследований были проанализированы правила отображения и характеристики графа дорожной сети, являющегося ключевым элементом ОЦНК. Структура дорожного графа формируется за счёт узлов и связывающих их дуг, которые имеет уникальный идентификатор в рамках данного графа. Дуги классифицируются на основании направления движения – они бывают двусторонними или односторонними. Обычно дуги прокладываются по центральным линиям улиц или проездов с сохранением топологической связности в местах соединений. Односторонние дуги должны быть направлены в соответствии с реальным направлением движения на них, в то время как двусторонние могут иметь любое направление. Узлы служат для соединения двух различных по характеристикам дуг или объединения нескольких на перекрёстках и развязках дорог. В случае пересечения дорог на разных уровнях узлы не формируются. Используя однонаправленные и двусторонние дуги и узлы, можно определять пересечения различного типа. Дорожный граф должен включать в себя классы дорог с асфальтовым покрытием за пределами населённых пунктов, а также все улицы внутри населённых пунктов, которые имеют выход к указанным дорогам. Кроме того, для предоставления возможности прокладывания маршрута между населёнными пунктами и другими объектами промышленного или социокультурного назначения в граф включаются все доступные полевые и грунтовые дороги.

Кроме дорожного графа, ОЦНК содержат сервисные объекты и дорожные знаки.

Сервисные объекты – это объекты с точечным характером локализации, размещаемые вдоль дорог. К ним относятся учреждения, обслуживающие участников

дорожного движения и предоставляющие различные сервисные услуги. Атрибутивная информация об объектах сервиса включает адресную информацию, описание оказываемых услуг и условия их предоставления.

Знаки дорожного движения размещаются вдоль дорог, имеют точечный характер локализации и служат для предоставления информации об организации дорожного движения его участникам. Они могут дублировать данные, содержащиеся в графе дорожной сети.

Адресная информация содержится в отдельном слое. Зданиям обычно присваивается единственный адрес, как правило, связанный с более важной улицей. Для зданий, имеющих несколько адресов, формируются дополнительные адресные точки.

Информация об организации дорожного движения представлена предупреждающими и запрещающими знаками, табличками с направлением движения, схемами транспортных развязок и объездных путей. Также она включает данные о прилегающих объектах инфраструктуры: заправочных станциях, парковках и стоянках для автомобилей, сервисных станциях по обслуживанию автомобилей, точках общественного питания, отелях и гостиницах, данные о туристических достопримечательностях.

ОЦНПГ создаются в масштабах 1:2000 и 1:10000 на основе открытых цифровых планов городов на отдельные населенные пункты и содержат ту же информацию, что и ОЦНК.

В результате проведенных исследований была выявлена тесная взаимосвязь между технологиями создания топографических и навигационных карт и планов городов. Предусматриваемая нормативной документацией формальная возможность независимого использования навигационных карт без картографической основы, содержащейся на топографических картах, снижает эффективность их применения и может привести к рассогласованию данных. На практике навигационные карты должны обновляться одновременно с топографическими во избежание несоответствий. Существующий цикл обновления топографических карт не соответ-

ствуется потребности поддержания актуальности навигационных карт на необходимом уровне. Дорожные условия постоянно изменяются, вследствие чего карты утрачивают свою достоверность и актуальность в короткие сроки.

Согласно существующей технологии, граф дорожной сети формируется автоматически на основе дорожного слоя топографической карты без использования других её слоёв. Формирование ребер графа происходит автоматически путем разделения участков дорог в точках их пересечения. Пересечение дорог с объектами других слоев карты и изменение характеристик дорожной сети не учитываются при автоматическом формировании графа. Таким образом, граф дорожной сети, построенный на основе топографической карты, требует ручной коррекции для достоверного отображения всех параметров движения и характеристик дорог, необходимых для эффективного выполнения навигационных задач.

В связи с вышеуказанными недостатками существующие навигационные карты целесообразно использовать в качестве одного из видов исходных материалов, содержащих сведения о картографической основе и навигационной информации, которые необходимо дорабатывать в соответствии с требованиями, предъявляемыми к НБД.

В результате анализа зарубежного опыта по созданию навигационных баз данных определено, что одним из основополагающих стандартов, на который ориентируются в своей работе крупнейшие зарубежные компании, поставляющие навигационные данные на весь мир, является стандарт ISO 20524 [151, 152], описывающий формат файлов географических данных (Geographic Data Files – GDF). В 2020 году он заменил стандарт «ISO 14825:2011» [150] и фактически повторяет его содержание, за исключением темы общественного транспорта, которая была пересмотрена и теперь описывается в отдельной части.

Этот стандарт устанавливает концептуальные и логические структуры данных, а также форматы для физического представления географических баз данных, используемых в приложениях и сервисах интеллектуальных транспортных систем (ИТС). В его рамках описывается возможный набор данных географических баз

(включая каталоги объектов, их атрибуты и взаимосвязи), универсальные принципы организации этих данных, а также сведения о метаданных. В стандарте сделан особый акцент на представлении информации, касающейся дорожной сети и ее инфраструктуры.

Стандарт состоит из несколько частей. После вводных положений определяется общая концептуальная модель данных. В ней отображаются основные блоки данных и их взаимосвязи, а также различные типы топологии, поддерживаемые данным стандартом. Кроме того, модель описывает представление объектов реального мира в базе данных, характеристики объектов, а также топологические и нетопологические взаимосвязи между ними. Семантически объекты распределены по темам. Логически и физически объекты распределены по классам в соответствии с содержанием.

В каталоге объектов (сущностей) определены различные объекты, поддерживаемые этим стандартом.

В каталоге атрибутов определены атрибуты объектов. Матрица использования описывает применимость атрибутов для каждого типа объектов и каждого отношения.

В каталоге отношений определены различные нетопологические (то есть семантические) отношения. Отношения могут связывать объекты разных категорий, или объекты из одной и той же категории. В правилах представления объектов для каждого типа топологии указываются возможные геометрические способы представления отдельных объектов.

Спецификации объектов, атрибутов и отношений носят рекомендательный характер. Фактическое содержимое баз данных, помимо минимального набора элементов метаданных, указанных в форматах поставки, не указывается в настоящем стандарте, поскольку определяется клиентами и поставщиками самостоятельно.

Стандарт позволяет вводить пользовательские объекты, атрибуты и отношения. В некоторых случаях предлагаются различные альтернативные способы моделирования и представления баз данных. Для представления объектов в разных гео-

графических областях может потребоваться использование различных базовых механизмов представления, условных знаков, проекций и т.д. Кроме того, формат GDF по существу является автономным форматом без каких-либо внешних спецификаций. Для этого в стандарте определяются способы описания GDF с помощью метаданных.

Помимо предоставления стандарта для определения географических баз данных дорожной сети, настоящий стандарт также определяет механизмы обмена данными и методы их передачи.

Рассмотрим более подробно общую модель данных GDF, представленную на рисунке 2.

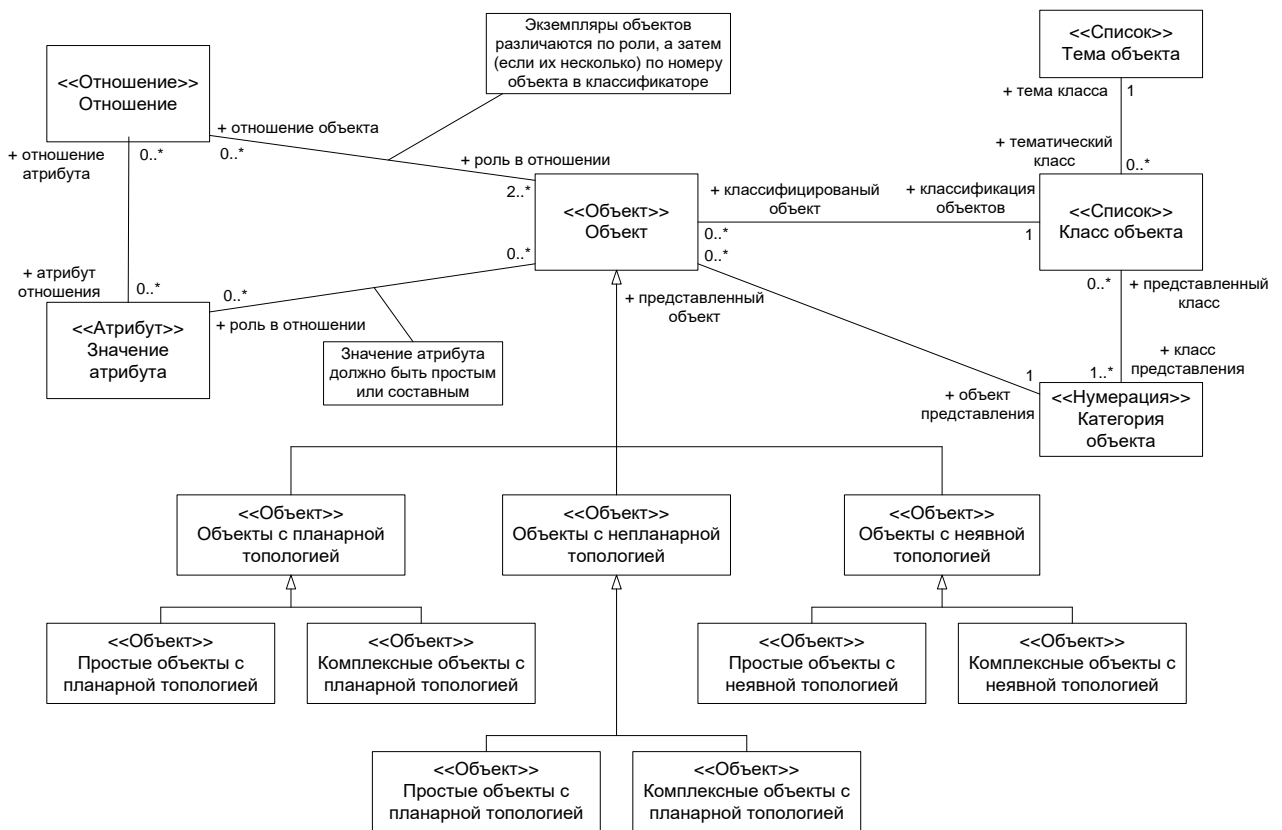


Рисунок 2 – Общая концептуальная модель данных GDF [150]

В центре модели находится «Объект», который представляет в базе данных реальный географический объект. Каждый объект принадлежит к одному классу объектов. Это ограничение указано на диаграмме объектов с множественностью 1

в ассоциации между классами объектов. Бесклассовые объекты (объекты, не относящиеся к классу объектов) и гибридные объекты (объекты, принадлежащие к нескольким классам объектам) в GDF не разрешены. На диаграмме также показано, что классы и темы объектов однозначно ссылаются на код и имя объекта.

Атрибуты служат для представления характеристик объекта, которые не зависят от других объектов. Объект может иметь ноль или более атрибутов.

Отношение используется для объединения двух или нескольких объектов. Отношения могут иметь ноль или более атрибутов.

Каждый объект принадлежит только к одной категории объектов. На категорию объектов однозначно ссылаются имя и код. GDF определяет четыре категории объектов – точку, линию, полигон и комплекс. В совокупности точка, линия и полигон называются простыми объектами. Комплексные объекты – это совокупности других объектов, простых, сложных или их сочетание.

Также объекты различаются по типу топологии базового графа на объекты с неявной, планарной и непланарной топологией.

При неявной топологии топологические отношения между объектами не определены явно, т.е. топологические отношения определяются только значениями координат.

При непланарной топологии топологические отношения четко определены. Объекты могут полностью или частично совпадать, или пересекаются друг с другом.

При планарной топологии топологические отношения четко определены, но объекты не должны полностью или частично совпадать и не должны пересекаться друг с другом. Пересекающиеся объекты разбиты на отдельные фрагменты, в результате чего формируются общие части.

В исключительных случаях стандарт также поддерживает явное определение топологии на уровне объекта.

Неявная топология дает возможность определять и обрабатывать данные, для которых топологические отношения менее актуальны (например, данные отобра-

жения карты) очень эффективным способом. Непланарная топология дает возможность выполнять сетевые операции. Планарная топология дает также возможность эффективно интегрировать информацию о местности в сетевых операциях.

В планарной топологии узлы и дуги образуют граф. В особых случаях, когда два точечных объекта расположены друг над другом, один узел представляет объект линию «нулевой длины», например, лифт между различными уровнями здания.

Интегрированное представление применяется для полигональных объектов.

Перейдем от общей концептуальной модели к рассмотрению моделей каталогов объектов, атрибутов и отношений.

Проанализируем каталог объектов. В GDF реальные объекты или действия в определенном месте представлены как «Объекты». Примерами объектов реального мира являются дороги и здания. Примерами деятельности в определенном месте являются услуги. Некоторые объекты могут быть сгруппированы в «Темы» (например, «Дороги и переправы»).

Все объекты и темы в GDF упоминаются по имени объекта или имени темы. Большинство названий происходит от терминов, обычно используемых в повседневной жизни (например, дорога, строительство). Чтобы отличить имя объекта GDF от этих обычно используемых терминов, имена объектов и тем объектов даются заглавными буквами в начале каждого слова.

При обмене данными для объектов и тем используется цифровой код. Четырехзначный код используется для объектов, двухзначный – для тем. Существует строгое соотношение 1:1 между именами объектов и кодами классов объектов, а также между именами объектов и кодами объектов.

В GDF различают простые и сложные объекты. Простой объект – это объект, не состоящий из других объектов. Комплексный объект состоит из простых объектов и/или других сложных объектов. Например, пересечение – это сложный объект, состоящий из набора объектов, таких как элементы дороги и перекрестки.

Стандарт поддерживает необходимость определения иерархии объектов. Определенный класс объектов может быть определен как подтип более общего типа.

На рисунке 3 показана часть модели данных, которая относится к каталогу объектов. Из рисунка видно, что объекты организованы в различные темы.

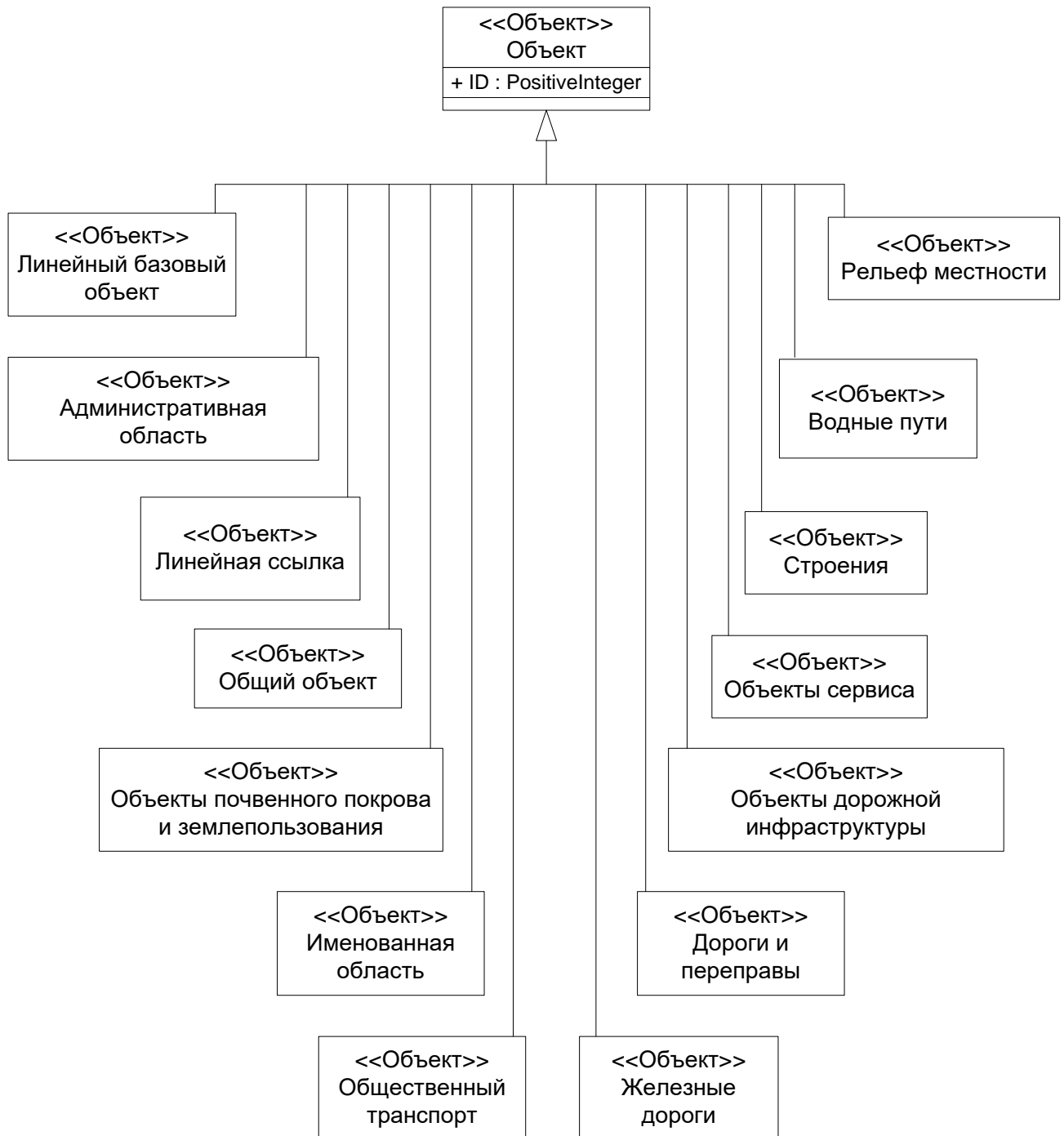


Рисунок 3 – Концептуальная модель данных каталога объектов [150]

Кроме этого, стандарт поддерживает возможность для пользователя определять новые объекты. Для них зарезервированы специальные коды классов объектов.

Рассмотрим более подробно такой класс объектов, как дорожная сеть. Дорожная сеть рассматривается, прежде всего, с точки зрения транспорта и дорожного движения. Поэтому переправы и элементы дорожной сети объединены в одну тему, концептуальная модель которой представлена на рисунке 4.

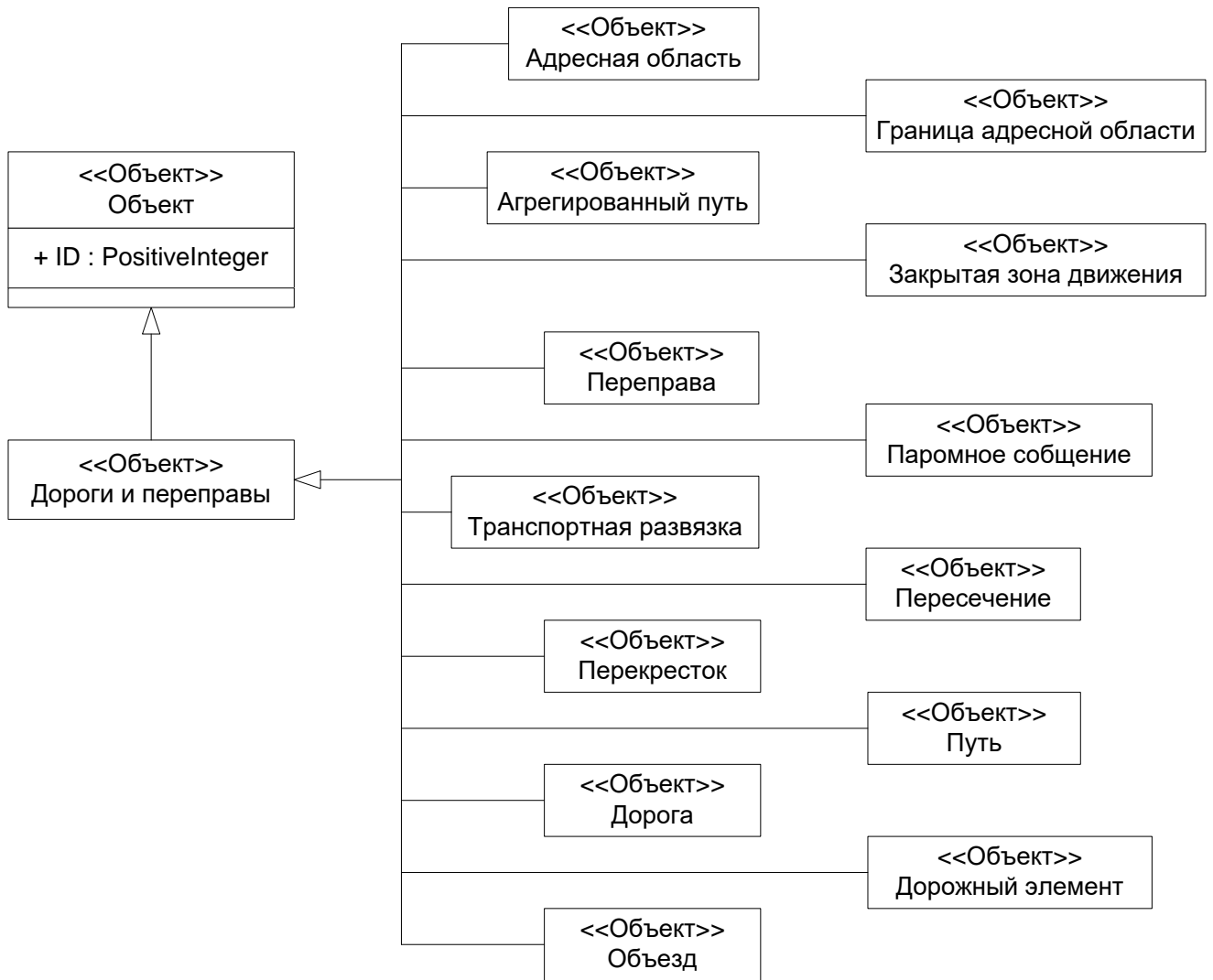


Рисунок 4 – Концептуальная модель данных для дорог и переправ [150]

Дорожная сеть может быть представлена на двух различных уровнях. Уровень 1 описывает простые объекты, такие как дорожный элемент, развязка, элемент переправы, закрытая транспортная зона, граница адресной области и адресная область, в то время как уровень 2 описывает сложные объекты, такие как дорога, перекресток, переправа и агрегированный путь.

Проанализируем каталог атрибутов. В каталоге атрибутов свойства объектов реального мира представлены в виде атрибутов. Атрибуты классифицируются по

типу. Каждый тип атрибута соответствует четко определенному свойству объекта реального мира (например, цвет). Каждому типу атрибута присваиваются одно или несколько значений атрибута, которые можно рассматривать как конкретный экземпляр типа атрибута (например, цвет «зеленый»). Некоторые типы атрибутов могут иметь бесконечное количество различных значений атрибутов (например, значения типа атрибута «ширина»), другие типы атрибутов могут иметь только фиксированное количество значений (например, направление движения «одностороннее» или «двустороннее»). Имя типа атрибута пишется заглавными буквами, чтобы отличать, его от повседневных терминов (например, «Максимальная Допустимая Высота» и «максимальная допустимая высота»).

Можно выделить два вида атрибутов: простой и составной. Простой атрибут имеет только один компонент, в то время как составной атрибут имеет более одного компонента. Отдельные компоненты называются податрибутами. В свою очередь, податрибуты составного атрибута могут быть простыми или составными. Таким образом, составной атрибут может рассматриваться как иерархическое дерево атрибутов с простыми атрибутами в качестве «листьев». Определенные податрибуты составного атрибута могут отсутствовать или содержать нулевые значения.

Обычно атрибуты связаны с одной темой. Некоторые типы атрибутов могут быть применены к нескольким темам. Такие атрибуты называются общими. Например, ограничение доступа, альтернативное название, тип ассоциации, валюта, класс отображения, внешний идентификатор и другие.

На рисунке 5 представлен пример части концептуальной модели данных для каталога атрибутов темы «Дороги и переправы».

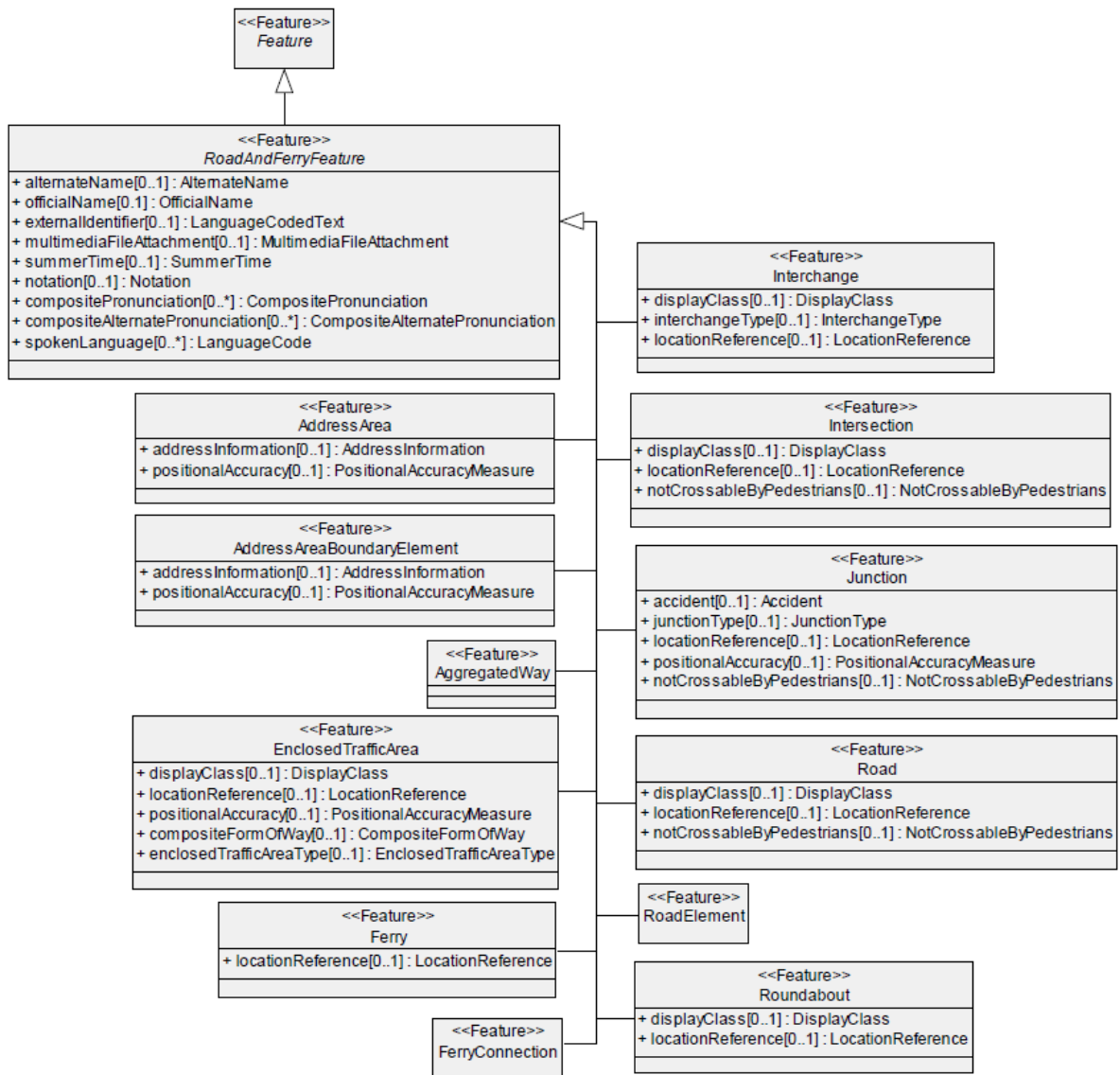


Рисунок 5 – Концептуальная модель данных для каталога атрибутов
темы «Дороги и переправы» [150]

Проанализируем каталог отношений рассматриваемого стандарта. Он содержит концептуальные модели данных, включающие в себя применяемые типы атрибутов для каждого типа отношений. Объект может участвовать в нескольких отношениях, а два разных отношения могут связывать идентичные экземпляры объектов. В каталоге представлены концептуальные модели данных отношений для всех классов объектов. На рисунке 6, для примера, представлена концептуальная схема модели данных для отношений типа «Маневр».

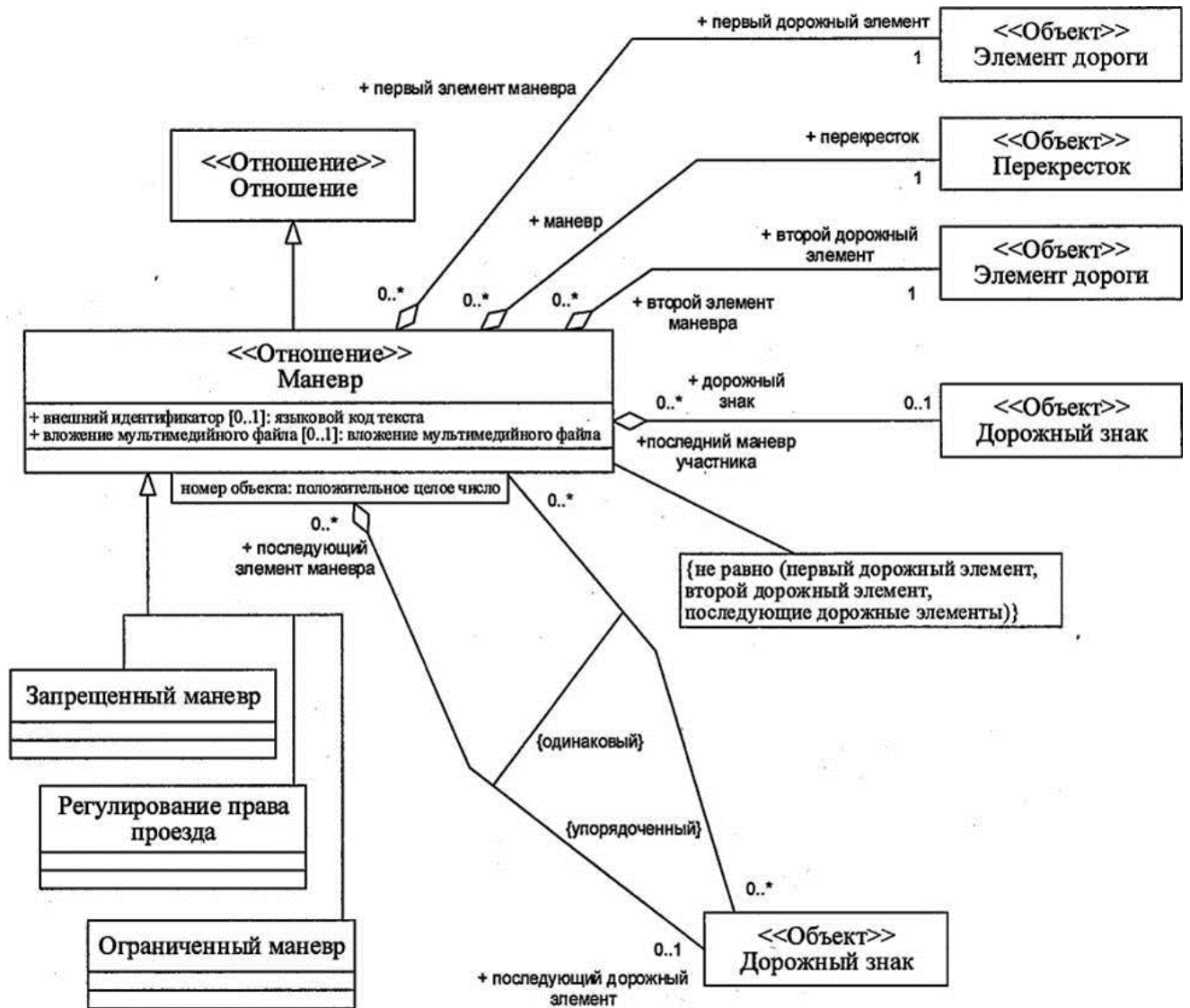


Рисунок 6 – Концептуальная модель данных для отношений типа «Маневр» [150]

В этом разделе также описываются такие понятия как типы отношений, коды типов отношений, арность отношений, гомогенные отношения, рефлексивность, симметрия, транзитивность и ряд других понятий. Помимо этого, даны определения и описание отношений между различными классами объектов.

Проанализируем информацию, представленную в каталоге метаданных. Набор данных в формате GDF должен быть как можно более информативным, чтобы получатель мог интерпретировать данные без необходимости использования большого количества документации. Эта информация называется «метаданными». В каталоге представлено описание основных элементов метаданных:

- идентификация и описание различных логических и физических единиц;

- определение полей и типов записей;
- содержание;
- описание использованных внешних источников данных;
- используемые проекции и системы координат;
- описание структуры информации, применяемой для размещения актуализированных данных.

Метаданные в комплектах данных GDF соответствуют стандарту ISO 19115-1:2014 [149].

В результате диссертационных исследований выявлено, что ряд крупнейших зарубежных поставщиков навигационных данных, таких как Here Technologies, TomTom и ряд других использовали ISO 14825 [150] при разработке собственных стандартов. Рассмотрим и проанализируем структуру и содержание навигационных баз геоданных некоторых из них.

Компания Here является ведущим глобальным поставщиком цифровых карт, сведений о дорожном движении и других пространственных данных для ГИС, в том числе, систем навигации. Навигационные данные Here (ранее Navteq) поставляются в виде шейп- файлов, баз геоданных и других форматах. Используемая основа – WGS84.

Проанализируем подробнее содержание структуры и содержание навигационных баз геоданных Here. Основным элементом баз данных Here является граф дорожной сети, который применяется для маршрутизации и представляет собой согласованный с объектами картографической основы векторный слой на территорию района работ (страна, регион и т. д.). Он включает всю дорожную сеть и ее характеристики, такие как направление движения, разделители, количество полос движения, категория скорости, название, тип и класс дороги, ограничение доступа, адреса, туннели и мосты и т. д., более 100 атрибутов. Также граф дорожной сети содержит информацию об относительном вертикальном положении концов ребер графа, используемую для вычисления маршрута и расположения транспортного средства, а также помогающую в выборе направления на перекрестках и транспортных развязках.

Граф дорог связан с классом условий движения и маневров, включающем такие данные, как запрет и ограничение доступа, время действия маневра, скоростной режим, железнодорожный переезд, пункт оплаты, условия проезда по отдельным полосам для движения и другую информацию.

Помимо графа дорожной сети НБД компании Неге включает классы административного деления и адресной информации, дорожные знаки, точки интереса, железные дороги и данные о картографической основе.

Адресная информация в НБД представляется адресными точками. Каждая такая точка связана с конкретным актуальным адресом строения. Эти точки располагаются таким образом, чтобы они соответствовали полигональным объектам, то есть находились в пределах границ этих объектов. Всякий объект, обладающий официальным почтовым адресом, получает свою адресную точку. Помимо координат, каждая из этих точек также имеет семантическую связь с конкретным ребром дорожного графа. В случае населённых пунктов, имеющих в основном малоэтажную застройку, создание адресных точек может быть ограничено лишь угловыми зданиями кварталов. В дополнение к слою точечных адресных объектов, адресация также фиксируется в характеристиках ребер дорожного графа с использованием интервального представления.

Класс точек интереса включает разнообразные объекты: рестораны, места для развлечений, учебные заведения и социокультурные организации, заправочные станции, больницы, парки и зоны отдыха, транспортные узлы, торговые центры, автосервисы и стоянки, финансовые учреждения и др. Атрибутивная информация для каждого из этих слоев содержит такие данные, как наименование объекта, его местоположение (адрес), контактный телефонный номер, часы работы, спецификация типа точки интереса и др.

Картографическая основа включает в себя классы объектов землепользования и растительного покрова, а также гидрографию, которые служат для ориентирования.

К классу землепользования и растительного покрова относят территории, на которых расположены аэропорты, объекты для спорта, парковые и другие зоны для

пеших прогулок, леса, пляжи, медицинские учреждения, кладбища, зоны промышленного производства, объекты национального наследия и охраняемые природные территории. Также к ним относятся общественные территории общего пользования, городские площади и другие подобные объекты.

Класс гидрографии содержит информацию о водных объектах, таких как океаны, моря, реки, каналы, заливы и гавани, озера, водохранилища, которые могут быть представлены как площадные или линейные объекты.

Компания TomTom также является одним из ведущих поставщиков данных для осуществления навигации. Их навигационная информация представлена в форме многослойной структуры данных, которая организована как географическая база данных. Данные в базе хранятся в тематических блоках. Каждый блок содержит один или несколько геометрических слоев, каждый из которых включает в себя таблицу геометрии, содержащую основные атрибуты, непосредственно связанные с геометрическими элементами, а также дополнительные (реляционные) таблицы атрибутов. Помимо этого, имеются расширенные таблицы атрибутов и ряд других таблиц.

Основным навигационным слоем является слой улично-дорожной сети, включающий подробную геометрию сети дорог и улиц, а также их характеристики. Основными характеристиками являются: функциональный класс и классификация дорожной сети, название и номер дороги, длина (в метрах), состояние и тип дороги, направление транспортного потока, ограничения, информация о многоуровневых пересечениях, сведения о маневрах, указатели и ряд других характеристик. Также этой слой содержит характеристики, необходимые для геокодирования: официальные и альтернативные названия улиц, сторону дороги, левые и правые административные области, застроенные зоны, почтовые индексы и адреса.

Помимо слоя улично-дорожной сети выделяются такие слои, как паромные переправы и железные дороги, границы адресных областей, гидрография, объекты землепользования и растительный покров, точки интереса и административные области, а также ряд других слоев.

Данные в базе хранятся и концептуально сгруппированы в тематические блоки. Каждый блок содержит один (или несколько) геометрических слоев, каждый из которых включает в себя таблицу геометрии, содержащую основные атрибуты, непосредственно связанные с геометрическими элементами. Пользователи могут добавлять тематические таблицы с определенными атрибутами для приложений (например, таблица маршрутизации) и могут повторять слои, чтобы обеспечить более легкий доступ к информации об атрибутах (например, таблица геокодирования).

Также в тематический блок входят дополнительные расширенные таблицы атрибутов, реляционные и индексные таблицы.

Расширенные таблицы атрибутов содержат дополнительную информацию или добавленные расширенные атрибуты, которые были недоступны при создании продукта.

Реляционные таблицы содержат идентификаторы других объектов в том же слое, что и атрибут, для определения связи с этим объектом.

Индексные таблицы обеспечивают индексирование элементов, которые являются частью объектов более высокого уровня.

В 2012 году был принят и в настоящее время активно развивается Navigation Data Standard (NDS) [160], совместно разработанный производителями автомобилей и поставщиками, и являющийся стандартизированным двоичным форматом для автомобильных навигационных баз данных. Он разграничивает навигационные данные и программное обеспечение, что позволяет создавать больше различных навигационных продуктов для конечных пользователей. В дополнение к этой совместимости базы данных NDS поддерживают инкрементные обновления, защиту от незаконного использования и компактность.

HERE Technologies выступает как один из ключевых создателей стандарта NDS. Эта компания занимает лидирующие позиции на рынке картографии и систем навигации. Основное преимущество NDS заключается в возможности синхронизации данных между различными картографическими сервисами, производителями

оборудования и автомобильными компаниями. Этот стандарт находит применение более чем у 30 автомобильных брендов, что подчеркивает его значимость на рынке.

Среди зарубежных стандартов и спецификаций также можно выделить такие как OpenDRIVE, TN-ITS, OpenTNF, INSPIRE TN, CityGML и ряд других [154].

Таким образом, проведенный анализ показывает, что крупнейшие зарубежные поставщики навигационных данных, получившие признание в мировом сообществе в качестве лидеров в области автомобильной навигации, хотя и использовали при разработке собственных стандартов в качестве основы ISO 14825 [150], но адаптировали его под собственные требования, в связи с чем их стандарты не совместимы друг с другом. Вместе с тем, в настоящее время существует тенденция к объединению производителей с целью выработки единого решения по созданию навигационных баз данных, их совместимости, что показывает разработка стандарта NDS [160].

В целом, НБД, создаваемые зарубежными производителями лишены недостатков, присущих цифровым навигационным картам. Но эти компании работают по собственным стандартам, что приводит к несогласованности НБД и трудности их интеграции между собой. А в условиях вводимых против России санкций, существует возможность ограничения доступа к навигационным сервисам зарубежных компаний.

В рамках проводимых диссертационных исследований, помимо анализа существующих методик и стандартов в области создания навигационных карт и баз данных, были изучены и проанализированы научные публикации, монографии, диссертации и другие доступные информационные ресурсы, в которых рассматриваются текущее состояние, проблемные вопросы и задачи, решаемые в области навигационной картографии и проектирования НБД.

Проведенный анализ показал, что открытые источники содержат ограниченное количество информации по обозначенной теме, а коммерческие организации не раскрывают свои технологии по навигационному картографированию. Акцент в научных публикациях делается на общих вопросах навигационной картографии, её целях и задачах, аспектах её развития [38, 57, 90, 91, 105, 110, 112, 114, 161, 163]. В

научных трудах рассматриваются вопросы структуры и содержания навигационных карт и баз данных, классификации и кодирования информации, разработки системы условных обозначений [13, 28-30, 53, 61, 83-85]. Особое внимание уделяется необходимости совершенствования методических подходов к проектированию НБД в соответствии с возрастающими требованиями пользователей. Подчеркивается проблема несоответствия единой методологии при создании навигационных карт и баз данных различными частными компаниями из-за отсутствия универсального теоретического фундамента в данной сфере.

В рамках ряда ранее выполненных диссертационных работ было проведено несколько исследований по навигационному картографированию, результатом которых стали предложения по методикам проектирования и актуализации навигационных карт или их компонентов.

В своих научных трудах [83-85] П. Л. Платонов предлагает концепцию «автонавигационного картографирования» в качестве независимой области в картографии и вводит термин «автонавигационная карта» для обозначения нового класса специальных электронных общегеографических карт. Он описывает основные функции и характеристики автонавигационных карт, такие как систему условных знаков, структуру, тематическое содержание, принципы генерализации и согласования карт разного масштаба. Разработанная им методология создания карт для автонавигации включает анализ семантических характеристик объектов карты, применение данных дистанционного зондирования Земли и координатную привязку космических снимков по GPS-трекам. Кроме того, он определяет принципы разработки контента и дизайна автонавигационных карт, раскрывая все этапы их проектирования и интеграции в навигационные системы.

Исследования С. В. Дубровиной [28-30, 53] освещают проблематику отображения точек интереса (POI) при разработке автонавигационных карт. В своих трудах она предложила технологию создания и оптимизации тематической информационной базы, которая позволяет регулировать плотность и визуальную загруженность POI на автонавигационных картах различного масштаба. Рассмотрела алгоритмы для выборки объектов общегеографического контента в соответствии с

отображаемыми на карте темами, а также создала специализированный программный комплекс для их внедрения.

В других научных работах рассмотрены следующие аспекты предметной области:

- методические подходы к сбору, анализу и оценке пространственно-временной информации [116];
- метод геопространственной привязки мобильных устройств через использование потребительской аппаратуры спутниковой навигации [115];
- усовершенствование стандартов для государственных навигационных карт, предназначенных для дорожного движения [51];
- процедуры сбора и обработки данных для производства навигационных карт [5].

В ходе изучения научных источников был осуществлен подробный анализ тем, связанных с созданием графа дорожной сети, его топологии и характеристик, математического описания, а также проблемных вопросов маршрутизации в транспортных системах [14, 27, 44, 55, 61-63, 67, 71, 78, 104, 108, 165].

Особое внимание было уделено исследованиям в области создания баз гео-данных. Авторы в своих трудах анализировали общие принципы проектирования баз данных [7, 37, 40, 47-49, 52, 68, 77, 92, 121, 130, 134, 142, 158], достоинства и недостатки объектно-ориентированного подхода к представлению геопространственной информации [42, 88]. Исследовали теоретические и методические основы построения навигационных баз данных [43, 76, 101, 120] и методы их актуализации [43, 66].

В трудах Андрианова Д. Е., Белякова С. Л., Болбакова Р. Г., Булгакова С. В., Васмута А. С., Гордиенко Л. В., Господинова С. Г., Давлетбаковой З. Л., Кандрашиной Л. В., Литвинцевой Л. В., Майорова А. А., Маркелова В. М., Поспелова Д. А., Розенберга И. Н., Савиных В. П., Соколова М. С., Тикунова В. С., Цветкова В. Я., Флегонтова А. В. и других [1-4, 6, 8-12, 15-19, 25, 26, 31, 32, 35, 36, 39, 41, 45, 46, 50, 54, 56, 58-60, 64, 65, 69, 70, 72, 79, 80, 86, 93-98, 102, 103, 106, 107, 109, 111, 113, 117-119, 122-129, 131-133, 135-140, 143-148, 153, 155-157, 159, 161,

162, 164] были изучены вопросы применения пространственно-логических связей в геоданных, топологического моделирования, развития методов искусственного интеллекта в сфере геоинформатики и формирования пространственных знаний.

Данные труды подтверждают значимость использования межобъектных топологических отношений различного типа для улучшения качества геопро пространственных данных в ГИС, повышения уровня интеллектуализации этих систем и перевода данных в формат знаний.

Изучение научных источников указывает на ряд нерешенных вопросов в сфере разработки навигационных баз данных. Эти проблемы связаны с содержанием, структурой и форматами представления информации в базах данных, а также с улучшением их качества в случае введения топологических взаимоотношений между объектами.

1.2 Выбор основных направлений диссертационных исследований

В результате проведенных исследований, изучения и анализа нормативно-технической документации, научных трудов и публикаций по созданию навигационных баз данных для автомобильного транспорта можно сделать вывод, что в России разработкой баз геоданных для автомобильной навигации занимаются коммерческие организации, в то время как государство производит навигационные карты и планы на базе топографических карт.

Это порождает определенные сложности, т.к. топографические карты обновляются с периодичностью, которая не соответствует требованиям к актуальности навигационных данных. Раздельное обновление графа дорожной сети и сопутствующей навигационной информации, содержащейся в пользовательской карте, приводит к ее рассогласованию с картографической подложкой, содержащейся на топографических картах. Также стоит отметить, что граф дорог, формируемый на основе топографических карт, не обладает нужной детализацией и не включает в себя пространственно-логические связи, что снижает полноту и достоверность пред-

ставляемой информации, а также влияет на качество решения навигационных задач. Тем не менее, информация с государственных навигационных карт может использоваться при создании навигационных баз данных, с учетом ее доработки и приведения в соответствие конкретным потребностям и задачам пользователя.

Коммерческие НБД отечественных и зарубежных поставщиков навигационных данных, создаются на основе собственных стандартов, не совместимых между собой и чаще всего имеют закрытый формат. Качество НБД лидеров рынка по предоставлению навигационных услуг, по сравнению с государственными навигационными картами находится на более высоком уровне, они постоянно актуализируются и дорабатываются. Но использованию межобъектных топологических отношений и пространственной логики, в настоящее время, не уделяется большого внимания ни одним производителем. Вместе с тем, существует тенденция к объединению производителей для выработки единого подхода к созданию НБД.

В этой связи, необходимо выработать единый методический подход к формированию ИО НБД с использованием межобъектных топологических отношений, позволяющий решать навигационные задачи, связанные с оценкой навигационной обстановки в условиях нечеткости и неопределенности. Для этого необходимо решить актуальную научную задачу – разработать методику создания информационного обеспечения навигационной базы данных, позволяющую повысить эффективность решения задач наземной навигации. При ее разработке необходимо учесть, что в современных информационных системах значительный потенциал к представлению геоданных имеет объектно-ориентированный подход. Этот метод широко внедряется в технологии производства картографической продукции. При проектировании новых систем важно принимать во внимание преимущества данной модели представления геоданных.

В процессе разработки методики необходимо определить и обосновать требования к ИО НБД с учетом возможности решения проблемных вопросов, выявленных в результате проведенных в первом разделе исследований. На основе требований необходимо определить структуру и содержание ИО НБД, разработать концептуальную, логическую и физическую модели НБД, определить форматы

представления данных, а также разработать метод представления топологических отношений на основе нечеткой логики. Он применяется на этапе разработки структуры и содержания ИО НБД и может использоваться как в составе методики, так и отдельно от нее.

1.3 Выводы по разделу 1

В исследованиях, проведенных в первом разделе диссертации проанализированы отечественные и зарубежные подходы к созданию информационного обеспечения навигационных баз данных для автомобильного транспорта. Рассмотрены нормативная документация и научные труды, посвященные этой теме. Исследованы и проанализированы состав и структура навигационных баз данных, разрабатываемых ведущими отечественными и мировыми производителями, проведено их сравнение с открытыми навигационными картами, являющимися государственными в РФ.

Проведенный анализ в области создания навигационных карт и баз данных показал следующее:

– существующие в РФ государственные навигационные карты и планы не в полной мере удовлетворяют требованиям пользователей по полноте, актуальности, достоверности и функциональности;

– НБД отечественных и зарубежных производителей не согласованы между собой, различаются по своей структуре, составу и форматам.

Из исследования вытекает ряд нерешенных вопросов и противоречий, связанных с разработкой навигационных карт и баз данных.

Первое противоречие заключается в низкой оперативности обновления и недостаточной полноте содержания существующих государственных цифровых навигационных карт с одной стороны, и необходимости соответствия современным требованиям к точности, полноте, актуальности и достоверности представления навигационной информации с другой стороны.

Второе – между ограниченными возможностями объективного анализа и оценки обстановки на основе существующих навигационных баз данных, вследствие неиспользования в них топологических отношений на основе нечеткой логики с одной стороны, и необходимости выполнения требований однозначного и оперативного ориентирования на местности при следовании по маршруту, выполнении маневров и поиске точек интереса с другой стороны.

Для решения этих вопросов необходимо совершенствовать существующие подходы и правила представления информации в НБД. С этой целью в рамках данной диссертационной работы будет разработана методика создания ИО НБД для автомобильного транспорта, позволяющая повысить ее эффективность за счет использования современных подходов, заключающихся в применении межобъектных топологических отношений для решения навигационных задач, связанных с оценкой обстановки в условиях нечеткости и неопределенности.

2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

В ходе диссертационных исследований на основе анализа научных трудов, отечественного и зарубежного опыта проектирования баз геоданных, выявленных перспектив использования нечетких пространственных отношений в интеллектуальных транспортных системах и ГИС, была разработана методика создания информационного обеспечения навигационной базы данных для автомобильного транспорта. Одним из основных документов, который учитывался при ее разработке, является стандарт ISO 14825:11 [150], который в настоящее время заменен стандартом ISO 20524-1:2020 [151, 152]. Стандарт ISO 14825:11 содержит информацию о правилах формирования структуры и содержания баз геоданных, форматах представления, метаданных и протоколах обмена. Основной акцент в нем делается на информацию о дорожной сети. При разработке методики также учитывались российские ГОСТы [21, 22] и другая нормативная информация [73], содержащая сведения по организации дорожного движения.

С помощью данной методики в ООО «ТелеПроводник» был внедрен уникальный подход к созданию навигационных баз данных на основе разработанного информационного обеспечения. На основе данной методики была разработана НБД, вошедшая в состав пространственно-распределенной гибридной навигационной системы, успешно функционирующей в бизнес-процессах компании. Данная система была запатентована [33] компанией «ТелеПроводник». Кроме того, были получены патенты на права по использованию технологий в сфере туристических средств навигации [34], а также на системы создания мобилизационных карт для реагирования на чрезвычайные ситуации [81, 82]. Авторские права на соответствующие программные продукты также были подтверждены свидетельствами на программы для ЭВМ [99, 100].

Этапы разработки методики создания ИО НБД для автомобильного транспорта, представлены на рисунке 7.

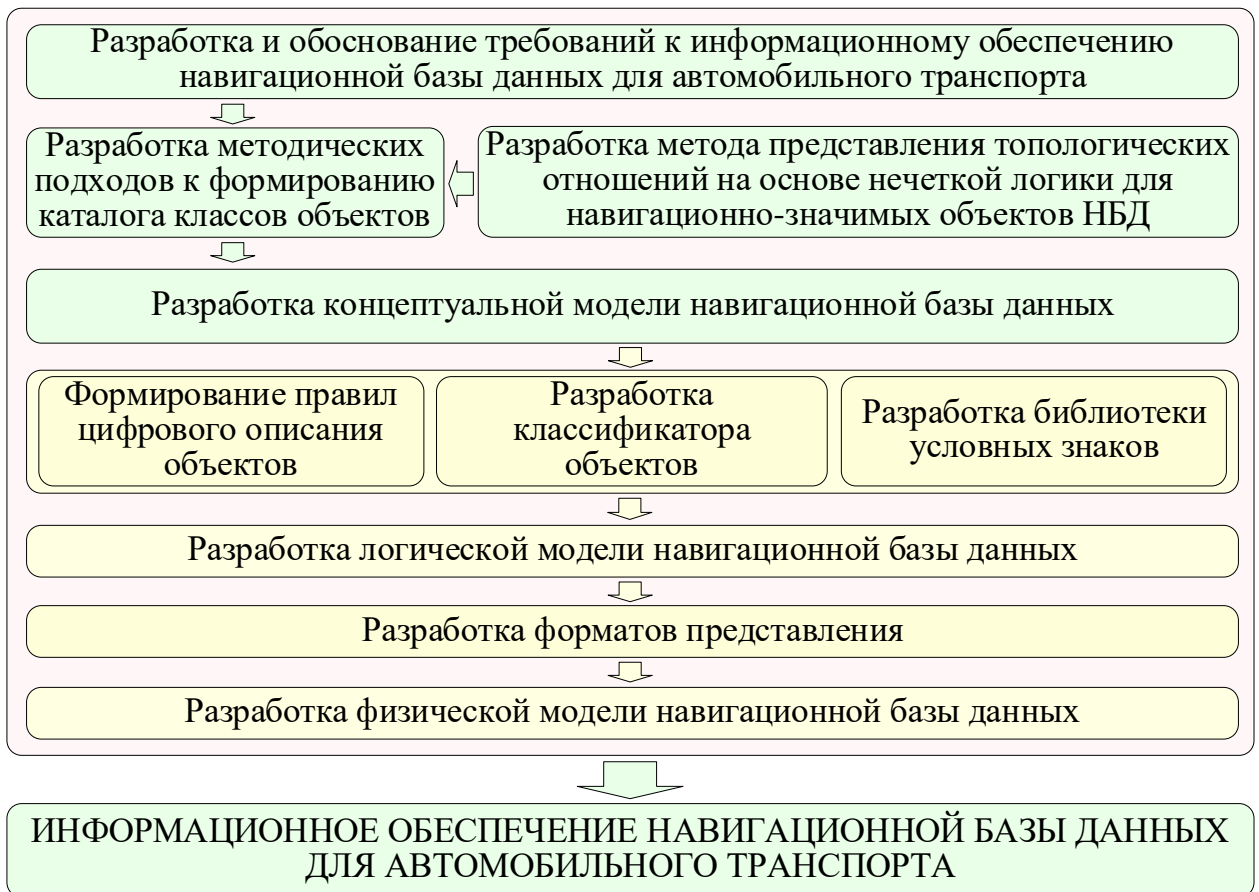


Рисунок 7 – Блок-схема разработки методики создания
ИО НБД для автомобильного транспорта

На начальном этапе разрабатываются и обосновываются требования к ИО НБД, определяющие его состав, содержание, принципы и правила формирования.

На следующем этапе определяются методические подходы к формированию каталога классов объектов. На этом же этапе разрабатывается и применяется метод представления топологических отношений на основе нечеткой логики. Он добавляет в каталог новые объекты, атрибуты и взаимосвязи, использование которых позволяет повысить эффективность решения задач наземной навигации за счет учета нечеткости и неопределенности геоданных.

Затем осуществляется формирование концептуальной модели, которая позволяет структурировать и организовать данные, дает общее представление о системе, включая ключевые объекты и их взаимосвязи.

На следующем этапе на основании каталога классов объектов и концептуальной модели создаются классификатор, правила цифрового описания объектов и

библиотека условных знаков, которые, в целом, служат для определения состава и описания объектов НБД на разных масштабных уровнях для их визуализации.

Классификатор объектов определяет, как классы объектов будут организованы в иерархическую структуру и как они будут группироваться. Правила цифрового описания объектов содержат информацию, как каждый класс объектов будет представлен в цифровом виде. Библиотека условных знаков определяет, как данные будут визуализироваться на картах или в других представлениях.

На следующем этапе формируется логическая модель НБД, которая уточняет структуру данных, включая связи между таблицами, атрибуты и ограничения, но не привязывается к конкретной системе управления базами данных (СУБД).

После формирования логической модели разрабатываются форматы представления данных.

На заключительном этапе разрабатывается физическая модель данных, которая учитывает особенности конкретной СУБД, включая типы данных, индексы и другие элементы, влияющие на производительность.

В результате выполнения рассмотренных выше этапов формируется ИО НБД для автомобильного транспорта.

Границами исследования в данной диссертационной работе являются этапы методики, закладывающие основы функционирования НБД. Это определение требований к ИО НБД, разработка каталога классов объектов, концептуальной модели и метода представления топологических отношений на основе нечеткой логики. Они выделены на схеме зеленым цветом. Этапы, выделенные желтым цветом, направлены на детализацию и реализацию этой структуры. В рамках проводимых исследований они подробно не рассматривались. Т.к. НБД формируется для решения навигационных задач автомобильного транспорта, то рассматривается движение только по автодорогам, пригодным для этого вида транспорта. Определение местоположения водителей осуществляется, в основном, на основе спутниковой навигации. Инерциальная навигация может использоваться для съемки дорожной сети в местах, где пропадает сигнал спутника, или для решения специализированных навигационных задач отдельными категориями пользователей.

2.1 Разработка и обоснование требований к информационному обеспечению навигационной базы данных для автомобильного транспорта

В ходе разработки требований к информационному обеспечению были изучены и учтены существующие подходы к проектированию навигационных баз данных в России и за рубежом, учтена специфика организации дорожного движения в России. Ключевым аспектом проектирования НБД является определение навигационных задач и типов пользователей, для которых она разрабатывается. Определение общих и специфических навигационных задач, а также необходимых для их решения объектов и атрибутов, позволит создать эффективную НБД, соответствующую современным требованиям пользователей. Кроме того, при формировании требований было предусмотрено использование топологических отношений на основе нечеткой логики, актуальность и перспективность применения которых показал анализ научных трудов.

В качестве навигационных задач, которые будут решаться с помощью проектируемой НБД, были выделены следующие задачи:

- определение наиболее оптимальных маршрутов движения с учетом расстояния, времени в пути, пробок и других факторов;
- поддержка различных типов маршрутов (быстрого, живописного, с минимальным количеством светофоров и т. п.);
- отслеживание текущей ситуации на дорогах, включая пробки, аварии и дорожные работы;
- информирование пользователей об изменении обстановки на дорогах в режиме, близком к реальному времени;
- поиск и отображение ближайших точек интереса (заправок, ресторанов, гостиниц, парков и других объектов) на маршруте;
- фильтрация POI по категориям (например, рестораны с высокой оценкой, доступные парковки);
- навигация по заданному маршруту с учетом текущего местоположения

пользователя, включающая информирование о предстоящих поворотах, изменениях маршрута и других важных событиях;

- настройка маршрутов в зависимости от типа транспортного средства (легковое, грузовое, общественный транспорт и т. д.);

- сбор и анализ данных о маршрутах, времени в пути, пробках и других параметрах для оптимизации логистики и планирования;

- возможность динамического обновления информации о дорожной ситуации, изменениях в инфраструктуре;

- возможность интеграции с системами управления транспортом, GPS-устройствами и мобильными приложениями.

В качестве возможных категорий пользователей, которые будут использовать НБД определены:

- обычные пользователи, к которым относятся водители легковых автомобилей, использующие навигационные приложения для планирования поездок и получения информации о маршрутах;

- логистические компании, которые требуют оптимизации маршрутов и мониторинга состояния транспорта;

- службы экстренной помощи (полиция, скорая помощь, пожарные службы), которым необходимо быстрое и эффективное планирование маршрутов в экстренных ситуациях;

- туристы, ищущие информацию о достопримечательностях и интересных местах в новом городе или регионе.

При разработке требований к ИО НБД важно учитывать не только решаемые навигационные задачи и потребности целевых категорий пользователей, но и определить общие принципы, которые позволят обеспечить функциональность, надежность и удобство работы с системой. К ним относятся:

- актуальность. Информация должна реально отражать состояние объекта в каждый момент времени;

- достоверность. Информация должна точно воссоздавать объективное состояние местности;

– полнота отражения. Необходимо учитывать все факторы, которые влияют на состояние объекта;

– информационное единство. Представление информации в такой системе показателей, при которой исключается вероятность противоречий в выводах и несогласованность первичных и выводных данных;

– релевантность данных. Позволяет получать информацию в соответствии с запросами пользователей, исключая работу с ненужными данными.

Также в информационном обеспечении должны учитываться особенности территорий и регионов, на которые создается НБД, т.к. они могут повлиять на формирование графа дорожной сети и других классов объектов, что потребует ввода дополнительных атрибутов и новых типов объектов.

Кроме того, ИО НБД должно обеспечивать:

– возможность представления в цифровой форме информации, содержащейся в НБД;

– доступ к информации о любом пространственном элементе и объекте, а также возможность внесения изменений и дополнений без искажения имеющихся данных и ухудшения их точностных характеристик.

Для определения спецификации структуры НБД в состав информационного обеспечения должны входить:

– каталог классов объектов с их характеристиками и взаимосвязями, метаданными, а также правилами геометрического представления объектов;

– классификатор, правила цифрового описания, библиотека условных знаков, которые позволяют визуализировать содержимое НБД с различной степенью детализации в навигационных устройствах, системах, геопорталах и ГИС.

2.2 Разработка методических подходов к формированию каталога классов объектов навигационной базы данных

Каталог классов объектов навигационной базы данных – это систематизированный список всех типов объектов, которые будут включены в навигационную

базу данных, с их характеристиками и атрибутами. Он служит основой для проектирования и реализации НБД, обеспечивая пользователям доступ к необходимой информации о дорожной инфраструктуре, точках интереса и других элементах, влияющих на навигацию.

При разработке методических подходов к формированию каталога классов объектов проведен анализ существующих стандартов по созданию НБД. Определены классы объектов с их атрибутами и взаимосвязями, необходимые и достаточные для решения общих и специфических навигационных задач в соответствии с требованиями различных категорий пользователей, учтены географические и социально-экономические особенности территорий.

Все объекты каталога в конкретной реализации могут иметь координатное описание площадного, линейного или точечного типа. В общем случае для объекта допускается любой характер локализации, который зависит от детальности сбора исходных данных и требуемой генерализации при использовании данных. Структура навигационной базы данных должна позволять создавать на основе алгоритмов генерализации неограниченное количество координатных описаний любого типа для каждого реального объекта. Это позволит формировать навигационные карты различного масштаба (уровня детализации).

При формировании каталога необходимо выполнять следующие правила:

- организация классов объектов по функциональным группам,
- иерархическая структура классов объектов,
- необходимость и достаточность создаваемых классов объектов для выполнения навигационных задач,
- определение атрибутов классов, а также их взаимосвязей,
- учет специфических требований автомобильного транспорта,
- обеспечение возможности обновления и расширения каталога классов объектов с учетом изменений в дорожной инфраструктуре и транспортной сети,
- согласованность и целостность данных.

Для определения состава и содержания каталога был проведен анализ и сравнение существующих в настоящее время подходов к созданию НБД и навигационных карт различных производителей. Результаты сравнения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные классы объектов в навигационных картах и базах данных различных производителей

Государственные навигационные карты	GDF	HERE	TomTom
Граф дорожной сети на основе слоя Дорожная сеть и дорожные сооружения топографических карт	Дороги и переправы (Roads and Ferries)	Дороги и переправы (Roads and Ferries)	Дорожная и уличная сеть (Road and Street Network)
Граф дорожной сети на основе слоя Дорожная сеть и дорожные сооружения топографических карт	Дороги и переправы (Roads and Ferries)	Дороги и переправы (Roads and Ferries)	Переправы (Ferry Connections)
Железные дороги	Железные дороги (Railways)	Железные дороги (Railways)	Железные дороги (Railways)
Промышленные и социально-культурные объекты	Услуги (Service)	Услуги (Service)	Точки интереса (Points of Interest)
Населенные пункты	–	–	Населенные пункты (Settlement Centers)
Растительность и грунты Промышленные и социально-культурные объекты	Объекты землепользования и растительного покрова (Land Use and Land Cover)	Объекты землепользования и растительного покрова (Land Use and Land Cover)	Объекты землепользования и растительного покрова (Land Use and Land Cover)
Населенные пункты	Именованные области (Named Area)	Именованные области (Named Area)	Другие именованные места (Other Named Areas)
Граф дорожной сети на основе слоя Дорожная сеть и дорожные сооружения топографических карт	Дорожные сооружения (Structure) мосты, туннели и т.п.	Дорожные сооружения (Structure) мосты, туннели и т.п.	Сооружения (мосты и туннели) Structures (bridges and tunnels)
Рельеф	Рельеф местности (Terrain Elevation)	Рельеф местности (Terrain Elevation)	–
Граф дорожной сети на основе слоя Дорожная сеть и дорожные сооружения топографических карт	Обустройство дороги (Road Furniture) светофоры, дорожные знаки и т.п.	Обустройство дороги (Road Furniture) светофоры, дорожные знаки и т.п.	–

Сравнение показало, что основным классом в НБД является граф дорожной сети, включающий непосредственно дорожную сеть и связанную с ней инфраструктуру (мосты, туннели, дорожные знаки, светофоры и т.п.). Остальные классы

тесно с ним взаимосвязаны и необходимы либо для обеспечения возможности построения маршрутов к определенным объектам и решения других навигационных задач, либо для ориентирования водителя при движении.

С целью определения содержания каталога были проанализированы представленные в требованиях к информационному обеспечению навигационные задачи, запросы различных категорий пользователей и особенности территорий, для которых проектируется НБД.

Анализ стандартных навигационных задач позволил выявить основные запросы обычных пользователей, позволяющие им эффективно планировать и осуществлять поездки. Основными из них являются:

- планирование маршрута путем определения начальной и конечной точки, возможность ввода адресов или выбора мест на карте;
- выбор типа маршрута с возможностью определения между самым быстрым, коротким, живописным или экономичным маршрутом;
- учет пробок и дорожных условий, анализ текущей ситуации на дорогах и предложение альтернативных маршрутов;
- навигация в реальном времени, включающая голосовые подсказки, информацию о маневрах на маршруте, автоматическое пересчитывание маршрута в случае изменения условий;
- информация о дорожной обстановке (дорожные пробки, уведомления о дорожно-транспортных происшествиях, дорожных работах);
- поиск и отображение точек интереса (рестораны, заправки, магазины, туристические достопримечательности и др.);
- учет метеорологических условий движения;
- информация об ограничениях;
- поиск и резервирование парковочных мест.

Эти стандартные навигационные задачи обеспечивают удобство и безопасность для обычных водителей, позволяя им эффективно планировать свои поездки, избегать пробок и находить необходимые объекты на маршруте.

Для реализации данных функций в состав каталога необходимо включить ряд классов объектов.

Класс объектов «Дорожная сеть» является ключевым компонентом НБД. Он формируется в виде графа и позволяет моделировать дороги и их взаимосвязи, что является основой для решения различных навигационных задач. Необходимыми основными атрибутами являются тип, название и длина дороги, скоростной режим, направление движения, тип покрытия, ограничения, доступность для различных транспортных средств и ряд других атрибутов. Эти атрибуты формируют основу для анализа и обработки данных о дорожной сети, что позволяет эффективно решать навигационные задачи, такие как планирование маршрутов, оценка времени в пути и управление трафиком. Использование графовой структуры для представления дорожной сети обеспечивает гибкость и возможность применения алгоритмов для поиска оптимальных маршрутов и анализа дорожной ситуации.

Класс «Условия движения» описывает маневры, которые водитель может совершать в процессе движения, а также различные условия, влияющие на эти маневры. Его основными атрибутами являются:

- тип маневра (поворот, разворот, обгон, остановка и т.д.),
- место выполнения маневра (идентификаторы ребер графа дорожной сети, где маневр должен быть выполнен),
- условия выполнения, включающие ограничения (светофоры, дорожные знаки, погодные условия) и рекомендации.

Этот класс позволяет навигационным системам предоставлять точные и безопасные инструкции для водителей, учитывая различные условия и ограничения на дороге. Это улучшает общую безопасность и эффективность маршрута.

Класс «Дорожные знаки» описывает различные знаки и сигналы, которые информируют водителей о правилах движения, ограничениях и предупреждениях. Основными атрибутами являются тип и расположение знака. Знаки представляют важную информацию для водителей и позволяют навигационным системам адаптировать маршруты в соответствии с правилами дорожного движения. Это позволяет избегать нарушений и повышает безопасность на дорогах.

Класс «Точки интереса» включает информацию о различных объектах, которые могут быть полезны водителям в процессе поездки. Основными атрибутами являются:

- тип точки интереса (рестораны, заправочные станции, гостиницы, магазины и т.д.),
- географическое расположение (привязка к ребру графа дорожной сети),
- название и описание,
- часы работы.

Этот класс позволяют водителям находить необходимые услуги и сервисы на маршруте, помогая планировать остановки, или являются конечной точкой маршрута.

Современные алгоритмы маршрутизации могут быть адаптированы для учета не только расстояния, но и изменений высоты. Класс «Матрица рельефа» позволяет учесть особенности местности, которые могут влиять на движение транспортных средств. Информация о рельефе позволяет навигационным системам учитывать угол наклона дороги на маршруте, что особенно важно для грузового транспорта и в сложных климатических условиях. Также она позволяет более точно вычислить протяженность маршрута и время в пути. Это помогает оптимизировать маршруты и повысить безопасность движения.

Важную роль при построении маршрутов играет адресная информация, позволяющая пользователям задавать конкретные точки назначения, что повышает точность навигации. Пользователи могут вводить адреса для получения оптимальных маршрутов. Данная группа включает классы площадных строений, служащих для ориентирования водителя, и точечных адресов, находящиеся внутри контуров площадных строений. Точечные адреса предназначены для детализированного определения местоположения, вплоть до конкретного номера строения, и обеспечивают возможность навигации и планирования пути до указанного адреса. Информация об административных границах позволяет при построении маршрутов учитывать границы различных регионов, что может быть важно для соблюдения мест-

ных правил и ограничений. Поэтому в каталог необходимо включить классы данного типа.

Кроме вышеперечисленных классов объектов в состав каталога также необходимо включить информацию о растительности, объектах землепользования, гидрографии и железных дорогах. Хотя эти данные и не являются критически важными для основной функции навигации, но каждый из этих классов помимо помощи в ориентировании водителя на местности вносит свой вклад в оптимизацию маршрутов, делая их более эффективными и безопасными.

Также в состав каталога необходимо включить класс метаданных, который играет важную роль, обеспечивая дополнительную информацию о данных, которые используются в системе. Метаданные помогают управлять, анализировать и интерпретировать данные, а также повышают общую функциональность и эффективность навигационных систем.

Отдельно выделяется класс навигационно-значимых объектов, для которого будут применяться топологические отношения на основе нечеткой логики. Это позволит повысить эффективность решения навигационных задач за счет более точного учета потребностей пользователей, адаптации к изменениям в режиме, близком к реальному времени, и оптимизации маршрутов, что в конечном итоге повысит безопасность и комфорт при поездках.

Так как согласно требованиям к информационному обеспечению, кроме обычных категорий пользователей, НБД будут использовать и специальные категории, то в каталоге объектов необходимо учесть дополнительные данные, необходимые для решения стоящих перед ними навигационных задач.

Для логистических компаний необходимо учесть следующие данные:

- информация о ключевых объектах, таких как склады, распределительные центры, заправочные станции, пункты питания и гостиницы;
- данные об уклонах дорог и других особенностях, которые могут повлиять на выбор маршрута;
- информация о различных типах транспортных средств (грузовики, фургоны, легковые автомобили) и их характеристиках (грузоподъемность, размеры,

расход топлива);

- данные о состоянии транспортных средств, включая информацию о техническом обслуживании, пробеге, расходе топлива и других показателях;

- информация о типах грузов, их весе, объеме и особенностях транспортировки (например, температурный режим для скоропортящихся товаров);

- данные о приоритетах доставки, сроках и требованиях к времени прибытия;

- информация о текущем состоянии загруженности дорог и пробках, что позволит адаптироваться к изменяющимся условиям в режиме, близком к реальному времени;

- данные о текущих и прогнозируемых погодных условиях, которые могут повлиять на безопасность и скорость доставки;

- информация о зонах с ограничениями (например, зоны с ограничением по высоте или весу, платные дороги);

- информация о потенциально опасных участках, авариях и других инцидентах на дорогах.

Учитывая эти особенности, логистические компании смогут более эффективно планировать маршруты, оптимизировать процессы и улучшить мониторинг состояния транспорта, что в конечном итоге приведет к повышению эффективности и снижению затрат.

Для решения задач экстренных служб (полиция, пожарные, скорая помощь, МЧС) в каталоге необходимо предусмотреть дополнительные объекты и атрибуты, которые помогут обеспечить быструю и эффективную реакцию в чрезвычайных ситуациях. Вот ключевые элементы, которые следует учитывать:

- определение специальных маршрутов для экстренных служб, включая выделенные полосы и зоны с ограниченным доступом для обычного транспорта;

- информация о зонах, где движение может быть ограничено (например, во время массовых мероприятий, аварий или катастроф);

- информация о медицинских учреждениях, включая больницы, клиники и пункты скорой помощи;

- информация о расположении пожарных станций и их доступности;

- информация о полицейских участках;
- информация о предыдущих инцидентах, авариях и чрезвычайных ситуациях в определенных районах, что поможет в анализе рисков;
- данные о текущих экстренных ситуациях, авариях или инцидентах, которые могут повлиять на маршруты;
- классификация типов инцидентов (пожар, ДТП, медицинский вызов и т.д.) для быстрой оценки и реагирования;
- безопасные зоны для эвакуации граждан или размещения экстренных служб;
- данные о рельефе и погодных условиях;
- информация о потенциально опасных зонах (например, промышленные объекты, химические заводы), которые могут потребовать особого внимания;
- информация о доступных ресурсах вблизи (например, источники воды для пожарных, инструменты для спасательных операций).

Для решения навигационных задач, ориентированных на туристов, в каталоге необходимо учесть следующую информацию:

- туристические достопримечательности с их описанием, фотографиями, подробной классификацией, часами работы и стоимостью посещения;
- места проживания с информацией о типах жилья, уровне комфорта и доступных удобствах, стоимости и контактной информацией;
- рестораны и кафе с информацией о рейтинге, типе кухни, часах работы, ценовом диапазоне и т. п.;
- информация о транспортных узлах с расписанием, маршрутами и ценами;
- сведения о придорожной инфраструктуре (наличие стоянок, туалетов, мест для отдыха и источников воды);
- информация о предстоящих мероприятиях, фестивалях, выставках и концертах;
- информация о городских парках, пляжах и природных заповедниках;
- информация о туристических информационных центрах, доступных экскурсиях и гидах, включая отзывы и рейтинги.

Рассмотренные выше классы объектов, которые необходимо включить в каталог, можно условно разделить на несколько функциональных групп, представленных на рисунке 8.

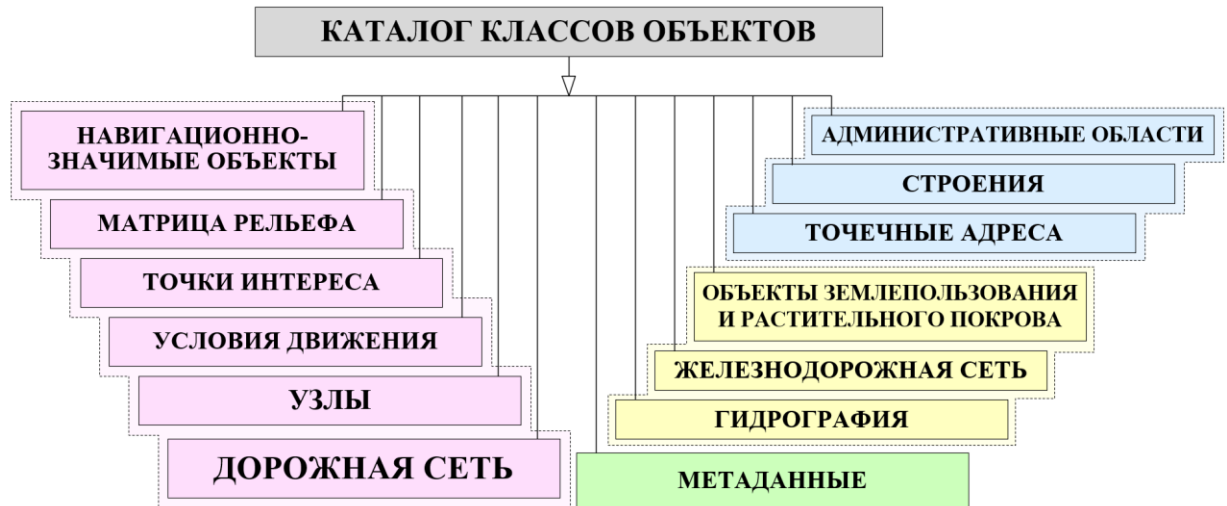


Рисунок 8 – Состав каталога классов объектов ИО НБД

В группе решения навигационных задач, основным классом является дорожная сеть. Группа также включает классы узлов, точек интереса, условий движения, матрицу рельефа и навигационно-значимые объекты, используемые при применении метода представления межобъектных топологических отношений. Группа адресной информации включает сведения об административных областях, строениях и точечных адресах. Группа картографической основы, служащая для ориентирования, включает классы гидрографии, железных дорог, объектов землепользования и растительного покрова. Также в каталог включен класс метаданных, содержащий информацию о всех остальных классах.

Рассмотрим подробнее каждый из классов объектов, а также определим их атрибуты.

2.2.1 Дорожная сеть

Основой любой навигационной базы данных является информация о дорожной сети. Оптимальным решением является ее представление в виде графа дорожной сети. Это обеспечивает структурированность, гибкость, возможность эффективной обработки и анализа данных, а также поддержку сложных навигационных запросов, что в конечном итоге улучшает качество навигационных систем.

Под дорожным графом понимают структуру, состоящую из топологически связанных узлов (вершин) и связей (ребер), свойства которых описывают расположение проезжих частей улично-дорожной сети, их характеристики, а также организацию дорожного движения. Узлы – это определенные точки графа, ключевые для прокладки маршрутов и измерения расстояний. Связи между ними обозначают возможность передвижения от одного узла к другому. Если связь имеет направление, её называют дугой. Граф может быть направленным, если все связи установлены с учетом направления движения, или смешанным, когда это условие выполняется не для всех связей.

Граф считается связным, когда любая его вершина может быть достигнута из любой другой, следуя по ребрам, которые ведут от одной вершины к другой без прерывания. Это предполагает, что от каждой вершины должен исходить хотя бы один путь и к каждой вершине должен вести хотя бы один путь. Дорожная сеть, представленная в виде графа, обязана обладать связностью для обеспечения возможности перемещения от одной точки к другой.

Узлы и ребра графа могут иметь весовые коэффициенты, которые учитываются в алгоритмах маршрутизации и навигации. Они отражают различные характеристики, например, расстояние между узлами, время в пути, стоимость проезда, время ожидания на узле и т. п.

Определим правила формирования узлов и связей графа дорожной сети с учетом разработанных требований к ИО НБД (рисунок 9).

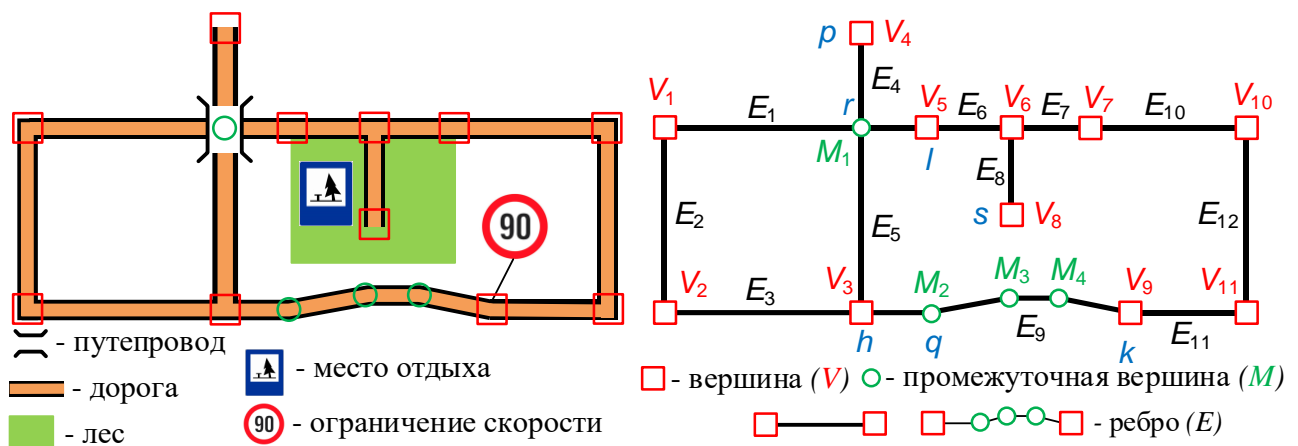


Рисунок 9 – Правила формирования графа дорожной сети

$G(V, E)$ – граф дорожной сети, где V – множество вершин (узлов), E – множество ребер.

Узел может выступать как как узел конца связи или как формообразующая точка (промежуточный узел), определяющая геометрическую кривизну связи.

$M \subseteq V$, где M – промежуточные вершины (формообразующие точки).

Правила формирования вершин графа дорожной сети:

$\{h, k, l, p, s\} \rightarrow V$ – представление узлов:

h – пересечение (примыкание) дорог на одном уровне;

k – изменение атрибута элемента дорожной сети (название, количество полос, скорость, разметка, светофор, перекресток);

l – пересечение (примыкание) дорожной сети с другими объектами НБД (административная граница, парк, лес, водоем, промышленная зона и т.д.);

p – географический периметр базы данных;

s – конец дороги.

$\{q, r\} \rightarrow M$ – представление формообразующих точек:

q – кривизна или острый изгиб ребра, который представляет признак формы;

r – пересечение ребер на разных уровнях.

Выполнение данных правил делает граф наиболее полным и функциональным, что позволяет эффективно решать навигационные задачи.

Рассмотрим подробнее правила цифрового описания графа дорожной сети.

Для представления автомобильной дороги используется метод векторизации ее осевой линии. Осевая линия представляет срединное расстояние между внешними краями объекта. Например, осевая линия дороги указывает середину дорожного полотна, как показано на рисунке 10.

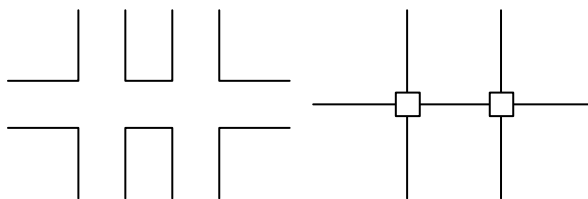


Рисунок 10 – Векторизация осевой линии дороги

В случае, если на дорожной сети осевые линии не могут быть правильно определены, геометрия дорожной сети представляет собой реальный транспортный поток, как показано на рисунке 11.

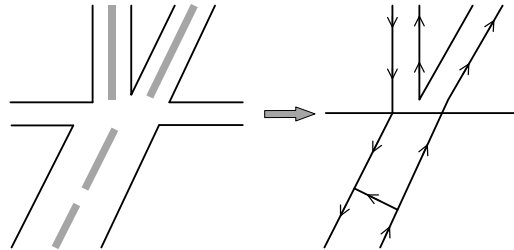


Рисунок 11 – Геометрическое представление дорожной сети

Если существует четкое различие в важности дорог, соединяющих друг друга, то дорога являющаяся главной, должна быть отображена с большей точностью по отношению к второстепенной, как показано на рисунке 12.

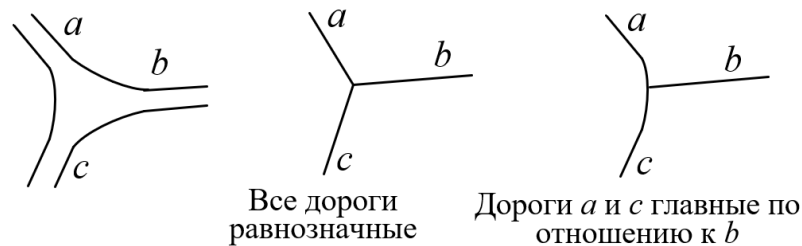


Рисунок 12 – Примыкание дорог

Дорога может иметь физически разделенное дорожное полотно и представлена несколькими проезжими частями. В случае, когда расстояние, отделяющее проезжие части, становится существенным, они могут быть оцифрованы отдельно, как показано на рисунке 13.

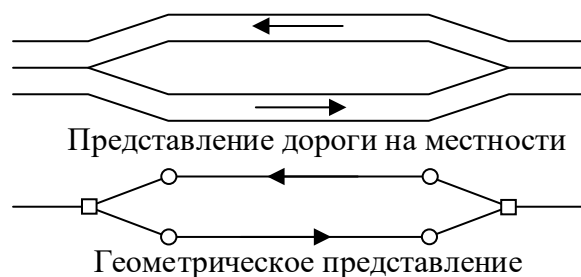


Рисунок 13 – Отдельно оцифрованные дороги

Дороги могут быть отдельно оцифрованы, когда выполняется одно из следующих условий:

- дорога с ограниченным доступом, имеющая съезды (въезды) и пересекающаяся с другими дорогами на разных уровнях (автомагистраль);
- дорога с одним направлением транспортного потока расходится на два параллельных односторонних пути, отделенных разделителем;
- дорога отделена физическим разделителем и определена для реверсивного движения автомобилей;
- дорога является сервисной или дублером, независимо от размера разделителя, который отделяет ее от магистральной дороги.

В случае, если дорога состоит из одной связи и замкнута сама на себя (петля), то на нее добавляются узлы для устранения такой ситуации, как показано на рисунке 14.

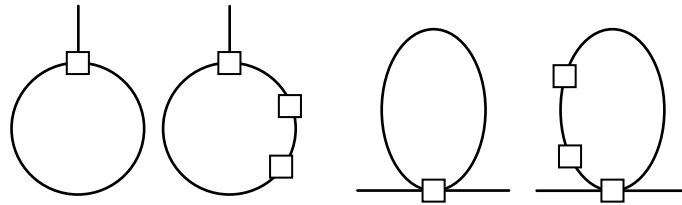


Рисунок 14 – Добавление узлов в ситуации «петля»

Дороги с круговым движением показываются, если существует разделитель любого размера, и диаметр всей дороги с круговым движением равен или больше, чем 25 метров, как показано на рисунке 15. Иначе, она представляется как узел.

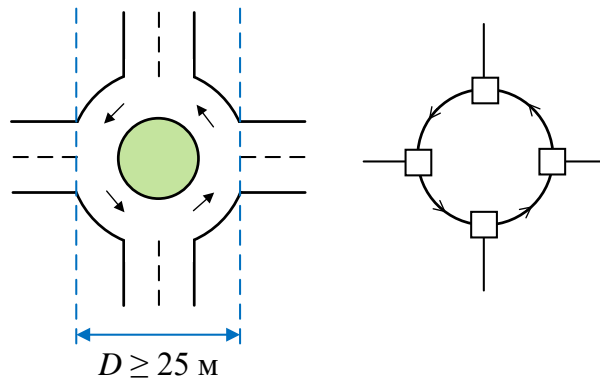


Рисунок 15 – Дорога с круговым движением

Островки безопасности и съезды с дорог отображаются, когда любая сторона физического барьера или разметки по длине более 25 метров, как показано на рисунке 16.

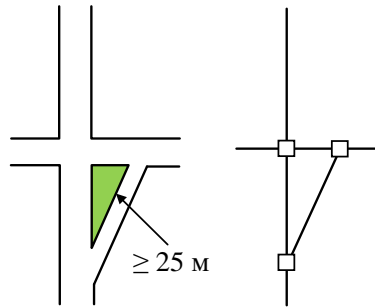


Рисунок 16 – Съезд с дороги с островком безопасности

Неопределенные проезжие части, т. е. области, где может проехать автомобиль, но не имеется юридически определенных дорог представляются полигонами. Все связи, входящие в неопределенную проезжую часть связаны в узле в приближенном центре и не представляют реальные дороги, как показано на рисунке 17.

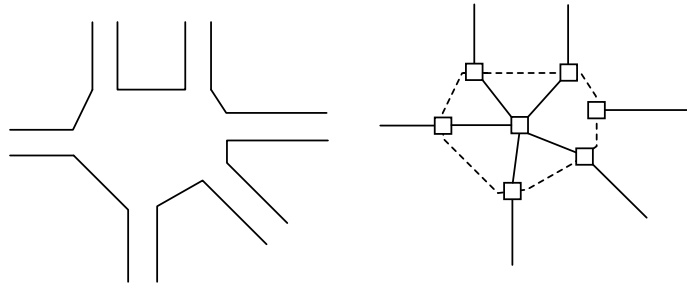


Рисунок 17 – Неопределенные проезжие части

В ходе исследований были определены атрибуты графа дорожной сети.

В таблице 2 представлен список атрибутов Класса «Дорожная сеть» с их короткими именами и типами значений.

Таблица 2 – Атрибуты класса «Дорожная сеть»

Атрибут	Короткое имя	Значение
Идентификатор дуги	ARCID	Числовое
Идентификатор начального узла дуги	STNODEID	Числовое
Идентификатор конечного узла дуги	ENDNODEID	Числовое
Полное название улицы	FULSTNAME	Символьное
Идентификатор названия улицы	STNAMEID	Числовое

Продолжение таблицы 2

Атрибут	Короткое имя	Значение
Языковой код названия улицы	STLC	Символьное
Название улицы	STNM	Символьное
Тип названия	NUMTYP	Числовое
Тип улицы	STTYP	Символьное
Предшествующий тип улицы	STTYPBEF	Символьное
Последующий тип улицы	STTYPAFT	Символьное
Левый начальный адрес	LSTADDR	Символьное
Левый конечный адрес	LENDADDR	Символьное
Схема адресов левой стороны	LADDRSCH	Символьное
Формат адресов левой стороны	LADDRFORM	Символьное
Правый начальный адрес	RSTADDR	Символьное
Правый конечный адрес	RSTADDR	Символьное
Схема адресов правой стороны	RADDRSCH	Символьное
Формат адресов правой стороны	RADDRFORM	Символьное
Идентификатор административной единицы слева	LEFTADMID	Числовое
Идентификатор административной единицы справа	RIGHTADMID	Числовое
Почтовый индекс слева	LPOSTCODE	Числовое
Почтовый индекс справа	RPOSTCODE	Числовое
Категория дороги	ROADCAT	Символьное
Класс дороги	ROADCLASS	Символьное
Значимость дороги	ROADIMP	Символьное
Средняя скорость	AVSPEED	Числовое
Ограничение скорости	AVSPEED	Числовое
Мост	BRIDGE	Символьное
Туннель	TUNNEL	Символьное
Съезды (въезды)	RAMP	Символьное
Платная дорога	TOLLWAY	Символьное
Автомагистраль	MOTORWAY	Символьное
Круговое движение	ROUNDAABOUT	Символьное
Область с неопределенным движением	UNDEFTRAFF	Символьное
Переправа	FERRY	Символьное
Направление движения	DRIVEDIR	Символьное
Разделитель	DIVIDER	Символьное
Количество полос движения	NUMLANE	Числовое
Полная геометрия	FULGEOM	Символьное
Позиционная точность	POSACCUR	Символьное

Окончание таблицы 2

Атрибут	Короткое имя	Значение
Неровная дорога	ROUGHROAD	Символьное
Перекресток	INTERSECTION	Символьное
Пространственные отношения расстояний	SPRELDIS	Символьное
Пространственные отношения взаимного расположения	SPRELMUTAR	Символьное
Пространственные отношения направлений	SPRELDIR	Символьное
Пространственные отношения геометрического положения	SPRELGEOMAR	Символьное

Их можно разделить на несколько тематических групп.

Первая группа – это атрибуты, касающиеся идентификации элементов графа дорожной сети.

Атрибут «Идентификатор дуги» используется, чтобы идентифицировать каждую дугу графа дорожной сети в базе данных, он является уникальным. Служит для связи с другими классами объектов.

Атрибут «Идентификатор начального (конечного) узла дуги» служит для контроля связности графа и направления его цифрования.

Следующая группа атрибутов связана с определением названий элементов дорожного графа.

Атрибут «Полное название улицы» включает название улицы и ее тип.

Идентификатор «Название улицы» является уникальным для каждого названия улицы.

Атрибут «Языковой код названия улицы» определяет язык названия улицы.

Атрибут «Название улицы» определяет непосредственно название улицы без включения ее типа.

Атрибут «Тип названия» определяет тип названия: официальное, почтовое, местное, номер дороги, название населенного пункта или другой тип названия.

Атрибут «Тип улицы» принимает значения, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Тип улицы

Код значения атрибута	Значение атрибута
1	Улица
2	Шоссе
3	Проспект
4	Переулок
5	Проезд
6	Тупик
7	Аллея
8	Набережная
9	Бульвар
10	Площадь
11	Проектируемый проезд
12	Микрорайон
13	Другое

Атрибуты «Предшествующий тип улицы» и «Последующий тип улицы» указывают соответственно местоположение записи о типе улицы до или после основного названия улицы.

Следующая группа атрибутов описывает нумерацию домов. Совместно с описанной выше группой атрибутов, описывающей названия элементов дорожной сети, а также с учетом сведений по административно–территориальному делению можно определить полный адрес объекта.

Адрес обычно состоит из почтового индекса, названия страны, региона, района, населенного пункта, улицы, номера дома.

В классе «Дорожная сеть» для каждого элемента дорожной сети определяются адресные интервалы.

Атрибуты «Левый начальный адрес» и «Правый начальный адрес» определяют номер дома на левой или правой стороне дорожного элемента в начальном узле. Правые и левые стороны определяются относительно начального узла дуги.

Атрибуты «Левый конечный адрес» и «Правый конечный адрес» определяют номер дома на левой или правой стороне дорожного элемента в конечном узле.

Атрибуты «Схема адресов левой стороны» и «Схема адресов правой стороны» определяют тип нумерации домов на левой (правой) стороне дорожного элемента. Встречаются следующие типы схем адресов: четные, нечетные, смешанные.

Если адрес неизвестен или не существует схема не определена.

Атрибуты «Идентификатор административной единицы слева» и «Идентификатор административной единицы справа» уникальные идентификаторы административной единицы самого низкого уровня слева или справа от дорожного элемента. Используются для определения информации об адресе.

Атрибуты «Почтовый индекс слева» и «Почтовый индекс справа» определяют условное цифровое обозначение почтового адреса, присваиваемое объекту почтовой связи. В России это шестизначный цифровой код.

Следующая категория атрибутов касается классификации дорог, которая представлена правилами классификации [73] и Гост Р 52398-2005 [22].

Атрибут «Категория дороги» принимает значения, представленные в таблице 4.

Таблица 4 – Категория дороги

Код значения атрибута	Значение атрибута
1	IA
2	IB
3	IV
4	II
5	III
6	IV
7	V

Атрибут «Класс дороги» показывает разделение автодорог на категории в зависимости от условий проезда и ограничений для транспортных средств. Основными классами являются автомагистрали, скоростные и обычные дороги.

Автодороги с высокой пропускной способностью характеризуются уникальными особенностями. Они обеспечивают движение без пересечений на одном уровне с другими видами транспорта, такими как железнодорожные и трамвайные

пути, а также места для передвижения пешеходов и велосипедистов. Попасть на такие магистрали можно через специальные развязки, расположенные на расстоянии не менее 5 км друг от друга. Для автомагистралей характерно наличие нескольких полос для движения в каждом направлении, разделенных между собой специальной полосой безопасности.

Скоростные дороги также не имеют прямого пересечения с другими видами транспортных магистралей, такими как железнодорожные или трамвайные пути, дорожки для велосипедов и пешеходов на одном уровне. Доступ к таким дорогам организуется посредством разноуровневых перекрестков или же через примыкания, расположенные на одном уровне, но без пересечения движущихся потоков. Расстояние между такими точками доступа не должно быть меньше 3 километров.

Дороги обычного типа имеют общую проезжую часть или с разделяющей полосой посередине. К ним предоставляется доступ через специальные точки примыкания и пересечения. Условия для этих точек входа различаются в зависимости от категории дороги. Для дорог от первой до третьей категории включительно, эти точки располагаются на расстоянии не ближе, чем каждые 600 метров. Для дорог четвертой категории допускается их наличие через каждые 100 метров, а для пятой категории – через каждые 50 метров.

Атрибут «Значимость дороги» принимает значения, указанные в таблице 5.

Таблица 5 – Значимость дороги

Код значения атрибута	Значение атрибута
1	Федеральная
2	Региональная
3	Межмуниципальная
4	Автодорога в поселении
5	Автодорога в муниципальном районе
6	Автодорога в городском округе
7	Частная
8	Прочая

Атрибут «Средняя скорость» представляет среднюю скорость движения транспортных средств по дорожному элементу. Атрибут отображается в километрах в час, служит для расчета маршрута.

Атрибут «Ограничение скорости» определяет максимальное ограничение скорости на дорожном элементе и отображается в километрах в час. Этот атрибут используется для расчета маршрута.

Атрибут «Мост» определяет наличие или отсутствие на дорожном элементе сооружения типа мост. Атрибут принимает значение «Y» или «N».

Атрибут «Туннель» определяет наличие или отсутствие на связи сооружения типа туннель. Атрибут принимает значение «Y» или «N».

Атрибут «Съезды (въезды)» определяет дорожные элементы, обеспечивающие соединение не пересекающихся между собой дорог. Атрибут принимает значение «Y» или «N». Этот атрибут применяется к дорогам, соединяющим разноуровневые дороги. На рисунке 18 представлен образец транспортной развязки со съездами.

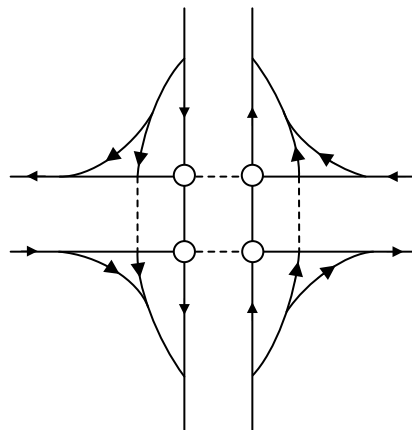


Рисунок 18 – Съезды (въезды) на разноуровневых дорогах.

Также он применяется для дорожных элементов, соединяющих сервисные дороги или дублеры с основной дорогой.

Атрибут «Платная дорога» применяется для дорожных элементов, принадлежащих платной дороге. Атрибут принимает значение «Y» или «N». Этот атрибут идентифицирует дороги, движение по которым требует оплаты. Он используется совместно с условием «Пункт оплаты».

Атрибут «Автомагистраль» идентифицирует дороги с ограниченным количеством въездов и съездов, на которых разрешается непрерывное высокоскоростное движение транспорта. Атрибут принимает значение «*Y*» или «*N*». Атрибут применяется, когда дорога имеет отдельно оцифрованные направления движения, не пересекается с другими дорогами (имеет разноуровневые пересечения), и доступна только для въездов и съездов с нее на другие дороги или к зонам отдыха.

Атрибут «Круговое движение» используется для дорожных элементов, представляющих непрерывную дорогу с последовательным односторонним движением по кругу. Атрибут принимает значение «*Y*» или «*N*». На рисунке 19 представлен пример дороги с круговым движением.

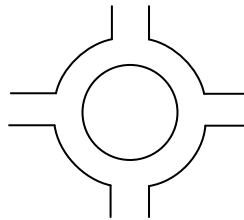


Рисунок 19 – Дорога с круговым движением

Атрибут «Область с неопределенным движением» определяет дорожные элементы в полигоне с неопределенной областью движения, имеющей твердое покрытие, где может проехать автомобиль, но нет юридически определенных дорог. Атрибут принимает значение «*Y*» или «*N*». В этой области автомобиль может двигаться в любом направлении в пределах полигона, как показано на рисунке 20.

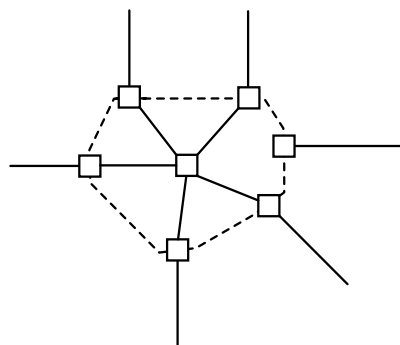


Рисунок 20 – Неопределенная область движения

Атрибут «Переправа» определяет, имеется ли на связи переправа. Атрибут принимает значение «*Y*» или «*N*».

Атрибут «Направление движения» определяет разрешенное направление транспортного потока на дороге. Атрибут принимает следующие значения:

пробел – не применяется,

B – движение разрешено в двух направлениях,

SE – движение разрешено от начального к конечному узлу дорожного элемента (положительное направление),

ES – движение разрешено от конечного к начальному узлу дорожного элемента (отрицательное направление).

На направление движения влияет наличие дорожных знаков, показывающих разрешенный поток движения на дороге.

Дорожные знаки, указывающие направление движения, могут применяться в сочетании с указанием типа транспортного средства, срока действия, ограничения по весу или размерам.

Атрибут «Разделитель» представляет информацию о существовании физического или юридического разделителя на дорожном элементе между противоположными направлениями транспортных потоков на дороге в целом, или между отдельными полосами движения. Это составной атрибут, он может иметь следующие податрибуты:

- наличие разделителя,
- тип разделителя (юридический или физический),
- ширина разделителя,
- высота разделителя,
- разметка (без разметки, пунктирная линия, двойная сплошная линия, одна сплошная линия, комбинация сплошной линии и пунктирной линии и др.),
- возможность пересечения разделителя (можно пересекать, можно пересекать слева, можно пересекать справа, нельзя пересекать),
- цвет разделителя.

Атрибут «Количество полос движения» содержит информацию о количестве полос движения на каждом участке дороги. Количество полос движения зависит от наличия разделителей полос движения.

Разделители – это все типы линий, отделяющие полосы движения друг от друга, например, одинарная, двойная линия, пунктирная и другие типы линий разметки. Если разделитель отсутствует, то для этой части дороги имеется только одна полоса движения.

Атрибут «Тип полосы движения» содержит информацию о типе полосы движения. Встречаются следующие типы полос движения:

- обычная полоса,
- реверсивная полоса,
- выделенные полосы для общественного транспорта,
- полоса разгона, торможения,
- другие.

Атрибут «Покрытие» содержит информацию о том, есть ли на дороге покрытие или нет. Этот атрибут влияет на маршрутизацию, грунтовым дорогам назначаются более низкие приоритеты.

Атрибут «Полная геометрия» идентифицирует, имеет ли связь полную геометрию дорожной сети, все ли существующие в действительности дороги отображены в базе данных. Атрибут позволяет более точно вычислить маршрут. Он принимает значение «Y» или «N».

Атрибут «Позиционная точность» содержит информацию о точности исходного материала, используемого для построения базы данных.

Различают следующие классы, от лучшей до худшей позиционной точности:

- нормальный уровень точности,
- низкий уровень точности,
- высокий уровень точности.

Атрибут «Неровная дорога» идентифицирует дороги, подходящие только для полноприводных автомобилей, принимает значения «Y» и «N».

Атрибут «Перекресток» определяет дорожные элементы, являющиеся частью перекрестка или связанные с ним. Такие дорожные элементы создаются при пересечении нескольких дорог, когда они не пересекаются в единственном узле. Повороты, островки безопасности, развороты, съезды (въезды) также включаются в перекрестки. Атрибут принимает значение «Y» или «N». Имеется несколько типов пересечений: маневр, внутреннее пересечение и не описываемое пересечение.

Внутреннее пересечение указывает, что связь должна рассматриваться как часть перекрестка, а не как отдельная часть дороги.

Маневр указывает, что нужно дать только одну команду вместо нескольких перед началом маневра, чтобы водитель сумел сориентироваться.

Не описываемый перекресток указывает на повороты, которые нельзя объяснить одной командой или вообще нельзя объяснить. В этом случае необходимо графическое представление, чтобы иллюстрировать поворот.

Атрибуты пространственных отношений расстояний, направлений, взаимного расположения и геометрического положения рассмотрены в разделе 2.4

2.2.2 Узлы

Класс «Узлы» служит для представления ключевых точек в дорожной инфраструктуре, которые играют важную роль в маршрутизации и навигации.

Атрибуты класса «Узлы» представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Атрибуты класса «Узлы»

Атрибут	Короткое имя	Значение
Идентификатор дуги	ARCID	Числовое
Номер узла	NUMNODE	Числовое
Идентификатор узла	NODEID	Числовой
Уровень	NODE	Числовой
Перекресток	INTERSEC	Символьный

Атрибут «Идентификатор дуги» служит внешним ключом для связи с классом «Дорожная сеть».

Атрибут «Номер точки» представляет порядковый номер, начинающийся с 1, для формообразующих точек и узлов на дугах, отсчет идет от начального узла.

Атрибут «Уровень» определяет относительное вертикальное положение формирующей точки. Уровень «0» – по умолчанию (уровень земли). Атрибут принимает значение от –5 до 5. Атрибут обычно имеет значение отличное от «0» на пересечении разноуровневых дорог. Этот атрибут помогает в выборе направления движения на перекрестках и транспортных развязках.

Атрибут «Перекресток» указывает, принадлежит ли этот узел перекрестку.

2.2.3 Условия движения

Этот класс содержит информацию о различных типах маневров, условиях движения и ограничениях, которые существуют на дорогах.

Каждое условие, ограничение или маневр действуют на конкретный дорожный элемент или на их последовательность. Данный класс служит для задания параметров ограничения доступности дорог для различных видов транспортных средств. Он также устанавливает временные рамки, в течение которых эти ограничения будут актуальны, определяет возможные маневры и прочие требования к перемещению. Применение этого класса необходимо для составления корректного маршрута следования.

Атрибуты класса «Условия движения» представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Атрибуты класса «Условия движения»

Атрибут	Короткое имя	Значение
Идентификатор дуги	ARCID	Числовое
Идентификатор условия	RESTID	Числовое
Тип условия	RESTTYP	Символьное
Значение условия	RESTVAL	Символьное
Тип транспортного средства	VENTYP	Символьное
Направление движения	DRIVEDIR	Символьное
Период действия	VALPER	Символьное

Рассмотрим подробнее каждый атрибут.

Атрибут «Идентификатор дуги» служит внешним ключом для связи с классом «Дорожная сеть».

Атрибут «Идентификатор условия» является ключевым полем и служит для связи с классами «Действие маневра (ограничения)» и «Период действия».

Атрибут «Тип условия» определяет тип условия, маневра или ограничения для дорожного элемента.

Рассмотрим встречающиеся типы маневров.

Маневры представляют собой упорядоченную последовательность дорожных элементов, попадающих на перекресток.

Различают 3 вида маневров:

- приоритетный,
- запрещенный,
- ограниченный.

Приоритетный маневр – маневр, имеющий приоритет над другим маневром на перекрестке. Пример приоритетного маневра представлен на рисунке 21.

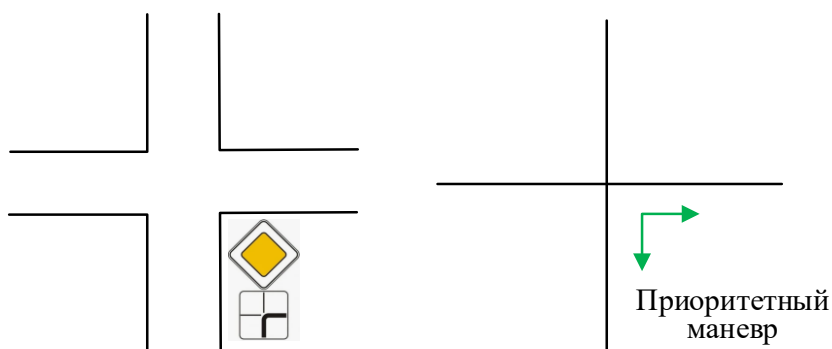


Рисунок 21 – Приоритетный маневр

Приоритетные маневры обычно определяют порядок проезда перекрестка с помощью дорожных знаков и разметки на дороге.

Запрещенный маневр – маневр, запрещенный с помощью дорожных знаков и разметки. На рисунках 22 и 23 представлены примеры запрещенного маневра.

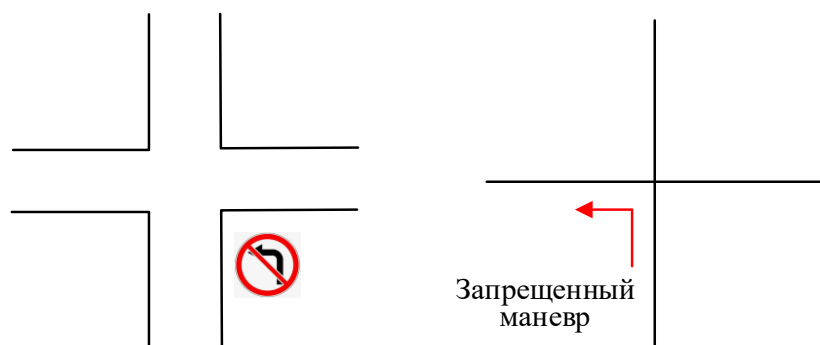


Рисунок 22 – Маневр, запрещенный дорожным знаком



Рисунок 23 – Маневр, запрещенный белой сплошной линией разметки

Ограниченный маневр представляет собой маневр, выполняемый с соблюдением одного из обязательных условий, определяемых правовыми нормами (дорожными знаками или разметкой). На рисунке 24 представлен пример ограниченного маневра.

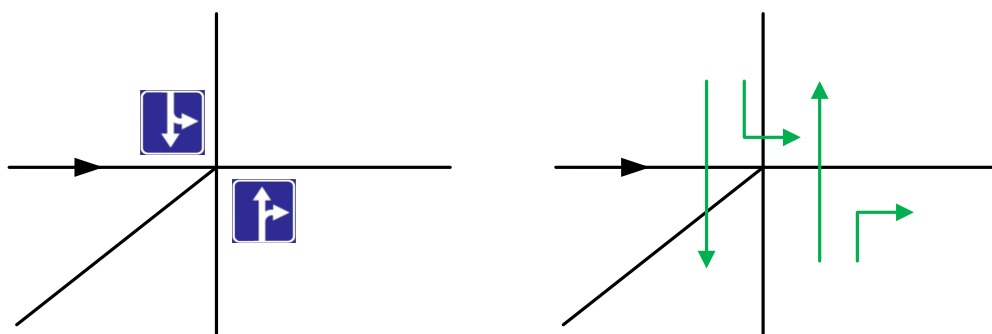


Рисунок 24 – Ограниченный маневр

Условие движения «Разделение» представляет дороги, имеющие два или более естественных продолжения без резких изгибов и углом между крайними из них не более 90° . Пример условия «Разделение» представлен на рисунке 25.

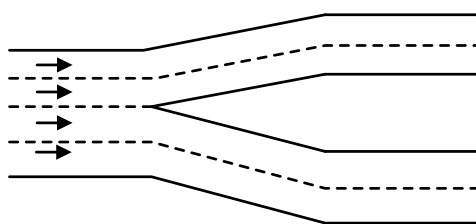


Рисунок 25 – Разделение дороги

Условие «Пункт оплаты» определяет присутствие пунктов оплаты на въезде и выезде платной дороги, а также способы оплаты.

Условие «Пункт оплаты» применяется к последовательности из двух смежных дорожных элементов, исходного и назначения. Исходный дорожный элемент расположен до пункта оплаты, а элемент назначения после пункта оплаты.

При наличии нескольких полос движения на них могут применяться различные способы оплаты и по ним могут проезжать разные типы транспортных средств.

По типу оплаты пункты оплаты делят на пункты с автоматической оплатой и на пункты с кассирами.

На пунктах оплаты могут выделять полосы для проезда легковых и грузовых автомобилей, негабаритного транспорта.

По способу оплаты выделяют оплату наличными или банковскими картами, проезд по транспондеру.

Также для условия «Пункт оплаты» может указываться направление действия: в двух направлениях, в положительном или отрицательном направлении.

На рисунке 26 представлен пример пункта оплаты с несколькими полосами в одном направлении.

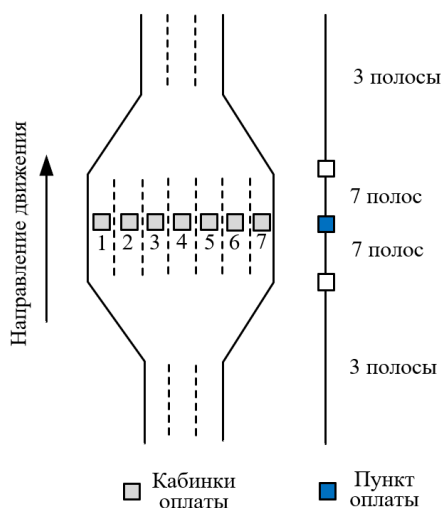


Рисунок 26 – Пункт оплаты с несколькими полосами

Условие «Строительные работы» предоставляет информацию о дорогах, на которых производятся строительные работы, идет ремонт и т. п. Условие применяется совместно с атрибутами «Направление движения» и «Период действия».

Условие «Контрольно-пропускной пункт» определяет наличие контрольно-пропускного пункта или шлагбаума, который запрещает движение по дороге без разрешения или пропуска.

Условие «Ограничение скорости» определяет скорость в особых случаях. Условие определяет максимальную скорость, с которой разрешено или рекомендуется управлять конкретным типом транспортного средства на определенном участке дороги.

Выделяют несколько типов ограничения скорости:

- не определено,
- максимальная скорость,
- рекомендуемая скорость,
- максимальная скорость, зависящая от полосы движения,
- в зависимости от условий
- лежащий полицейский.

Условие «Ограничение стоянки» определяет ограничение, которое относится к возможности стоянки на элементе дорожной сети. В значении условия указывается сторона дороги, на которой запрещена стоянка:

- с обеих сторон,
- слева от дорожного элемента,
- справа от дорожного элемента.

Условие «Ограничение стоянки» может использоваться совместно с атрибутами «Период действия» и «Тип транспортного средства». Условие определяется соответствующим дорожным знаком.

В таблице 8 показаны типы ограничительных условий и их значения.

Таблица 8 – Условия движения и их значения

Код условия	Название условия	Код значения условия	Значение условия
1	Приоритетный маневр	–	–
2	Ограниченный маневр	–	–

Окончание таблицы 8

Код условия	Название условия	Код значения условия	Значение условия
3	Запрещенный маневр	–	–
4	Разделение дорог	–	–
5	Пункт оплаты	1 2 3 4	Оплата наличными Оплата банковскими картами Транспондер Оплата наличными или банковскими картами
6	Контрольно-пропускной пункт	1 2 3	Ключ доступа Пропуск Только для чрезвычайных служб
7	Строительные работы	–	–
8	Ограничение скорости (по типу ограничения)	0 1 2 3 4 5	Не определено Максимальная скорость Рекомендуемая скорость Максимальная скорость, зависящая от полосы движения В зависимости от условий Лежачий полицейский
9	Ограничение стоянки	1 2 3	С обеих сторон Слева от дорожного элемента Справа от дорожного элемента

Атрибут «Тип транспортного средства» определяет на какие типы транспортных средств действует условие. Атрибут принимает следующие значения:

- Null – не применяется,
- 0 – автомобили всех типов,
- 1 – автомобили легкового типа,
- 2 – автомобили грузового типа,
- 3 – общественный транспорт,
- 4 – автомобили чрезвычайных служб,
- 5 – поставщики,
- 6 – мототранспорт,
- 7 – пешеходы,

8 – другое.

Атрибут «Направление движения» определяет разрешенное направление транспортного потока на дороге во время действия ограничения.

Атрибут принимает следующие значения:

B – движение разрешено в двух направлениях,

SE – движение разрешено от начального к конечному узлу связи (положительное направление),

ES – движение разрешено от конечного к начальному узлу связи (отрицательное направление).

Атрибут «Период действия» определяет срок действия ограничений для связанных с ним атрибутов или отношений. Он выражается в единицах времени, описываемых четкими или нечеткими временными границами.

Непосредственно с классом «Условия движения» связан подкласс «Траектория действия маневра (ограничения)», в котором определяется порядок следования дорожных элементов в ходе маневра. Указываются следующие дорожные элементы:

- первый элемент дороги, на котором начинается маневр,
- промежуточный элемент или элементы дороги, где проходит маневр (при необходимости),
- последний элемент дороги, где заканчивается маневр.

В таблице 9 «Траектория действия маневра (ограничения)» представлены атрибуты этого подкласса.

Таблица 9 – Атрибуты подкласса «Траектория действия маневра (ограничения)»

Наименование атрибута	Короткое имя	Формат
Идентификатор условия	RESTID	Числовое
Идентификатор дуги	MANID	Числовой
Идентификатор последующего элемента маневра (ограничения)	SUBMANID	Числовой
Порядковый номер	SEQNUM	Числовой

Атрибут «Идентификатор условия» является ключевым полем, в том числе и внешним, связывающим слой «Траектория действия маневра (ограничения)» со слоем «Условия движения, маневры и ограничения».

Атрибут «Идентификатор дуги» определяет дорожный элемент, на котором начинается маневр.

Атрибут «Идентификатор последующего элемента маневра (ограничения)» определяет дорожный элемент, на котором продолжается (заканчивается) маневр.

Атрибут «Порядковый номер» отображает порядковый номер дорожного элемента, участвующего в маневре.

Для примера рассмотрим запрещенный маневр. На рисунке 27 представлен пример запрещенного разворота, в котором задействовано несколько дорожных элементов.

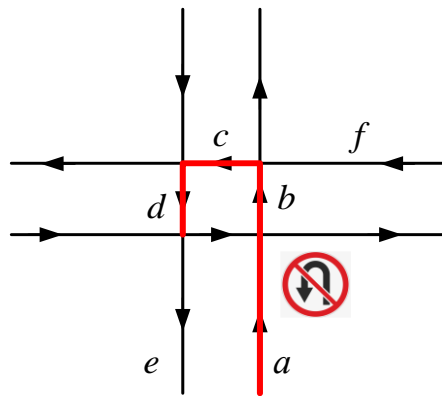


Рисунок 27 – Запрет разворота

Траектория маневра проходит от связи *a* к связи *b*, затем к связи *c*, затем к связи *d*. Но если начать движение со связи *c* на связь *d*, то такой маневр разрешен (например, если движение из *f* к *e*)

2.2.4 Точки интереса

Объекты, относящиеся к классу точек интереса, представляют собой значимые места, элементы инфраструктуры, а также ключевые точки на автомобильных дорогах. Данные о их местоположении и характеристиках хранятся в НБД.

Точки интереса могут быть разных типов. Для всех типов точек интереса можно выделить ряд общих атрибутов, представленных в таблице 10.

Таблица 10 – Атрибуты класса «Точки интереса»

Атрибут	Короткое имя	Значение
Идентификатор дуги	ARCID	Числовое
Идентификатор точки интереса	POIID	Числовое
Официальное название точки интереса	OFPOINAME	Символьное
Языковой код названия точки интереса	OFPOINAMELC	Символьное
Альтернативное название точки интереса	ALTPOINAME	Символьное
Языковой код альтернативного названия точки интереса	ALTPOINAMELC	Символьное
Категория точки интереса	POICAT	Символьное
Телефонный номер	TELNUM	Числовое
Номер факса	FAXNUM	Числовое
Адрес электронной почты	EMAIL	Символьное
Адрес в интернете	HTTP	Символьное
Значимость точки интереса	IMPORT	Числовое
Почтовый индекс	POSTIND	Числовое
Название улицы	STNAME	Символьное
Номер дома	HOUSENUM	Символьное
Сторона улицы	STSIDE	Символьное

Атрибут «Идентификатор дуги» определяет к какому дорожному элементу принадлежит точка интереса, он является внешним ключом для связи с классом «Дорожная сеть».

Атрибут «Идентификатор точки интереса» является уникальным и служит для осуществления связи слоя «Точки интереса» с подчиненными слоями «Расширенная информация о точках интереса» и «Период действия».

Атрибуты «Официальное название точки интереса» и «Альтернативное название точки интереса» определяют соответственно официальное или альтернативное название точки интереса.

Атрибуты «Языковой код официального названия точки интереса» и «Языковой код альтернативного названия точки интереса» определяют соответственно язык официального или альтернативного названия точки интереса.

Атрибут «Категория точки интереса» определяет категорию точки интереса. Согласно стандарту ISO 14825:2011 [150] выделяют следующие основные категории точек интереса, представленные в таблице 11.

Таблица 11 – Категории точек интереса

Код категории точки интереса	Название категории точки интереса
7310	Авторемонтная мастерская
7311	АЗС
7312	Прокат автомобилей
7313	Автостоянка
7314	Гостиница, отель или мотель
7315	Ресторан
7316	Туристический офис
7317	Музей
7318	Театр
7319	Культурный центр
7320	Спортивный центр
7321	Больница / поликлиника
7322	Отделение полиции
7323	Церковь
7324	Почтовое отделение
7325	Первая помощь
7326	Аптека
7327	Универмаг
7328	Банк
7329	Туристическое агентство
7330	Общественный телефон
7331	Склад
7334	Горнолыжный подъемник
7336	Зоопарк
7337	Смотровая площадка
7338	Бассейн
7339	Место поклонения
7340	Транспортная компания
7341	Казино
7342	Кинотеатр
7343	Здание суда
7344	Поле для гольфа
7345	Исторический памятник
7346	Библиотека
7347	Причал
7348	Горнолыжный курорт
7349	Винный завод
7350	Вершина горного перевала

Окончание таблицы 11

Код категории точки интереса	Название категории точки интереса
7351	Грузовой центр
7352	Паромный терминал
7355	Автомобильный грузовой терминал
7356	Зона регистрации авиакомпании
7359	Станция взвешивания
7360	Кемпинг
7361	Караванная стоянка
7362	Стоянка автобусов и грузовиков
7363	Общественный центр
7364	Таможня
7365	Посольство
7366	Пункт пересечения границы
7367	Правительственное учреждение
7368	Офис автомобильной организации
7369	Открытая парковка
7370	База отдыха
7371	Придорожное кафе
7372	Школа
7373	Торговый центр
7374	Стадион
7375	Платное расположение
7376	Туристическая достопримечательность
7377	Университет или колледж
7378	Бизнес-центр
7379	Центр города
7380	Железнодорожная станция
7383	Аэропорт
7384	Автобусная остановка
7385	Выставочный или конференц-центр
7386	Детский сад
7390	Станция экстренного вызова
7391	Скорая медицинская помощь
7392	Пожарная бригада
7394	Порт
7395	Зона отдыха
7396	Парк с аттракционами
7397	Банкомат
7398	Автосалон
7399	Боулинг центр

Представленный в таблице список категорий можно взять за основу и пополнять или видоизменять при необходимости.

Атрибуты «Телефонный номер», «Номер факса», «Адрес электронной почты» и «Адрес в интернете» определяют контакты точки интереса.

Атрибут «Значимость точки интереса» определяет уровень важности точки интереса.

Различают следующие уровни важности

- Null – не применяется,
- 1 – национальный,
- 2 – местный.

Национальный уровень относится к точкам интереса международного или национального значения в рамках всей страны. Местный уровень показывает, что точка интереса имеет значение на местном уровне (региональном или районном).

Атрибуты «Почтовый индекс», «Название улицы», «Номер дома», «Сторона улицы» определяют адрес точки интереса.

Класс «Точки интереса» имеет два подкласса: «Расширенная информация о точках интереса» и «Отношения точек интереса».

К подклассу «Расширенная информация о точках интереса» относятся детализированные данные, которые дополняют общие характеристики, присущие основному классу, описывающему точки интереса.

В таблице 12 описываются атрибуты подкласса «Расширенная информация о точках интереса».

Таблица 12 – Атрибуты подкласса «Расширенная информация о точках интереса»

Атрибут	Короткое имя	Значение
Идентификатор точки интереса	POIID	Числовое
Категория точки интереса	POICAT	Символьное
Дополнительный атрибут точки интереса	POIATR	Символьное
Значение дополнительного атрибута точки интереса	POIATRVAl	Символьное

Атрибут «Идентификатор точки интереса» является уникальным идентификатором, а также служит внешним ключом для связи со слоем «Точки интереса».

Атрибут «Категория точки интереса» при необходимости предоставления дополнительной информации по данной категории точек интереса переносится из класса «Точки интереса».

Атрибут «Дополнительный атрибут точки интереса» определяет дополнительную информацию для некоторых категорий точек интереса. Например, тип кухни для учреждений питания, тип топлива для АЗС, тип здания, тип места отдыха, подкатегория, название сети и другие атрибуты.

Подкласс «Отношения точек интереса» демонстрирует, как они связаны между друг другом. Например, магазины, которые расположены внутри торгового центра и являются его частью, или парковка, находящаяся рядом с ним и тоже принадлежащая торговому комплексу. Другой пример, к парку можно отнести кафе, находящееся на его территории. Атрибуты подкласса «Отношения точек интереса» представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Атрибуты подкласса «Отношения точек интереса»

Атрибут	Короткое имя	Значение
Идентификатор точки интереса	POID	Числовое
Идентификатор точки интереса родителя	POIPARID	Числовое
Идентификатор точки интереса наследника	POICHID	Числовое
Тип принадлежности	ACCTYP	Числовое

Атрибут «Идентификатор точки интереса» является ключевым полем и служит для связи с классом «Точки интереса»

Атрибут «Идентификатор точки интереса родителя» определяет родительскую точку интереса по отношению к точке интереса наследника.

Атрибут «Идентификатор точки интереса наследника» определяет точку интереса наследника по отношению к родительской точке интереса.

Тип принадлежности определяет логическую связь точек интереса или связь по местоположению.

2.2.5 Точечные адреса

Класс «Точечные адреса» включает в себя объекты с точечным характером локализации, расположенные внутри зданий полигонального типа. Они предназначены для детализированного определения местоположения, вплоть до конкретного номера здания, и обеспечивают возможность навигации и планирования пути до указанного адреса.

Атрибуты класса «Точечные адреса» представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Атрибуты класса «Точечные адреса»

Атрибут	Короткое имя	Значение
Идентификатор дуги	ARCID	Числовое
Идентификатор адресной точки	ADRPID	Числовое
Идентификатор названия улицы	STNAMEID	Числовое
Сторона улицы	STSIDE	Числовое
Номер дома	HNUM	Символьное
Название здания	BNAME	Символьное

Атрибут «Идентификатор дуги» определяет принадлежность точечного адреса к ближайшему дорожному элементу, служит внешним ключом для связи со слоем «Дорожная сеть».

Атрибут «Идентификатор адресной точки» определяет уникальный идентификатор адресной точки.

Атрибут «Идентификатор названия улицы» определяет название улицы, к которой принадлежит точечный адрес.

Атрибут «Сторона улицы» определяет на какой стороне улицы находится адресная точка.

Атрибут «Номер дома» вместе с названием улицы идентифицирует адрес точки вдоль указанного дорожного элемента и идентифицирует местоположение здания.

Атрибут «Название здания» определяет название здания, которому принадлежит точечный адрес.

2.2.6 Строения

Класс «Строения» включает здания площадного типа. Они предназначены для ориентирования водителя.

Атрибуты класса «Строения» представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Атрибуты класса «Строения»

Атрибут	Короткое имя	Значение
Идентификатор объекта	FEATID	Числовое
Название объекта	FEATNAME	Символьное
Языковой код названия объекта	FEATNAMELC	Символьное
Тип объекта	FEATTYPE	Символьное
Высота объекта	HEIGHT	Символьное

Атрибут «Идентификатор объекта» является уникальным идентификатором объекта.

Атрибут «Название объекта» включает название объекта при его наличии.

Атрибут «Языковой код названия объекта» определяет язык названия объекта.

Атрибут «Тип объекта» определяет тип строения

Атрибут «Высота объекта» указывает высоту строения (в метрах).

2.2.7 Административные области

Для нужд управления государством подразделяют свои территории на отдельные части по иерархическому принципу, где меньшие единицы входят в состав больших. Обычно такая структура включает до пяти уровней.

В России, например, существуют три ступени такого деления, которые урегулированы ОКАТО, где каждый уровень имеет свой иерархический код.

Объекты, относящиеся к административно-территориальному устройству, разделяются на разные категории в зависимости от уровня территориальной иерархии. Подразделение этих категорий происходит на три основных уровня, каждый из которых формируется на основе подчинения более высокому уровню. Верхняя ступень классификации охватывает объекты, имеющие федеральное значение. В

РФ к ним относятся края, республики, области, в том числе одна автономная, города федерального значения и автономные округа.

На втором уровне иерархии административно-территориального устройства страны находятся автономные округа из состава краев или областей, а также округа с особым статусом. Кроме того, районы, которые входят в состав республик, краев, областей и т. д., а также территории, имеющие аналогичный статус, включая городские округа. На этом же уровне поселки городского типа, находящиеся в ведении краевых и областных органов власти.

Третий уровень классификации включает в себя районы и округа, расположенные в пределах городов, и города, которые находятся в подчинении у районных административных структур. Кроме того, в него входят поселки городского типа, находящиеся в управлении районных властей. Также здесь учитываются различные формы сельских административных образований, включая сельсоветы, сельские округа, волости, администрации и территории, поселения и сомоны. В рамках этой группы также присутствуют сельские населённые пункты, которые могут подчиняться административным центрам области, края, города или района.

Закрытые административные образования – это населенные пункты различного статуса (города, поселки, села), находящиеся в юрисдикции центральных госорганов.

Чтобы структурировать административное деление, достаточно использовать систему из пяти категорий, где первая категория соответствует странам, а остальные четыре – уровням местного самоуправления с уменьшением статуса от второй к пятой. В каждой последующей категории указывается принадлежность к вышестоящей административной единице.

В таблице 16 представлены атрибуты классов «Административных единиц 1–5 порядка»

Таблица 16 – Атрибуты классов «Административных единиц 1–5 порядка»

Атрибут	Короткое имя	Значение
Идентификатор административной единицы	ADUNITID	Числовое
Название административной единицы	UNITNAME	Символьное
Языковой код названия административной единицы	LCUNITNAME	Символьное
Административная единица 1 порядка	ADUNITOR1	Символьное
Административная единица 2 порядка	ADUNITOR2	Символьное
Административная единица 3 порядка	ADUNITOR3	Символьное
Административная единица 4 порядка	ADUNITOR4	Символьное
Административная единица 5 порядка	ADUNITOR5	Символьное

Каждой административной единице присваивается уникальный код, который служит её идентификатором. Название административной единицы отражается в соответствующем атрибуте. Языковой код указывает, на каком языке приведено это название. Кроме того, существуют атрибуты для обозначения наименований административных единиц пяти уровней, к которым относится данная единица, и которые представлены в этом же классе объектов.

2.2.8 Дорожные указатели

Этот класс включает в себя информационные знаки, которые обозначают указатели для въезда и съезда с автотрасс, а также предоставляют сведения о правилах проезда дорожных развязок.

Атрибуты этого класса представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Атрибуты класса «Дорожные указатели»

Атрибут	Название поля	Формат
Идентификатор дорожного указателя	SIGNID	Числовое
Идентификатор дуги	EDGEID	Числовое
Идентификатор дуги назначения	DSTEDGEID	Числовое
Порядковый номер	SEQNUM	Числовое
Номер дороги	ROUTENUM	Символьное
Название на указателе	NAMEINDEX	Символьное
Текстовое содержание дорожного знака	TXTCONT	Символьное
Языковой код текстового содержания знака	LCTXTCONT	Символьное

Атрибут «Идентификатор дорожного указателя» определяет уникальный идентификатор дорожного указателя.

Атрибут «Идентификатор дуги» определяет дорожный элемент, к которому относится знак, является внешним ключом для связи со слоем «Дорожная сеть».

Атрибут «Идентификатор дуги назначения» определяет дорожный элемент, на котором продолжается (заканчивается) действие знака.

Атрибут «Порядковый номер» отображает порядковую позицию элемента на дороге, когда водитель следует указаниям дорожного знака.

Атрибут «Номер дороги» указывает номер дороги, отображаемый на знаке.

Атрибут «Название на указателе» фиксирует название улицы или населенного пункта, приведенное на указателе.

Атрибут «Текстовое содержание дорожного знака» содержит текст, размещенный непосредственно на дорожном знаке.

Атрибут «Языковой код текстового содержания знака» определяет языковой код текста на знаке.

2.2.9 Железные дороги

Класс «Железные дороги» представляет собой дороги с рельсовыми путями, предназначенные для передвижения железнодорожного подвижного состава.

Железные дороги похожи на дороги тем, что их составные элементы вместе образуют сеть. Сеть железных дорог состоит из нескольких железнодорожных элементов, соединенных посредством узлов железнодорожных элементов.

Железнодорожный элемент является самой маленькой независимой частью железнодорожной сети и ограничен двумя узлами железнодорожного элемента.

Железнодорожный узел – место, где встречаются три или более железнодорожных элемента, или где заканчивается железнодорожный элемент.

В таблице 18 представлены атрибуты класса «Железные дороги».

Таблица 18 – Атрибуты класса «Железные дороги»

Атрибут	Короткое имя	Значение
Идентификатор дуги	ARCID	Числовое
Название железной дороги	RAILRNAME	Символьное
Языковой код названия железной дороги	RAILRLC	Символьное
Идентификатор начального узла дуги	STNODEID	Числовое
Идентификатор конечного узла дуги	ENDNODEID	Числовое
Уровень начального узла дуги	STLEVEL	Числовое
Уровень конечного узла дуги	ENDLEVEL	Числовое
Мост	BRIDGE	Символьное
Туннель	TUNNEL	Символьное

Атрибут «Идентификатор дуги» представляет собой уникальный идентификатор элемента железной дороги в базе данных.

Атрибут «Название железной дороги» определяет официальное название железной дороги.

Атрибут «Языковой код названия железной дороги» определяет язык официального названия железной дороги.

Атрибуты «Идентификатор начального узла дуги» и «Идентификатор конечного узла дуги» служат для контроля связности графа и направления его цифрования.

Атрибуты «Уровень начального узла дуги» и «Уровень конечного узла дуги» определяют их относительное вертикальное положение относительно «0» – по умолчанию (уровень земли). Атрибут принимает значение от –5 до 5. Он обычно имеет значение, отличное от «0» на пересечениях железной дороги на разных уровнях с обычными дорогами, а также на мостах и в туннелях.

Атрибуты «Мост» и «Туннель» определяют наличие или отсутствие на элементе железной дороги сооружений типа мост или туннель соответственно. Атрибут принимает значение «Y» или «N».

2.2.10 Гидрография

Гидрография представляется классами объектов с площадной и линейной гидрографией. Это океаны, моря, заливы, гавани, реки, каналы, озера, водохрани-

лица и другие объекты. Эти классы используются для ориентирования и визуализации карты. В таблице 19 представлены атрибуты классов площадной и линейной гидрографии.

Таблица 19 – Атрибуты класса «Гидрография»

Атрибут	Короткое имя	Значение
Идентификатор объекта	FEATID	Числовое
Название объекта	FEATNAME	Символьное
Языковой код названия объекта	FEATNAMELC	Символьное
Тип объекта	FEATTYP	Символьное
Подтип объекта	FEATSUBTYP	Символьное

Атрибут «Идентификатор объекта» является уникальным идентификатором объекта.

Атрибут «Название объекта» включает название объекта гидрографии при его наличии.

Атрибут «Языковой код названия объекта» определяет язык названия объекта.

Атрибут «Тип объекта» определяет тип объекта гидрографии. Выделяют следующие основные типы объектов гидрографии: океан, море, озеро, водохранилище, река, канал, залив, пруд, береговая линия морей, океанов и т. д.

Атрибут «Подтип объекта» определяет, при необходимости, дальнейшее подразделение типа объекта на подтипы.

2.2.11 Объекты землепользования и растительного покрова

Класс «Объекты землепользования и растительного покрова» служит для ориентирования водителя при движении.

В него входят территории объектов промышленного, сельскохозяйственного и социально–культурного назначения, а также растительного покрова.

В таблице 20 представлены атрибуты класса «Объекты землепользования и растительного покрова».

Таблица 20 – Атрибуты класса «Объекты землепользования и растительного покрова»

Атрибут	Короткое имя	Значение
Идентификатор объекта	FEATID	Числовое
Идентификатор дуги	EDGEID	Числовое
Название объекта	FEATNAME	Символьное
Языковой код названия объекта	FEATNAMELC	Символьное
Тип объекта	FEATTYP	Символьное
Подтип объекта	FEATSUBTYP	Символьное
Назначение объекта	FEATUSE	Символьное

Атрибут «Идентификатор объекта» является уникальным идентификатором объекта.

Атрибут «Название объекта» включает название объекта класса «Объекты землепользования и растительного покрова».

Атрибут «Языковой код названия объекта» определяет язык названия объекта.

Атрибут «Тип объекта» определяет тип промышленного, сельскохозяйственного, социально-культурного объекта или объекта растительности (лес, кустарник и т.п.). Перечень объектов включает в себя разнообразные категории. К ним относятся производственные комплексы и аграрные участки, места хранения товаров, станции для заправки автомобилей, системы связи и инфраструктуры, морские порты и аэропорты. Также сюда входят объекты культурного значения, места захоронения, монументы, учреждения, отвечающие за социальные и культурные потребности общества, площадки для торговли, спортивные комплексы, здания различного назначения и прочее. К объектам растительного покрова относят следующие основные типы объектов: древесная, кустарниковая, полукустарниковая, травянистая, моховая и лишайниковая растительность, искусственные насаждения (сады, парки, плантации), а также грунты и болота. Многие объекты этого слоя имеют иерархическую структуру и подразделяются на подтипы.

Атрибут «Подтип объекта» определяет, при необходимости, дальнейшее подразделение типа объекта на подтипы.

Многие объекты этого класса имеют иерархическую структуру и подразделяются на подтипы. Атрибут «Подтип объекта» определяет, при необходимости, дальнейшее подразделение типа объекта на подтипы. Например, сооружения культа подразделяются на монастыри, церкви, храмы, костелы, кирхи, мечети, пагоды, часовни. Леса могут быть хвойные, лиственные или смешанные, густые или редкие.

Атрибут «Назначение объекта» может показывать специализацию объекта или какие-то его особенности. Например, деревообрабатывающее предприятие, мебельная фабрика, судоремонтный завод.

2.2.12 Матрица рельефа

Класс «Матрица рельефа» используется для более точного построения маршрутов за счет учета рельефа местности. Она представляет собой трехмерную растровую модель местности. Имеет регулярную структуру и содержит элементы, значениями которых являются высоты рельефа местности. Ее использование играет важную роль в оптимизации маршрутов. Матрица рельефа позволяет определять уклоны дорог, что важно для оценки сложности маршрута, особенно для грузового или специализированного транспорта. Разные виды транспорта могут иметь разные требования к рельефу. Матрица рельефа позволяет адаптировать маршруты под конкретные типы транспортных средств. В случае чрезвычайной ситуации (например, наводнения или обрушения дороги) информация о рельефе может помочь определить безопасные маршруты для эвакуации.

В таблице 21 представлены атрибуты класса «Матрица рельефа».

Таблица 21 – Атрибуты класса «Матрица рельефа»

Атрибут	Короткое имя	Значение
Масштаб матрицы	SCALE	Числовое
Размер матрицы	SIZE	Числовое
Точность матрицы	STEP	Числовое

Атрибут «Масштаб матрицы» служит для согласованного отображения матрицы со слоями из базы данных.

Атрибут «Размер матрицы» определяет ширину и высоту матрицы в метрах.

Атрибут «Точность матрицы» определяет размер в метрах стороны квадратного участка местности, соответствующего элементу матрицы.

2.2.13 Навигационно-значимые объекты

Класс «Навигационно-значимые объекты» используется при применении метода нечетких топологических отношений. Для объектов данного класса устанавливаются новый тип топологических отношений с графом дорожной сети, позволяющий решать навигационные задачи в условиях нечеткости и неопределенности.

Кроме того, объекты этого класса служат для ориентирования водителей в движении с помощью естественных подсказок на основе реальных объектов местности, а не расстояний в метрах как в стандартной навигации. Этот класс предназначен для однозначного и оперативного ориентирования водителя на местности. Выбор навигационно-значимых объектов зависит от поставленной задачи, а также факторов и условий окружающей обстановки. В качестве навигационно-значимых выбираются выделяющиеся, легко опознаваемые и заметные издалека объекты (по высоте, по конфигурации и другим параметрам). Эти объекты выбираются из других классов. При их выборе также могут учитываться такие факторы как время года, время суток, погодные условия, видимость и ряд других факторов. В таблице 22 представлены атрибуты класса «Навигационно-значимые объекты».

Таблица 22 – Атрибуты класса «Навигационные-значимые объекты»

Атрибут	Короткое имя	Значение
Идентификатор объекта	FEATID	Числовое
Идентификатор дуги	EDGEID	Числовое
Название объекта	FEATNAME	Символьное
Языковой код названия объекта	FEATNAMELC	Символьное
Тип объекта	FEATTYP	Символьное
Подтип объекта	FEATSUBTYP	Символьное
Назначение объекта	FEATUSE	Символьное
Пространственные отношения расстояний	SPRELDIS	Символьное
Пространственные отношения взаимного расположения	SPRELMUTAR	Символьное
Пространственные отношения направлений	SPRELDIR	Символьное
Пространственные отношения геометрического положения	SPRELGEOMAR	Символьное

Атрибут «Идентификатор объекта» является уникальным идентификатором.

Атрибут «Идентификатор дуги» определяет принадлежность навигационно-значимого объекта к ближайшему дорожному элементу, служит внешним ключом для связи с классом «Дорожная сеть».

Атрибут «Название объекта» включает название объекта.

Атрибут «Языковой код названия объекта» определяет язык названия.

Атрибут «Тип объекта» определяет тип навигационно-значимого объекта, например, вышка сотовой связи, церковь, памятник, озеро и др.

Объекты этого класса могут иметь иерархическую структуру и подразделяться на подтипы. Атрибут «Подтип объекта» определяет, при необходимости, дальнейшее подразделение типа объекта на подтипы. Например, сооружения культа подразделяются на монастыри, церкви, храмы, костелы, мечети и др.

Атрибуты пространственных отношений расстояний, направлений, взаимного расположения и геометрического положения рассмотрены в разделе 2.4

2.2.14 Метаданные

Требования к составу метаданных на географическую информацию устанавливаются стандартами ISO 19115-2003 [149] и разработанным на его основе ГОСТ Р 57668-2017 [24]. Данные стандарты определяют следующие основные разделы метаинформации:

- идентификационная и описательная информация,
- информация о качестве,
- информация о жизненном цикле данных (обновлении),
- пространственное представление информации,
- информация о координатной основе.

Поскольку назначение метаданных – информирование потребителей о наличии, качестве и доступности пространственных данных, то основная их часть формируется непосредственно при создании пользовательских моделей и наборов данных. В НБД хранению подлежат те метаданные о пространственных объектах, которые позволяют осуществлять их поиск, идентификацию, оценку качества и не изменяются до момента выдачи информации потребителю.

2.3 Разработка концептуальной модели навигационной базы данных

Для того, чтобы увидеть полную картину данных, определить структуру, содержание, взаимосвязи между объектами НБД в ходе диссертационных исследований была разработана ее концептуальная модель, представленная на рисунке 28.

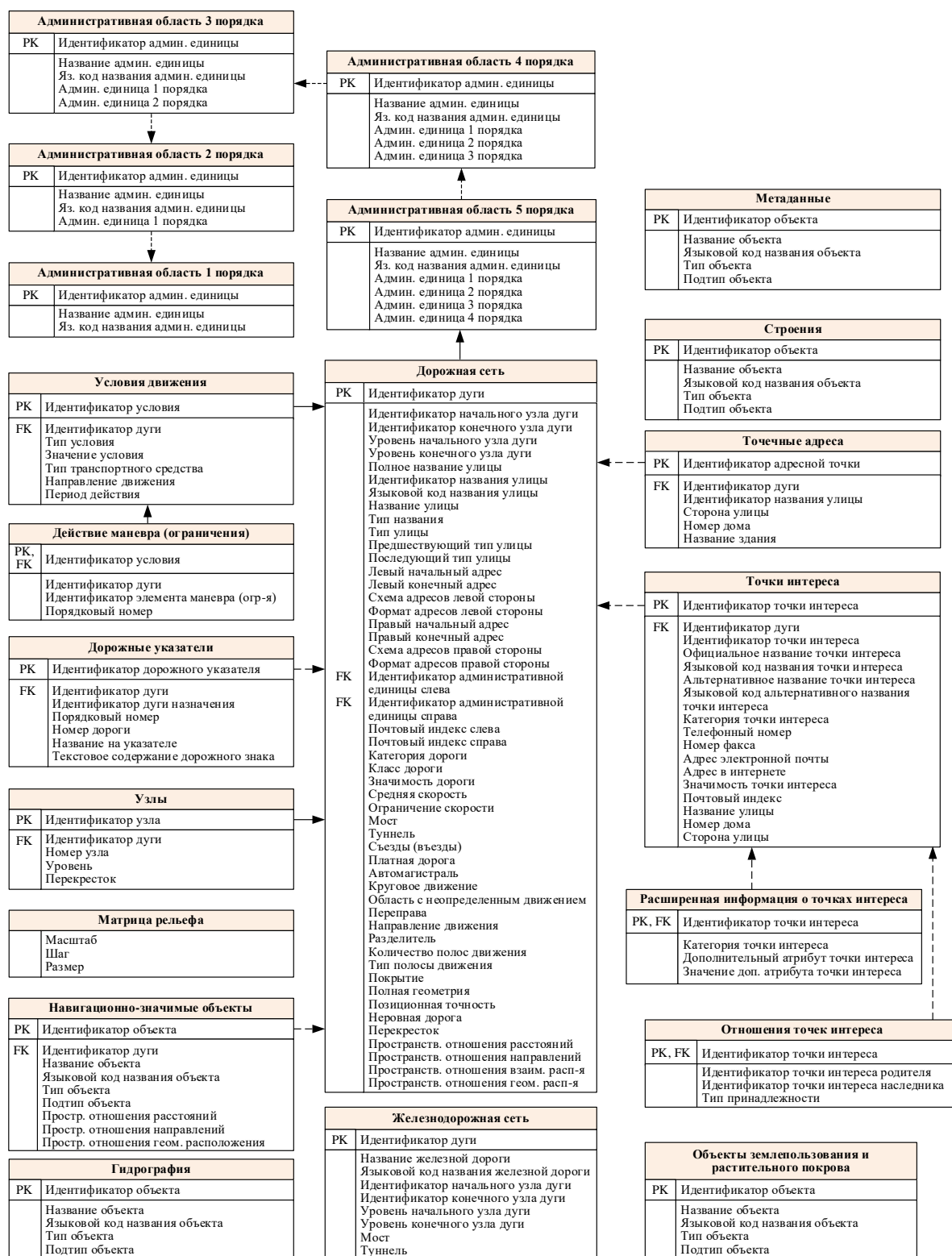


Рисунок 28 – Концептуальная модель навигационной базы геоданных

Проектирование концептуальной модели данных осуществлялось на основе анализа предметной области и выполнялось на естественном языке.

При проектировании концептуальной модели данных:

- определены объекты, описывающие локальную предметную область;
- определены атрибуты, составляющие структуру каждого объекта;
- выделены ключевые атрибуты;
- определена спецификация связей между объектами;
- проанализированы и добавлены не ключевые атрибуты;
- выполнено описание локальных представлений.

Концептуальная модель способствует оценке целостности базы данных, пониманию объема содержащейся в ней информации и избавлению от повторов данных. Центральное место в схеме занимает класс «Дорожная сеть», который через уникальный атрибут «Идентификатор дуги» связан с другими классами объектов, которые регламентируют условия движения, содержат информацию о точках интереса, дорожных знаках, адресах и ориентирах для навигации, что позволяет проложить маршрут до нужного места.

Класс административных областей позволяет установить, к какому административному сегменту относится каждая дуга дорожного графа.

Ориентирными для водителей на местности являются классы гидрографии, объектов землепользования и растительного покрова, железные дороги и строения.

Отдельно выделяется класс навигационно-значимых объектов, выбор которых зависит от поставленных навигационных задач и требований пользователей.

2.4 Разработка метода представления топологических отношений на основе нечеткой логики для навигационно-значимых объектов навигационной базы данных

С развитием объектно-ориентированных подходов в представлении геоданных, а также с постепенным переходом ГИС к интеллектуальным системам и фор-

мированию баз знаний, становятся более строгими критерии качества картографической и навигационной информации. Топологические взаимоотношения между различными объектами приобретают ключевое значение для улучшения данных в геоинформационных системах, позволяя проводить точную и объективную оценку и анализ информации. В существующих в настоящее время НБД, потенциал использования межобъектных топологических отношений недостаточно оценен, имеются возможности для дальнейшего их развития и совершенствования. В ходе диссертационных исследований были разработаны методические решения по включению новых типов межобъектных топологических отношений, ранее не использовавшихся в НБД.

Согласно [23] топологические отношения пространственных объектов – это свойства пространственных объектов, не нарушающиеся при взаимно-однозначных и взаимно-непрерывных преобразованиях. Ключевыми отношениями, используемыми в векторной топологической модели пространственных данных и в операциях пространственного анализа являются совпадение, связность, вложенность, соседство, пересечение и т.п. В рамках топологических связей различают пространственные и логические элементы.

В современных условиях при разработке электронных топографических и государственных навигационных карт, получаемых из ЭТК, при необходимости могут применяться специальные пространственно-логические связи. Эти связи организуют взаимодействие между объектами НБД.

Метрические связи описывают взаимное расположение объектов, которые соприкасаются или непосредственно взаимодействуют друг с другом путем сопряжения, перекрытия, смежности и т. п.

Логические связи применяются там, где объекты не взаимодействуют на физическом уровне, но связаны смыслом или функционально. Это могут быть, например, ссылки, объединяющие различные элементы или части одного большого элемента, а также связывающие объекты и их подписи.

Рассмотрим подробнее варианты реализации пространственно-логических связей, применяемых согласно правилам цифрового описания картографической информации цифровых и электронных карт [87].

Для связи типа «совмещение» характерно совпадение метрики объектов на общих участках, а в случае пересечения объекты должны иметь общую точку. Реализуется связь метрически. В случае пересечения может использоваться характеристика 298, которая является указателем на ссылаемый объект.

Связь типа «принадлежность» применяется для логически связанных объектов с помощью характеристики 205, являющейся указателем на объект, входящий в комплексный объект. Также она применяется для объектов, имеющих подпись. В этом случае используется характеристика 218, являющаяся взаимной ссылкой объекта и его подписи. Кроме того, эта связь применяется для объектов, внутренний и внешний контура которых должны быть связаны логически, для чего применяется характеристика 91, указывающая на эту взаимосвязь.

Связь типа «наложение» применяется для объектов, находящихся внутри других объектов, реализуется метрически.

Связь типа «примыкание» применяется для объектов, имеющих общие точки в месте примыкания, реализуется с помощью характеристики 298.

Связь типа «продолжение на смежном листе» применяется для объектов, расположенных на соседних листах карты и имеющих общие точки на рамке листа. Реализуется метрически и с помощью характеристики 271, указывающей на продолжение объекта на смежном листе.

Создание пространственно-логических связей обычно осуществляется на основе редакционных указаний. В большинстве случаев для экономии ресурсов такие связи не формируются. Взаимное и согласованное расположение объектов на картах осуществляется за счет их метрической составляющей.

Требования к созданию пространственно-логических связей, особенно их логической части, главным образом применяются для элементов в пределах одного слоя ЭТК и подписей объектов. Взаимосвязи между элементами, расположенными на различных уровнях, обычно учитываются в меньшей степени.

В НБД коммерческих производителей структура графа, представляющего дорожную сеть, обладает расширенными возможностями. Каждая связь графа кроме основных характеристик дорожной сети и информации об условиях движения, также включает сведения о различных объектах на маршруте, через которые она проходит, адресную информацию и информацию о точках интереса.

Но связи с объектами вне графа дорожной сети, а также этих объектов между собой также недостаточно представлены, что снижает эффективность анализа окружающей обстановки и помощи водителю при принятии решений.

Современные цифровые навигационные карты и базы данных строятся на использовании метрических пространственных отношений. Для улучшения их качества и обеспечения более полной информацией, необходимой для анализа местности и поддержки принятия решений в интеллектуальных картографических системах, в них нужно включать пространственную логику, в том числе на основе нечетких множеств.

Для решения этого вопроса в ходе диссертационных исследований был разработан метод представления топологических отношений на основе нечеткой логики для навигационно-значимых объектов, схема функционирования которого представлена на рисунке 29.



Рисунок 29 – Метод представления топологических отношений на основе нечеткой логики для навигационно-значимых объектов

В основе метода лежит идея использования нечетких множеств и нечетких операторов для описания пространственных отношений между объектами. Нечеткие множества сохраняют пропорции расстояний и направлений объектов, но не дают их точные значения. Нечеткая логика позволяет учесть неопределенность и нечеткость в отношениях между объектами, что обычно не удастся сделать с помощью классической логики.

Рассмотрим, как функционирует метод представления топологических отношений на основе нечеткой логики.

Нечеткие пространственные характеристики, являющиеся исходными данными для работы алгоритма, входят в качестве атрибутов в класс дорожной сети и навигационно-значимых объектов. Список характеристик может пополняться в зависимости от решаемых навигационных задач.

Рассмотрим подробнее вопрос выбора пространственных характеристик на основе нечеткой логики. В данной диссертационной работе рассматриваются четыре таких характеристики: логика расстояний, логика направлений, логика взаимного расположения и логика геометрической ориентации. Каждая из них состоит из метрической и топологической составляющей (рисунок 30) [46, 117].

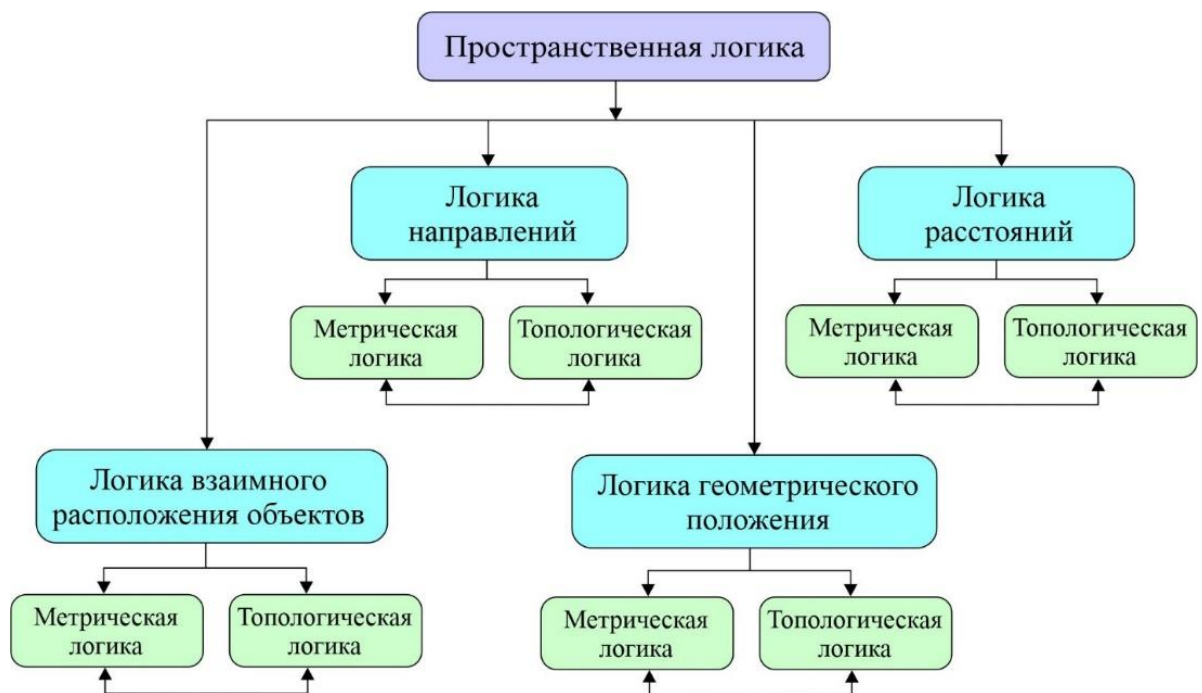


Рисунок 30 – Пространственные отношения

Метрическая пространственная логика определяется системой координат, в которой представляется информация из НБД. Измерения ведутся от начала данной системы координат (используется абсолютная система отсчета). Зная расстояние и направление от выбранной точки до начала системы координат, определяются ее положение (координаты) в данной системе отсчета.

Топологическая пространственная логика представляется порядковыми шкалами, соответствующими определенным лингвистическим переменным. Значения лингвистических переменных описывают на естественной шкале метрического типа некоторые нечеткие подмножества. Их вид зависит от семантики, вкладываемой в содержание лингвистической переменной.

Происхождение лингвистических шкал тесно связано с наличием в естественном языке размытых квантификаторов, например, «далеко, близко, слева, справа» и т.д. В связи с появлением теории нечетких множеств [135] для определения пространственных величин, соответствующих размытой шкале, будем использовать функции принадлежности пространственному множеству. Такие функции можно охарактеризовать как характеристические функции для размытых пространственных множеств. Размытое пространственное множество G обладает такой особенностью по сравнению с классическими (метрическими) пространственными множествами, используемыми в традиционной картографии, что о любом элементе g этого множества функция принадлежности дает не двужначный ответ ($g \in G$ или $g \notin G$), а многозначный ($g \in G, g \in G$ со степенью принадлежности $0 \leq \mu \leq 1, g \notin G$).

Пусть $\mu_G(g)$ – функция принадлежности множества G . Если $\mu_G(g) = 0$, то элемент не принадлежит множеству G , а если $\mu_G(g) = 1$, то однозначно принадлежит этому множеству. Промежуточные значения $\mu_G(g)$ показывают степень принадлежности элемента к нечеткому множеству.

Тогда размытое множество G можно представить совокупностью пар вида $(g, \mu_G(g))$. В теории нечетких множеств часто используют такую запись:

$$B = \sum_{i=1}^n \frac{g_i}{\mu_G(g_i)}, \quad (1)$$

где g_i – i -е значение базовой шкалы.

Рассмотрим особенности лингвистического шкалирования пространственной информации.

Для операций с нечеткими знаниями, выраженными при помощи лингвистических переменных, существует много различных способов. Эти способы являются в основном эвристическими. Например, определение операции ИЛИ:

логика Заде:

$$\mu(g) = \max(\mu_1(g), \mu_2(g)); \quad (2)$$

вероятностный подход:

$$\mu(g) = \mu_1(g) + \mu_2(g) - \mu_1(g) * \mu_2(g). \quad (3)$$

Усиление или ослабление лингвистических понятий достигается введением специальных квантификаторов, которые находятся между существующими:

$$B = \sum_{i=1}^n \frac{g_i}{\mu_G(g_i)^2}. \quad (4)$$

Множество метрических и порядковых шкал, включая размытые шкалы, не в полной мере отвечают процессу анализа и оценки местности. Исследования показали, что наибольшую эффективность для упорядочения объектов, расположенных на местности, представляют оппозиционные шкалы. Исследования, проведенные в [46] показали, что человеческое восприятие упорядочивает мир не как случайное множество событий, а как структурированное целое благодаря использованию оппозиционных категорий. В основе понимания мира лежит бинарность, которая представляется как взаимное противопоставление двух элементов, их качеств или

явлений. Такие пары антонимов формируют оппозиционные шкалы, помогающие человеку строить логические связи (*вплотную – очень далеко, впереди – сзади и т.д.*).

С помощью таких шкал можно отображать данные об окружающей обстановке и местоположении человека на местности. Например, для оценки расстояния между объектами подойдут выражения: «близко, не далеко, очень далеко и т. п.». Направления можно оценивать шкалами типа «справа, впереди, сзади-справа и т. п.», которые помогают сориентироваться. А для описания взаимного расположения объектов подходят формулировки: «пересекается, соприкасается и т. п.».

При замене абсолютной шкалы измерений на шкалу с нечеткими значениями, которая задается на отрезке от 0 до 1, важно учитывать, что соотношение величин остается неизменным. Это означает, что каждому числу на нечеткой шкале соответствует определенное значение в зависимости от пространственной ситуации. Т. е., численным показателям приписывается определенный смысл, который установлен в рамках данного пространственного массива данных. Это позволяет интерпретировать количественные характеристики как относительные значения в системе абсолютных показателей.

Выбор интервала измерения играет ключевую роль в трактовке пространственной близости объектов. К примеру, если установить интервал величиной в десять километров, то один километр будет восприниматься как небольшое расстояние. В то же время, при заданном интервале в полтора километра, та же дистанция окажется значительной. Таким образом, понятия «близко» и «далеко» относительны и зависят от выбранного интервала измерений (рисунок 31). Т.е. в зависимости от условий задачи и выбранного интервала объект может как попасть в выборку, так и быть исключенным из нее. Это важно для получения топологических описаний на основе имеющейся метрики объектов.

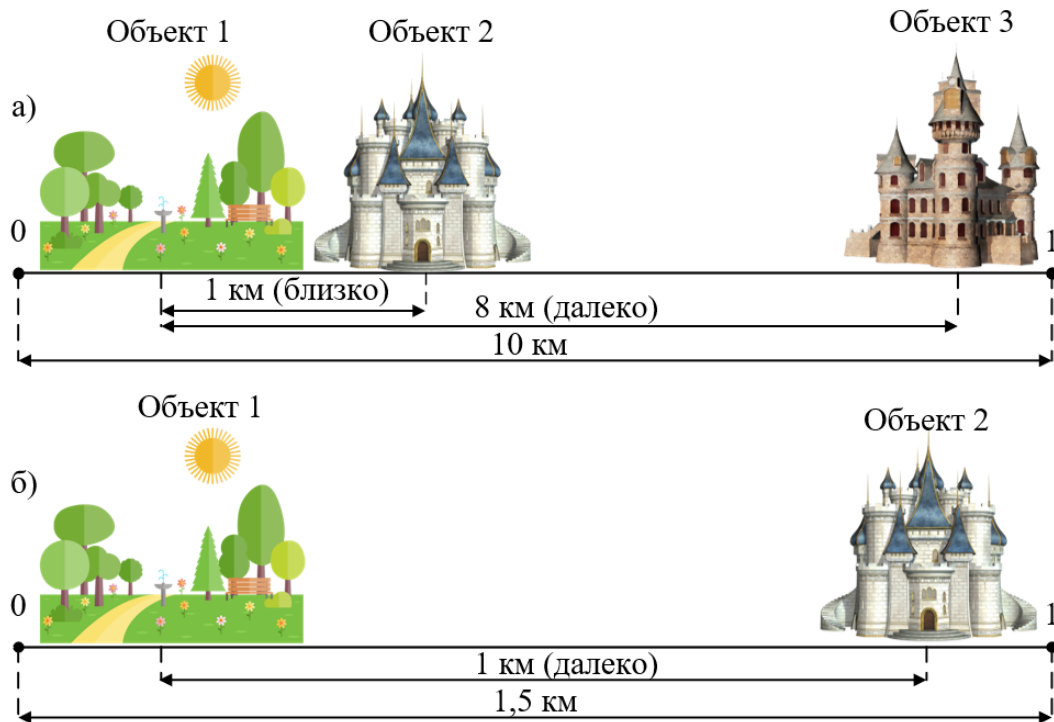


Рисунок 31 – Пространственные отношения расстояний

Новые подходы, включающие использование нечетких пространственных отношений между объектами базы данных, позволяют повысить качество решения задач автомобильной навигации. В зависимости от назначения поездки, будь то отдых, бизнес или транспортировка грузов, система навигации предложит водителю разные опции. Кроме того, она будет учитывать объекты не только вдоль дороги, но и все объекты в заданной области поиска. Например, система может уведомлять о близости к комплексным точкам интереса, включающим гостиницы, кафе и магазины в пределах установленной зоны. Если водитель захочет посетить такое место, система проложит к нему маршрут.

В таблице 23 представлены топологические отношения между объектами НБД на основе нечеткой логики, включающие пространственные отношений расстояний, направлений, взаимного расположения и геометрического положения объектов на местности [117].

Таблица 23 – Топологические отношения на основе нечеткой логики

Топологические пространственные отношения на основе размытых систем отсчета	Код значения	Значение
Пространственные отношения расстояний	1	Вплотную
	2	Близко
	3	Недалеко
	4	Не далеко и не близко
	5	Не близко
	6	Далеко
	7	Очень далеко
Пространственные отношения взаимного расположения	1	Смежность
	2	Соседство
	3	Эквидистантное соседство
	4	Вложенность
	5	Наложение
	6	Пересечение
	7	Примыкание
	8	Сопряжение
	9	Совмещение
Пространственные отношения геометрического положения	1	Вдоль
	2	Наискосок
	3	Поперек
	4	Посреди
	5	Впереди
	6	Сзади
	7	Слева
	8	Справа
Пространственные отношения направлений	1	Север
	2	Северо-восток
	3	Восток
	4	Юго-восток
	5	Юг
	6	Юго-запад
	7	Запад
	8	Северо-запад

Каждый тип отношений представлен в виде характеристики объекта с определенным набором значений. В зависимости от условий решаемой задачи для одного и того же объекта эти атрибуты могут принимать различные значения.

Пространственные отношения взаимного расположения объектов описывают взаимное пространственное расположение пар объектов $(a_i, a_j) \in A$, где A – множество объектов НБД. Рассмотрим подробнее их типы [117].

Совмещение. Между парой объектов имеет место отношение совмещения, если координатное описание одного объекта совпадает с координатным описанием другого (характерно для площадных объектов).

Между парой объектов имеет место отношение совмещения, если подмножества a_1 , и a_2 , описывающие эти объекты совпадают.

$$(a_1, a_2) \in R_1 = \{(a_1, a_2): a_1 \in A, a_2 \in A, a_1 = a_2\}. \quad (5)$$

Вложение. Между парой объектов имеет место отношение вложения, если в пределах контура одного площадного объекта (называемого основным) содержится контур другого площадного (отличного по типу от основного) или любого линейного или точечного объекта (называемого вложенным). При этом вложенный объект пространственно исключает основной объект.

$$(a_1, a_2) \in R_2 = \{(a_1, a_2): a_1 \in A, a_2 \in A, a_1 \subset a_2\}. \quad (6)$$

Примыкание. Между парой объектов имеет место отношение примыкания, если хотя бы один из них линейный и его начальная или конечная точка совпадает с другим объектом (включает как частный случай отношение сопряжения).

$$(a_1, a_2) \in R_3 = \{(a_1, a_2): a_1 \in A, a_2 \in A, a_2(t), t \in [0,1], a_2(0) \in \text{fra}_1 \vee a_2(1) \in \text{fra}_1, a_1 \cap a_2 - \text{конечно}\}. \quad (7)$$

Смежность. Отношение смежности характеризует такие два разнотипных объекта, которые не имеют общих точек кроме граничных.

$$(a_1, a_2) \in R_4 = R_4^1 \setminus R_3; R_4^1 = \{(a_1, a_2): a_1 \in A, a_2 \in A, \text{fra}_1 \cap \text{fra}_2 = a_1 \cap a_2 \neq 0\}. \quad (8)$$

Пересечение. Отношение пересечения характерно для линейных и площадных объектов.

$$(a_1, a_2) \in R_5 = R_5^1 \setminus R_3 \cup R_4; R_5^1 = \{(a_1, a_2): a_1 \in A, a_2 \in A, a_1 \cap a_2 \neq \emptyset, a_1 \cap a_2 \neq a_1, a_1 \cap a_2 \neq a_2\}. \quad (9)$$

Соседство. Отношение соседства относится к слабо формализуемым. Будем считать, что если расстояние между парой объектов меньше заданного, то между этими объектами существует отношение соседства.

$$(a_1, a_2) \in R_6 = \{(a_1, a_2): a_1 \in A, a_2 \in A, a_1 \cap a_2 = \emptyset, 0 < L_{1,2} < \eta\} \quad (10)$$

где $L_{1,2} = \inf \{r(a_1, a_2)\}$ – кратчайшее расстояние между объектами a_1, a_2 ;
 η - ценз соседства.

Эквидистантное соседство. Это отношение характерно для пар площадных и линейных объектов. Между парой объектов имеет место отношение эквидистантного соседства, если расстояние между контурами двух соседних объектов (или участками контуров) постоянно.

$$(a_1, a_2) \in R_7 = \{(a_1, a_2): a_1 \in A, a_2 \in A, a_1 \cap a_2 = \emptyset, S_{1,2} = const\}, \quad (11)$$

где $S_{1,2}$ – расстояние между объектами a_1, a_2 или между участками контуров этих объектов.

Сопряжение. Между парой линейных объектов имеет место отношение сопряжения, если конечная (начальная) точка одного объекта совпадает с начальной (конечной) точкой другого.

$$(a_1, a_2) \in R_8 = \{(a_1, a_2): a_1 \in A, a_2 \in A, a_1(t), t \in [0,1], a_2(t), t \in [0,1], a_2(1) \in fra_1 \vee a_2(1) \in fra_1, a_1 \cap a_2 \text{ – конечно}\}. \quad (12)$$

Наложение. Если контур одного объекта целиком принадлежит контуру другого и при этом вложенный объект не совпадает с основным и пространственно не исключает основной, то имеет место отношение наложения объектов.

$$(a_1, a_2) \in R_9 = \{(a_1, a_2): a_1 \in A, a_2 \in A, a_1 \subseteq a_2\}. \quad (13)$$

Топологические связи, разработанные на базе нечеткой логики, могут быть использованы не только в навигационных базах данных, но и в других системах, использующих в работе пространственные данные. Внедрение данных подходов способствует повышению качества геопро пространственных данных, т. к. дает возможность более полной оценки взаимосвязей и характера отношений между объектами.

После определения нечетких пространственных характеристик, задания области поиска и навигационно-значимых объектов происходит выполнение алгоритма нечеткой логики. Рассмотрим подробнее порядок работы алгоритма, первым этапом которого является операция фаззификации. В ходе ее выполнения точные значения входных переменных преобразуются в нечеткие значения лингвистических переменных при помощи определенных функций принадлежности. На границах нечеткого интервала используются Z и S -образные функции, отображающие минимальные и максимальные значения нечеткой характеристики.

Z - функция:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}, & a < x < b \\ 0, & b \leq x \end{cases} \quad (14)$$

S - функция:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & b \leq x \end{cases} \quad (15)$$

Треугольная функция используется для отображения остальных значений характеристики:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & a \leq x \leq b \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (16)$$

Графики функций принадлежности нечетких пространственных характеристик представлены на рисунке 32.

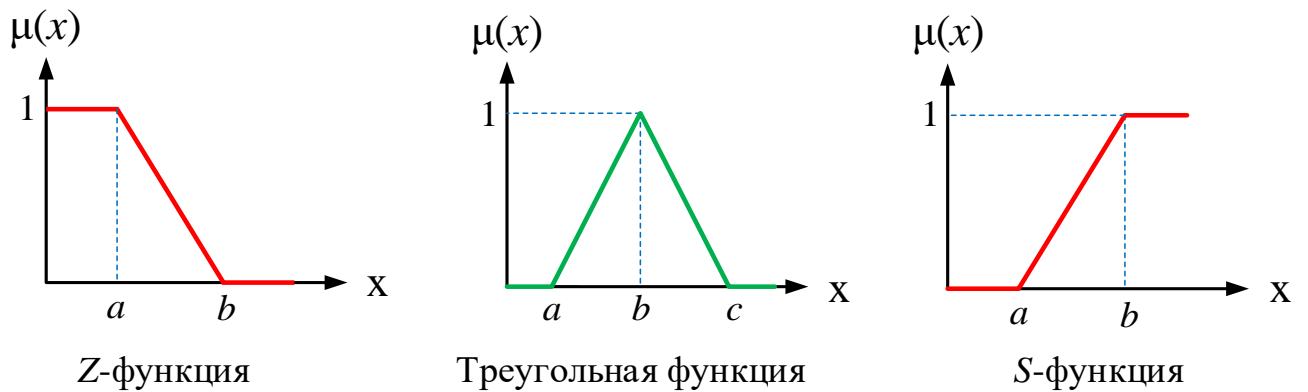


Рисунок 32 – Графики функций принадлежности нечетких пространственных характеристик

Данные функции принадлежности непосредственно связаны со значениями нечетких характеристик. На рисунке 33 представлен пример выполнения операции фаззификации на основе характеристики «пространственные отношения расстояний» для двух заданных областей поиска.

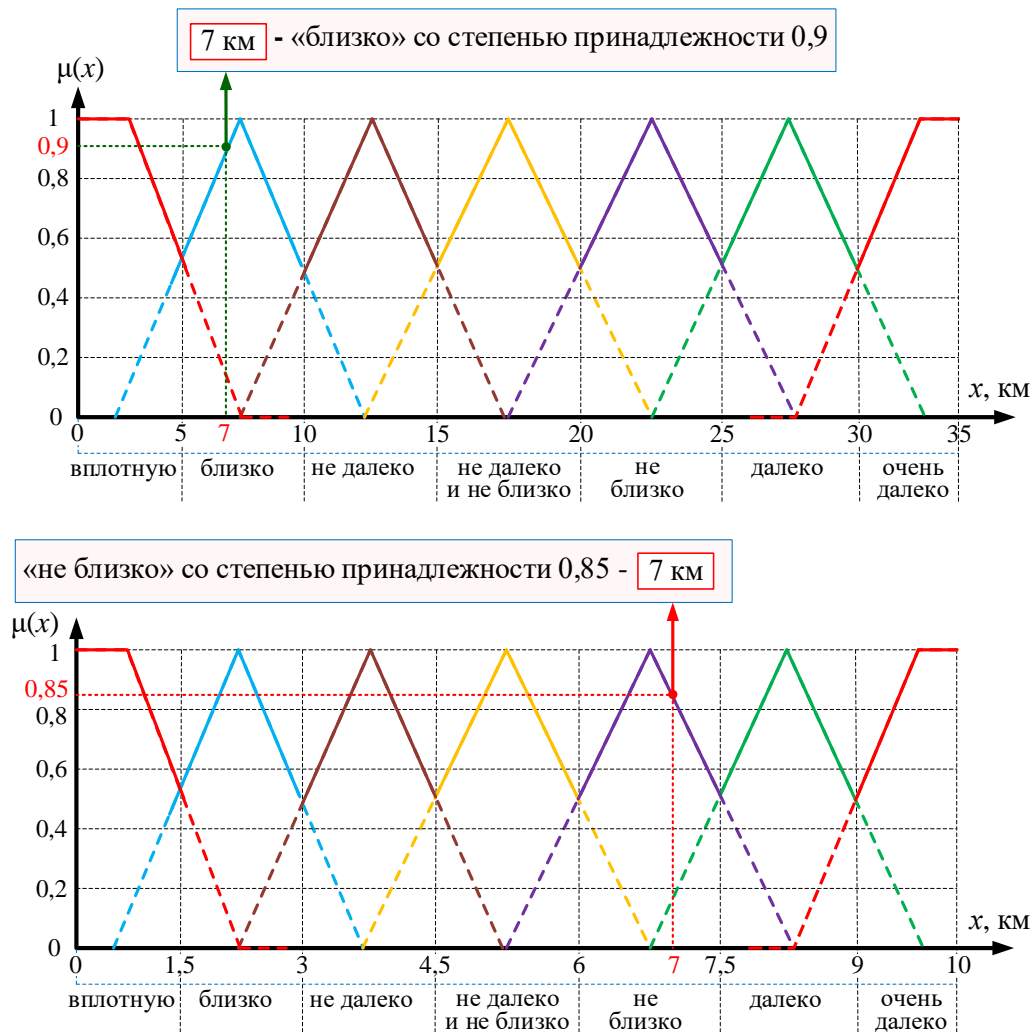


Рисунок 33 – Пример выполнения операции фаззификации на основе характеристики «пространственные отношения расстояний»

В качестве исходных данных условно определены навигационно-значимый объект, расположенный в 7 км от дороги, и нечеткая характеристика «пространственные отношения расстояний», значения которой необходимо получить. Заданы две области поиска в 35 и 10 км. В результате операции фаззификации четкому входному значению 7 км присваиваются два нечетких значения «близко» и «не близко», полученные с определенной степенью принадлежности в соответствии с заданной областью поиска. В зависимости от заданной области поиска характеристика может принять любое из значений, определенных для нее в каталоге.

Операция нечеткого логического вывода подразумевает вычисление значений выходных нечетких переменных с помощью значений входных нечетких переменных на основании базы правил.

База правил, содержит нечеткие высказывания формата «Если-то».

ПРАВИЛО 1: ЕСЛИ «Условие 1» ТО «Заключение 1»;

ПРАВИЛО 2: ЕСЛИ «Условие 2» ТО «Заключение 2»;

...

ПРАВИЛО N: ЕСЛИ «Условие N» ТО «Заключение N».

И соответственно входные нечеткие переменные являются условиями, выходные – заключениями.

$V = \{\text{Усл.1, Усл. 2, ..., Усл. N}\}$ – входные нечеткие переменные;

$M = \{\text{Закл.1, Закл. 2, ..., Закл. N}\}$ – выходные нечеткие переменные.

Если операция фаззификации подготавливает данные для последующего анализа, то нечеткий логический вывод использует эти данные для принятия решений на основе заданных правил.

На этапе дефаззификации нечеткие значения выходных переменных преобразуются в конкретные числовые значения. Одним из основных методов преобразования является метод центра тяжести.

$$y = x \frac{\int_{min}^{max} x \times \mu(x) dx}{\int_{min}^{max} \mu(x) dx} \quad (17)$$

Этап дефаззификации является не обязательным. В случае достаточности нечетких значений выходных переменных для принятия решения этот этап пропускается.

Метод нечетких топологических отношений позволяет водителю оценивать навигационную обстановку на местности как во время стоянки, так и при движении автомобиля. Проведенные исследования показали, что навигационная обстановка представляет собой совокупность факторов и условий, оказывающих влияние на решение задач наземной навигации.

К основным факторам относятся характер земной поверхности (высотная составляющая – рельеф и относительная высота объектов местности) и ориентирные объекты.

К основным условиям, влияющим на решение задач наземной навигации, относятся погодные условия и время дня (года).

Кроме того, для оценки навигационной обстановки, в зависимости от решаемых задач, могут использоваться топологические отношения на основе нечеткой логики, устанавливаемые в НБД между объектами для обеспечения однозначности и оперативности ориентирования водителя.

В формализованном виде описание навигационной обстановки в НБД можно представить следующим выражением:

$$НО = \{Y(t), \Phi, T(t)\}, \quad (18)$$

где НО – навигационная обстановка,

Y – условия,

Φ – факторы,

T – нечеткие топологические отношения.

Компоненты представленного множества имеют вид:

$$Y = f(Vг, Вд, Пу), \quad (19)$$

где Vг – время года,

Вд – время дня,

Пу – погодные условия (солнечно, облачно, осадки)

$$\Phi = f(P, B, H), \quad (20)$$

где P – рельеф,

B – относительная высота объектов (растительности, строений в населенных пунктах и т.п.),

H – навигационно-значимые объекты.

$$T = f(Tр, Tн, Tгр), \quad (21)$$

где Tr – пространственные отношения расстояний,

Tn – пространственные отношения направлений,

Tgr – пространственные отношения геометрического положения

В результате навигационная обстановка представляет из себя множество следующих элементов:

$$HO(t) = \{Bг(t), Bд(t), Пу(t), P, B, H, Tr(t)Tн(t)Tгр(t)\}, \quad (22)$$

Таким образом, восприятие навигационной обстановки зависит от учета множества условий. Изменение значений любого из элементов множества или их исключение влияет на полученный результат и на качество принимаемых решений.

На рисунке 34 представлен пример изменения значений нечетких пространственных характеристик в отношении навигационно-значимых объектов в зависимости от положения автомобиля на дороге в конкретный момент времени.

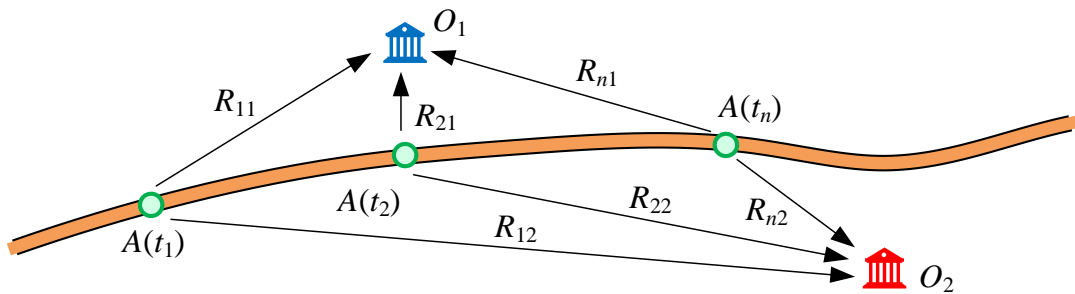


Рисунок 34 – Изменение значений пространственных характеристик отношений при движении автомобиля

В данном примере:

$A(t_1), A(t_2), \dots, A(t_n)$ – положение автомобиля в момент времени t_1, t_2, \dots, t_n ,

O_1, O_2 – навигационно-значимые объекты,

R_{11}, R_{12} – нечеткие пространственные отношения между A и O_1, O_2 в момент времени t_0 ,

R_{21}, R_{22} – нечеткие пространственные отношения между A и O_1, O_2 в момент времени t_1 ,

В ходе ее разработки определены и научно обоснованы требования к информационному обеспечению НБД, учитывающие потребности различных категорий пользователей и специфику решаемых навигационных задач.

Разработаны методические подходы к формированию каталога классов объектов НБД. Они позволяют определить обязательные и дополнительные классы объектов, необходимые для решения общих и специфических навигационных задач в соответствии с категориями пользователей, их основные атрибуты и связи.

Сформирована концептуальная модель, позволяющая проанализировать структуру, содержание и взаимосвязи между объектами в НБД, способствующая оценке ее целостности и избавлению от повторов данных.

Разработан метод представления межобъектных топологических отношений на основе нечеткой логики, способствующий повышению оперативности и качества решения навигационных задач за счет возможности более гибкой интерпретации и анализа пространственных данных в условиях изменяющейся дорожной обстановки. Его использование помогает оптимизировать транспортные потоки, повысить безопасность движения и снизить риск аварий на дорогах.

Метод может применяться как в составе методики, так и отдельно от нее для других типов баз пространственных данных.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МЕТОДИКИ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Достоверность разработанной в ходе диссертационных исследований методики была подтверждена в ходе экспериментальной проверки в ООО «ТелеПроводник» в рамках проведения опытно-конструкторской работы (ОКР) «Разработка технического предложения по созданию региональной системы управления и контроля движения автотранспортных средств».

На первом этапе работы был осуществлен патентный поиск, по результатам которого была определена патентная чистота разрабатываемой системы.

На втором этапе на основе информационного обеспечения, разработанного по представленной в диссертации методике, на выбранный экспериментальный участок была создана НБД.

3.1 Патентный поиск

Уникальность методики была подтверждена в рамках проведенного в ОКР патентного поиска на предмет выявления возможности регистрации интеллектуальной собственности. Целью анализа было установление юридических барьеров, которые могли повлиять на использование полученных результатов в РФ и странах Содружества. Исследование включало в себя изучение информации о существующих патентах и других правовых документах, связанных с предметом разработки. Патентный анализ проводился в строгом соответствии с действующим стандартом ГОСТ Р. 15.011–96 [20], который регламентирует порядок выполнения таких исследований. В процессе исследования были рассмотрены как патентные, так и непатентные источники. Это позволило учесть преимущества и недостатки существующих методических подходов к построению навигационных систем управления транспортными средствами.

Так как продуктом, разрабатываемым в ходе данной ОКР, являлась региональная система управления и контроля движения автотранспортных средств, то патентный поиск проводился по следующим темам:

- мобильные системы с локальным сервером: Телематическая маршрутизация (off-board навигация);
- мобильные системы с локальным сервером: Гибридные навигационные системы;
- технологии управления транспортными средствами;
- методы вычисления маршрутов;
- навигационно-картографические технологии.

В рамках темы навигационно-картографических технологий, к которой относится и информационное обеспечение навигационных баз данных было выявлено и исследовано пять Российских патентных документов. Предполагаемый к использованию в разрабатываемой системе программный модуль Webraska использовал навигационные карты от двух производителей Navteq (в настоящее время – Here) и TeleAtlas (в настоящее время – TomTom). Поиск, проведенный в Евразийской и Российской базе данных, показал, что указанные производители не зарегистрировали ни одного патента на соответствующих территориях. Таким образом, развитие и улучшение локально разработанных инструментов для создания и обновления НБД, основанное на анализе их структуры и формата, не противоречило патентным правам соответствующих производителей на территории Российской Федерации и стран СНГ.

Также для определения патентной чистоты разрабатываемой системы выполнялись исследования непатентных источников. При этом основной целью исследований являлось выяснение наличия у самих производителей и поставщиков диспетчерско-навигационных систем патентов РФ в данной области техники.

Анализ непатентных источников раскрыл представление о современном уровне развития диспетчерских навигационных систем и дал основания утверждать, что технические решения, закладываемые в разработку, обладают патент-

ной чистотой. В предлагаемой разработке было возможно использование известных непатентных технических решений в случае, если не требовалось получения нового патента. По результатам проведенных исследований был получен патент на создание пространственно-распределенной гибридной навигационной системы [33].

3.2 Создание навигационной базы данных на экспериментальный участок

На следующем этапе ОКР была апробирована разработанная в ходе диссертационных исследований методика создания ИО НБД для автомобильного транспорта и ряд других методик ООО «ТелеПроводник», касающихся сбора и получения информации для НБД. В ходе работы была создана НБД на заданный участок местности. НБД формировалась по полному технологическому циклу, с выполнением выездных работ для съемки дорожной сети специальной группой. В качестве заданного участка был выбран муниципалитет Старая Купавна в Московской области. Он был удобен в плане локации, компактности, умеренному трафику и простоте транспортной инфраструктуры. На момент начала работ дорожная информация по городу была крайне скудной и не включала детализации уличной сети, что способствовало глубокому тестированию методики.

В соответствии с техническим заданием группа специалистов компании «ТелеПроводник» выполнила съемку улично-дорожной сети, придорожной инфраструктуры и важных объектов, осуществила сбор данных об организации движения транспорта. Кроме того, была проведена фиксация адресной информации, включающая номера домов и наименования улиц.

При геодезической съемке дорожной сети Старой Купавны использовалась спутниковая навигационная аппаратура. В зависимости от дорожной обстановки применялись разные подходы. Съемка охватывала не только улично-дорожную сеть, но и прилегающие объекты: точки интереса, железные дороги, дорожные знаки и др. Для этого задействовались методы кинематической съемки и stop&go, позволившие фиксировать координаты объектов с необходимой точностью.

Для съемки дороги и дорожной инфраструктуры использовалось два устройства: одно для непрерывной записи данных в движении, другое – для метода stop&go, при котором фиксация точек осуществляется в ходе коротких остановок. Запись местоположения перекрестков, дорожных знаков, светофоров и других навигационно-значимых объектов осуществлялась с помощью видеокамеры. Также фиксировалась такая информация как количество полос, изменение скорости, дорожная разметка и другие характеристики дорог. Затем эта информация переносилась в НБД в процессе камерального этапа работ с помощью специального программного обеспечения.

Каждый участок дорожной сети был пройден мобильной группой как минимум один раз. Время стоянки машины на каждой контрольной точке не превышало одной минуты и зависело от различных факторов, включая количество видимых спутников, текущее дорожное движение и прочее. Все ключевые элементы организации дорожного движения во время обследования записывались видеокамерой.

Для обновления данных адресной базы был организован дополнительный выезд на исследуемую территорию. В ходе него были получены недостающие данные, не выявленные во время первичного обследования. Транспортное средство следовало тем же маршрутом, при этом производилась фиксация номеров домов и наименований улиц.

В ходе камерального этапа создания НБД проводилась работа с материалами, полученными в результате полевых выездов. Производилась обработка треков дорожной сети, отражающих информацию о маршрутах, полученную от спутников. В базу вносились сведения о РОИ, дорожных знаках, маневрах, адресные данные и другая навигационная информация, полученная в результате видеофиксации.

На рисунках 35 и 36 продемонстрированы план-схема города в масштабе 1:24 000 и увеличенный фрагмент одного из ее участков.

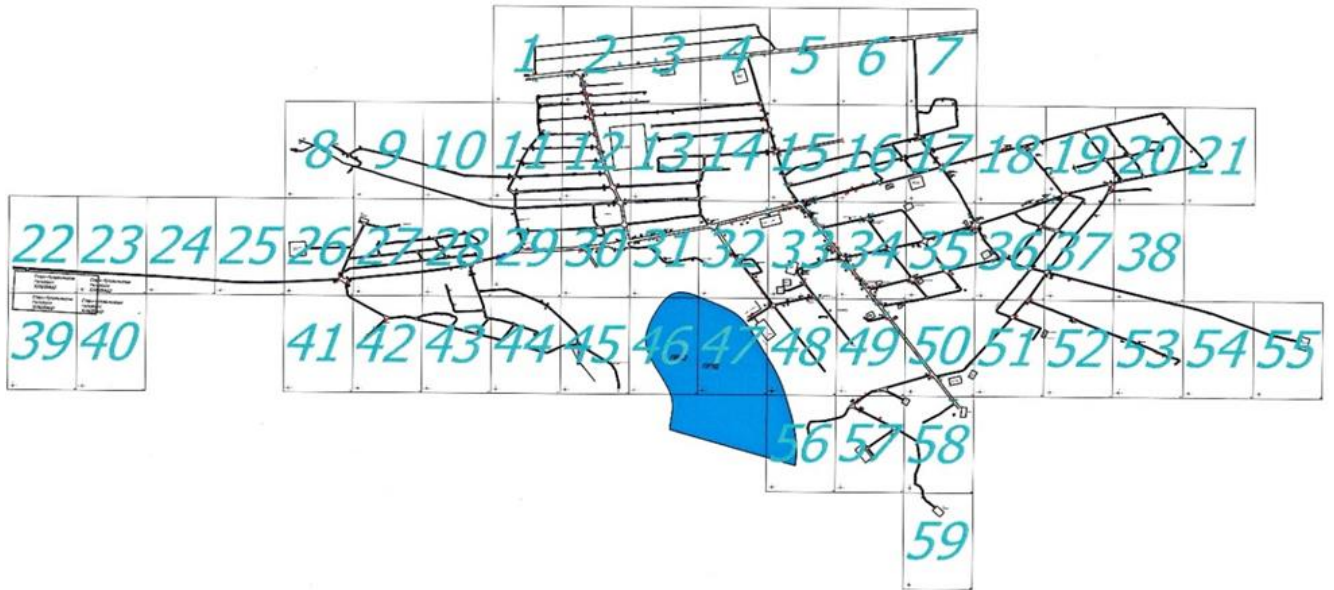


Рисунок 35 – План-схема г. Старая Купавна

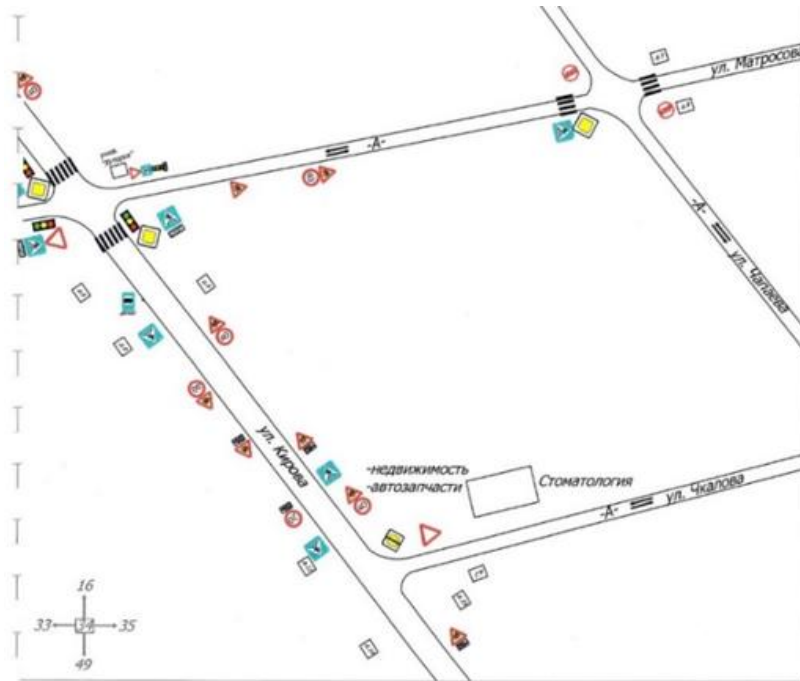


Рисунок 36 – Фрагмент план-схемы г. Старая Купавна

Созданная по разработанной методике навигационная база данных на г. Старая Купавна обеспечила все условия для успешного выполнения навигационных задач, определённых в рамках ОКР.

Проверка методики на практике подтвердила её эффективность и показала, что предложенные в информационном обеспечении структура, состав и содержание НБД, являются полными, актуальными, необходимыми и достаточными для решения навигационных задач, связанных с автомобильной навигацией.

Достоверность методики создания ИО НБД была полностью подтверждена. Она показала свою высокую эффективность по сравнению с существующими в настоящее время аналогичными методиками.

В дальнейшем на основе методики создавались навигационные базы для различных категорий пользователей. На рисунке 37 представлен фрагмент из НБД, предназначенной для решения навигационных задач по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

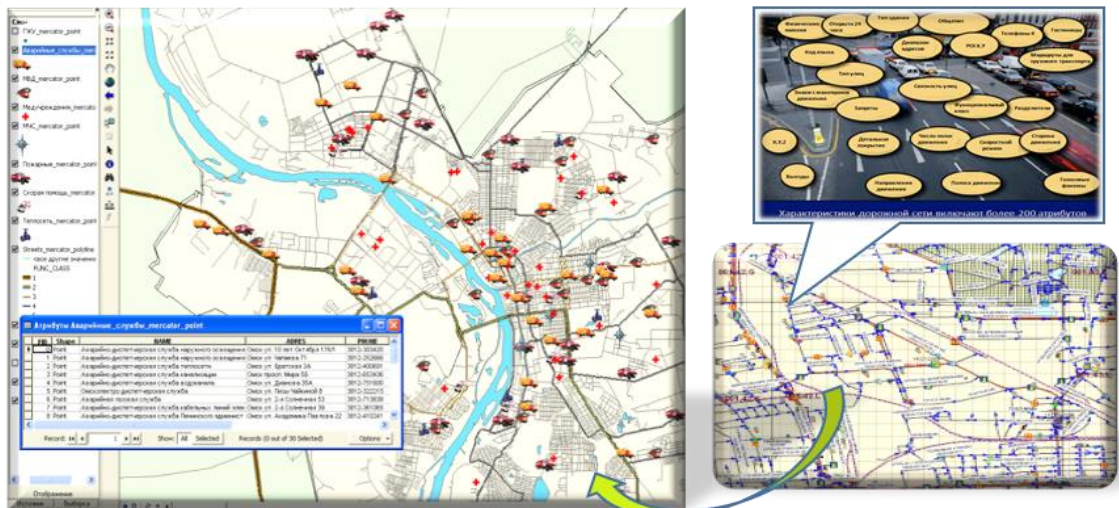


Рисунок 37 – Фрагмент НБД для экстренных служб

3.3. Оценка эффективности методики

Оценка эффективности методики производилась методом экспертных оценок. В качестве критериев эффективности были выбраны оперативность принятия решения и полнота данных. Эффективность оценивалась по формуле:

$$v = \frac{\sum wr}{z}, \quad (24)$$

где r – критерий эффективности (оценка по шкале от 1 до 10),

w – весовой коэффициент, отражающий важность каждого критерия (суммарный коэффициент по критериям равен 1),

z – оценочный коэффициент затрат на создание базы данных (карты).

Оценка производилась путем сравнения созданной по методике НБД с государственными цифровыми навигационными картами и НБД компании HERE Technologies. Результаты сравнения представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Оценка эффективности методики

Критерий / Методика	Цифровые навигационные карты	НБД Here Technologies	Разработанная по методике НБД
Оперативность принятия решения, $r_1 (w = 0,5)$	$4 \times 0,5 = 2$	$7 \times 0,5 = 3,5$	$9 \times 0,5 = 4,5$
Полнота данных, $r_2 (w = 0,5)$	$4 \times 0,5 = 2$	$6 \times 0,5 = 3,0$	$9 \times 0,5 = 4,5$
Суммарная оценка, $\sum wr$	4	6,5	9
Коэффициент затрат, z	0,9	1	1,1
Эффективность, v	4,4	6,5	8,2

В результате оценки выявлено, что эффективность решения навигационных задач с применением предлагаемой методики, ориентировочно повысится:

в 1,9 раза – по сравнению с цифровыми навигационными картами,

в 1,3 раза – по сравнению с НБД HERE Technologies.

Дальнейшее развитие методики даст возможность сделать шаг к переходу от баз данных к базам знаний, что позволит решать задачи навигации на автомобильном транспорте на качественно новом уровне.

3.4 Направления развития информационного обеспечения навигационных баз данных

Современные тенденции в области интеллектуализации геоинформационных систем требуют постоянного повышения качества и полноты исходных геоданных, которые необходимы для решения задач пространственного анализа и поддержки

принятия решений для разнообразных пользователей. В этой связи в качестве основного направления дальнейшего развития методики создания ИО НБД следует выделить расширение применения топологических отношений на основе нечеткой логики и появление новых видов топологических отношений, позволяющих осуществить переход из пространства данных в пространство знаний. Переход к базам знаний от баз данных позволит значительно повысить эффективность применения навигационных систем для управления транспортом и уровень решаемых с их помощью задач.

3.5 Выводы по разделу 3

Экспериментальная проверка методики, проведенная в рамках опытно-конструкторской работы «Разработка технического предложения по созданию региональной системы управления и контроля движения автотранспортных средств» подтвердила ее достоверность и показала, что предложенные в информационном обеспечении структура, состав и содержание НБД, являются полными, актуальными, необходимыми и достаточными для решения поставленных навигационных задач. Патентный поиск, осуществленный в ходе ОКР, подтвердил патентную чистоту разрабатываемой системы. По результатам исследований был получен патент на создание пространственно-распределенной гибридной навигационной системы [33].

Проведенная оценка эффективности методики показала ее преимущество по сравнению с навигационной базой данных HERE Technologies, а также цифровыми навигационными картами РФ в 1,3 и 1,9 раза соответственно.

Дальнейшее развитие методики даст возможность сделать шаг к переходу от баз данных к базам знаний, что позволит решать задачи навигации на автомобильном транспорте на качественно новом уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования была достигнута его цель – повышена эффективность решения задач наземной навигации за счет использования новых методических подходов к информационному обеспечению навигационных баз данных для автомобильного транспорта.

Основные результаты исследования:

– разработана методика создания ИО НБД для автомобильного транспорта, позволяющая решать навигационные задачи для различных категорий пользователей с учетом нечеткости и неопределенности геоданных;

– разработаны научно-обоснованные требования к ИО НБД, учитывающие современные тенденции в области развития автомобильной навигации;

– разработаны методические подходы к формированию каталога классов объектов НБД. Они позволяют определить обязательные и дополнительные классы объектов, необходимые для решения общих и специфических навигационных задач в соответствии с категориями пользователей, их основные атрибуты и связи;

– разработана концептуальная модель НБД, позволяющая проанализировать ее структуру, содержание, целостность, информативность и избавиться от дублирования данных;

– разработан метод представления топологических отношений между объектами навигационной базы данных на основе нечеткой логики, способствующий повышению оперативности и качества решения навигационных задач за счет возможности более гибкой интерпретации и анализа пространственных данных в условиях изменяющейся дорожной обстановки. Его использование помогает оптимизировать транспортные потоки, повысить безопасность движения и снизить риск аварий на дорогах. Метод может применяться как в составе методики, так и отдельно от нее для других типов баз пространственных данных;

– проведено экспериментальное апробирование методики создания ИО НБД для автомобильного транспорта, подтвердившее достоверность разработанной методики.

Разработанная методика решает проблему отсутствия высококачественных государственных карт, которые бы в полной мере удовлетворяли потребностям пользователей в области автомобильной навигации. С помощью методики могут создаваться НБД, служащие альтернативой зарубежным и отечественным НБД, имеющим закрытые форматы и не использующим топологические отношения на основе нечеткой логики, применение которых является перспективным и актуальным направлением в области создания баз пространственных данных.

Методика позволяет повысить эффективность решения навигационных задач для автомобильного транспорта в 1,9 раза по сравнению с цифровыми навигационными картами, создаваемыми в РФ на основе топографических карт и в 1,3 раза по сравнению с существующими современными навигационными базами данных. Полученные результаты могут быть использованы для создания и применения НБД в различных отраслях экономики и социального развития, разработки стандартов в области наземной навигации, развития интеллектуальных транспортных систем и беспилотного транспорта, в учебном процессе ВУЗов.

Основным направлением дальнейшего развития методики создания ИО НБД является расширение применения новых видов топологических отношений, в том числе на основе нечеткой логики, позволяющих осуществить переход из пространства данных в пространство знаний. Это позволит создавать интеллектуальные навигационные системы, выполняющие задачи автомобильной навигации и управления транспортом на качественно новом уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианов, Д. Е. Использование топологических правил при пространственном анализе картографических объектов / Д. Е. Андрианов, М. С. Соколов // Известия вузов. Приборостроение. – 2010. – Т. 53, № 9. – С. 14-19.
2. Андрианов, Д. Е. Модели и алгоритмы вычисления топологических отношений в геоинформационных системах / Д. Е. Андрианов, А.В. Булаев // Программные продукты и системы. – 2006. – № 3. – С. 27-32.
3. Антонов, Е. С. Теоретико-методологическое представление прямого перехода от геоинформации к геознаниям / Е. С. Антонов, Д. В. Лисицкий, С. С. Янкевич // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 2. – С. 82-90. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-2-82-90.
4. Беляков, С. Л. Модель решения задачи маршрутизации в интеллектуальной геоинформационной системе / С. Л. Беляков, Я. А. Коломийцев, И. Н. Розенберг, М. Н. Савельева // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 5 (118). – С. 113-119.
5. Андрюхина, Ю. Н. Современные методы и технология создания навигационных карт / Ю. Н. Андрюхина, Я. Г. Пошивайло // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2016. – № 9. – С. 32-38.
6. Беляков, С. Л. Интеллектуализация ГИС и картографический анализ / С. Л. Беляков, И. Н. Розенберг // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 3 (92). – С. 217-221.
7. Берлянт, А. М. Принципы разработки классификатора объектов картографирования / А. М. Берлянт, Т. В. Верещака, А. А. Лютый, Л. Г. Палло. – Москва : Росгеоинформ, 1993. – 23 с.
8. Биденко, С. И. Топологизация картографической модели района территориальной активности как элемент оценки обстановки / С. И. Биденко, Е. Л. Бородин, К. В. Захаров и др. // Информация и космос. – 2021. – № 1. – С. 152-158.

9. Болбаков, Р. Г. Топологическое моделирование на геоданных / Р. Г. Болбаков, В. М. Маркелов, В. Я. Цветков // Перспективы науки и образования. – 2014. – № 2 (8). – С. 34-39.
10. Булгаков, С. В., Цветков В. Я. Пространственный анализ: монография / С. В. Булгаков, В. Я. Цветков. – Москва: МАКС Пресс, 2018. – 216 с.
11. Бучкин, В. А. Состояние и развитие интеллектуальных ГИС / В. А. Бучкин // Информация и космос. – 2020. – № 3. – С. 119-123.
12. Васмут, А. С. Искусственный интеллект в картографии / А. С. Васмут // Состояние и перспективы развития геодезии и картографии. Москва. – 1986. – С. 95-102.
13. Верещака, Т. В. Топографические карты : Науч. основы содержания / Т. В. Верещака. – Москва : Наука/Интерпериодика, 2002. – 318 с. – ISBN 5-7846-0092-3.
14. Гасников, А. В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учебное пособие / А. В. Гасников, С. Л. Кленов, Е. А. Нурминский, Я. А. Холодов, Н. Б. Шамрай ; приложения: М. Л. Бланк, Е. В. Гасникова, А. А. Замятин, В. А. Малышев, А. В. Колесников, А. М. Райгородский ; под редакцией А. В. Гасникова. – Москва: МФТИ, 2010. – 362 с.
15. Глотов, А. А. Интеллектуализация геоинформационных систем: подходы и направления / А. А. Глотов // Геоматика – 2015. – № 5. – С. 18-24.
16. Гордиенко, Л. В. Нечеткое описание пространственных отношений в геоинформационных системах / Л. В. Гордиенко // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 12. – С. 9-12.
17. Гордиенко, Л. В. Топологические отношения при интеллектуализации геоинформационных систем / Л. В. Гордиенко // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 11. – С. 266-270.
18. Господинов, С. Г. Геоданные и геознания / С. Г. Господинов // Перспективы Науки и Образования. – 2016. – № 5 (23). – С. 20-23. – URL: <https://www.pnojjournal.wordpress.com/archive16/16-05/> (дата обращения: 30.10.2023).

19. Господинов, С. Г. Геоданные и геознания / С. Г. Господинов // Программные продукты, системы и алгоритмы. – 2017. – № 4. – С. 1-9.

20. ГОСТ Р. 15.011-96. Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения : государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 30 января 1996 г. № 40: введен впервые : дата введения 1996-01-01 / разработан Всесоюзным центром патентных услуг при участии ЦНИИ «Центр»; ВНИИСтандартом и Техническим комитетом ТК 65 «Разработка и постановка продукции на производство». – Москва : Стандартинформ, 2006. – 19 с.

21. ГОСТ Р 52289-2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 декабря 2019 г. № 1425-ст: введен впервые : дата введения 2020-04-01 : взамен ГОСТ Р 52289-2004 / разработан ФАУ «РОСДОРНИИ» Министерства транспорта Российской Федерации. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 125 с.

22. ГОСТ Р 52398-2005. Классификация дорог. Основные параметры и требования : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2005 г. № 296-ст: введен впервые : дата введения 2006-05-01 / разработан Московским автомобильно-дорожным институтом (Государственным техническим университетом), Российской академией транспорта, ООО «Инжинирингинвест». – Москва : Стандартинформ, 2006. – 7 с.

23. ГОСТ Р 52438-2005. Географические информационные системы. Термины и определения: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 декабря 2005 г. № 423-ст: вве-

ден впервые : дата введения 2006-07-01 / разработан ФГУП «ГОСГИСЦЕНТР», Институтом географии Российской Академии наук, ФГУП «ВНИИНМАШ». – Москва : Стандартинформ, 2006. – 16 с.

24. ГОСТ Р 57668-2017 (ИСО 19115-1:2014). Пространственные данные. Метаданные. Часть 1. Основные положения : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 сентября 2017 г. № 1114-ст: введен впервые : дата введения 2018-06-01 / разработан ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД». – Москва : Стандартинформ, 2017. – 166 с.

25. Давлетбакова, З. Л. Построение модели обработки пространственной информации на основе методов нечеткой логики / З. Л. Давлетбакова // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С 85.

26. Давыденко, И. Т. Интеллектуальные геоинформационные системы на основе комплексной методики проектирования моделей интеллектуальных справочных систем / И. Т. Давыденко, С. А. Самодумкин // Доклады БГУИР. – 2013. – № 8 (78). – С. 76-82.

27. Демиденко, А. Г. Цифровая модель дороги. Технологии создания и применения / А. Г. Демиденко. – URL: <https://gisinfo.ru/item/123.pdf> (дата обращения: 31.03.2024).

28. Дубровина, С. В. Проблемы создания автонавигационных карт и пути их решения / С. В. Дубровина // Геодезия и картография. – 2013. – № 5. – С. 12-14.

29. Дубровина, С. В. Совершенствование методики создания автонавигационных карт : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 25.00.33 / Дубровина Светлана Владимировна ; МИИГАиК. – Москва, 2017. – 250 с.

30. Дубровина, С. В. Совершенствование технологии создания электронных карт на примере карт для автонавигации / С. В. Дубровина // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 2013. – № 78. – С. 77-81.

31. Душкин, Р. В. Методы получения, представления и обработки знаний с НЕ-факторами : монография / Р. В. Душкин. – 2011. – 115 с.

32. Дышленко, С. Г. Геознание и пространственные задачи / С. Г. Дышленко // Перспективы науки и образования. – 2017. – № 4 (26). – С. 12-16.

33. Евразийский патент № 013011 Российская Федерация, Int. Cl. G01C 21/00 (2006.01), G06F 17/00 (2006.01). Способ обновления и использования баз географических данных и пространственно-распределенная гибридная навигационная система для его реализации : № 200900801 : заявлено 01.06.2009 : опубликовано 26.02.2010, Бюл. № 1. / Живичин В. А., Терляков О. А., Флегонтов А. В., Степанов А. Б., Воробьев А. О. : заявитель ООО «ТелеПроводник». – 27 с.

34. Евразийский патент № 012147 Российская Федерация, Int. Cl. H04W 64/00 (2009.01), G06Q 50/00 (2006.01). Способ интерактивного навигационно-туристического средства в реальном времени и устройство для его реализации : № 200802193 : заявлено 17.10.2008 : опубликовано 28.08.2009, Бюл. № 4. / Степанов А. Б., Коротков В. И., Флегонтов А. В., Живичин В. А., Терляков О. А., Воробьев А. О., Ильин Д. Г., Портнягин Э. В., Рентель А. В., Смирнов В. Н. : заявитель ООО «ТелеПроводник». – 13 с.

35. Еремеев, С. В. Метод представления информации о топологии карты в структуре идентификаторов пространственных объектов / С. В. Еремеев, Д. Е. Андрианов, Д. В. Титов // Известия ВУЗов. Приборостроение. – 2015. – Т. 58, № 2. – С. 99-103. – DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-2-99-103.

36. Ефремова, Н. А. Гибридные нечеткие когнитивные карты в задачах поддержки принятия решений и прогнозирования / Н. А. Ефремова, А. Н. Аверкин, С. А. Ярушев // Программные продукты, системы и алгоритмы. – 2017. – № 4. – С. 1-9.

37. Железняков, В. А. Интеллектуальное обновление информации в банке геоданных / В. А. Железняков // Инженерные изыскания. – 2012. – № 5. – С. 58-61.

38. Живичин, А. Н. Развитие навигации в России / А. Н. Живичин, А. В. Флегонтов, А. О. Воробьев // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 1. – С. 30-32.

39. Журкин, И. Г. Геоинформационные системы : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / И. Г. Журкин, С. В. Шайтура. – Москва : КУ-ДИЦ-Пресс, 2009. – 272 с. – ISBN 978-5-91136-065-8.

40. Журкин, И. Г. Концепция разработки обобщенного картографического классификатора для региональной ГИС / И. Г. Журкин, А.Н. Никишин // Геодезия и картография. – 2004. – № 10. – С. 36.

41. Журкин, И. Г. Принципы принятия решений в ГИС-технологиях / И. Г. Журкин, В. Я. Цветков // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1999. – № 3. – С. 137-143.

42. Зализнюк, А. Н. Объектно-ориентированная геопространственная информация, достоинства и недостатки при ее создании и применении / А. Н. Зализнюк, Ю. С. Александров, С. П. Присяжнюк, Д. В. Карманов, А. С. Присяжнюк // Информация и космос. – 2017. – № 2. – С. 102-106.

43. Задубина, Г. А. Аналитический подход к созданию и обновлению навигационной базы геопространственных данных / Г. А. Задубина // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2022. – Т. 66, № 1. – С. 64-73. – DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-1-64-73.

44. Зыков, А. А. Основы теории графов / Зыков, А. А. – Москва : Вузовская книга, 2004. – 664 с.

45. Камынина, Н. Р. Применение нечеткого ситуационного анализа для решения задачи размещения / Н. Р. Камынина, В. Я. Цветков, В. В. Ознамец // Информация и космос. – 2021. – №3. – С 70-77.

46. Кандрашина Е. Ю. Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах / Е. Ю. Кандрашина, Л. В. Литвинцева, Д. А. Поспелов ; под ред. Д.А. Поспелова. – Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 328 с.

47. Карпик, А. П. Основные принципы формирования единого геоинформационного пространства территорий / А. П. Карпик, Д. В. Лисицкий // ГЕО-Сибирь-2011. VII Международный научный конгресс : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. – С. 19-24.

48. Карпик, А. П. Электронное геопространство – сущность и концептуальные основы / А. П. Карпик, Д. В. Лисицкий // Геодезия и картография. – 2009. – № 5. – С. 41-46.

49. Карпик, А. П. Электронное геопространство – сущность и концептуальные основы / А. П. Карпик, Д. В. Лисицкий // Геодезия и картография. – 2009. – № 5. – С. 41-46.

50. Коваленко, Н. И. Извлечение знаний для интеллектуальных транспортных систем / Н. И. Коваленко // Перспективы науки и образования. – 2014. – № 5 (11). – С. 45-52.

51. Комосов, Ю. А. Оптимизация требований к государственным навигационным картам для автомобильного транспорта / Ю. А. Комосов // Геодезия и картография. – 2010. – № 4. – С. 39-42.

52. Краснобородько, А. В. Исследование и разработка структур баз геоданных информационно-телекоммуникационных систем: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : 25.00.35 / Александр Владиславович Краснобородько ; МИИГАиК. – Москва, 2007. – 24 с.

53. Крылов, С. А. Создание цифровых картографических основ автонавигационных карт / С. А. Крылов, С. В. Дубровина, И. В. Плотников // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4. – С. 46-51.

54. Кулагин, В. П. Качественные рассуждения на геоданных / В. П. Кулагин // Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2018. – № 6. – С. 77-83.

55. Кулик, Н. С. Построение графа автомобильных дорог для системы взимания платы с большегрузного транспорта / Н. С. Кулик, В. И. Мартьянов, Д. В. Пахомов / Вестник ИрГТУ. – 2016. – № 4 (111). – С. 96-101.

56. Куприянов, А. О. Информационная модель геореференции / А. О. Куприянов // Перспективы науки и образования. – 2016. – № 6. – С. 96-100.

57. Лисицкий, Д. В. Навигационная картография – проблемы и задачи / Д. В. Лисицкий, Л. К. Радченко // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография,

маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – Т. 1. – С. 91-93.

58. Лисовский, Е. Искусственный интеллект и нейронные сети в картографии: будущее картографических сервисов / Е. Лисовский. – 2017. – URL: <https://www.forbes.ru/tehnologii/345989-iskusstvennyy-intellekt-i-neuronnye-seti-v-kartografii-budushchee> (дата обращения: 30.10.2023).

59. Лисовский, Е. Искусственный интеллект и нейросети в картографии – 2: когда «народные» карты круче Google / Е. Лисовский. – 2017. – URL: <https://www.forbes.ru/tehnologii/351121-iskusstvennyy-intellekt-i-neuroseti-v-kartografii-2-kogda-narodnye-karty-kruche> (дата обращения: 30.10.2023).

60. Лурье, И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков : учебник / И. К. Лурье. – Москва: КДУ, 2008. – 424 с. – ISBN 978-5-98227-270-6.

61. Николаева, О. М. Использование специальных символов Map Alerts в картографическом веб-браузере Here Map Creator для обновления цифровой карты компании «HERE Technologies» / О. М. Николаева, Л. К. Радченко // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. – 2022. – № 2. – С. 239-244. – DOI 10.33764/2687-041X-2022-2-239-244.

62. Николаева, О. М. Основные аспекты маршрутизации в навигационных системах на примере компании «Here technologies» / О. М. Николаева, Л. К. Радченко // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 1. – С. 97-106. – DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-1-97-106.

63. Николаева, О. М. Использование дорожного графа в навигационных приложениях на примере компании Here Technologies / О. М. Николаева, Л. К. Радченко // Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия : Интерэкспо Гео-Сибирь. XIV : Международная научная конференция: сборник материалов (Новосибирск, 24–26 апреля 2019 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – Т. 1, № 2. – С. 197-204. – DOI: 10.33764/2618-981X-2019-1-2-197-204

64. Майоров, А. А. Геознание как новая форма знания / А. А. Майоров // Перспективы науки и образования. – 2016. – № 4 (22). – С. 23-31.
65. Майоров, А. А. Пространственное когнитивное моделирование / А. А. Майоров // Перспективы науки и образования. – 2014. – № 1. – С. 33-37.
66. Мартыненко, А. И. Методика обновления системы электронных автодорожных карт на основе многоуровневой модели базы пространственных данных / А. И. Мартыненко, И. П. Карачевцева // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2006. – № 1. – С. 161-165.
67. Матеров, Е. Н. Анализ графа дорожной сети / Е. Н. Матеров. – URL: <https://www.naukaidannye.netlify.app/blog/posts/2021-11-22-spatial> (дата обращения: 28.03.2022).
68. Матчин, В. Т. Базы геоданных / В. Т. Матчин // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. – № 3 (20). – С. 100-108.
69. Митчел, Э. Руководство по ГИС анализу. Часть 1: Пространственные модели и взаимосвязи / Э. Митчел. – ESRI Press. – 171 с.
70. Монахов, С. В. Методология анализа и проектирования сложных информационных систем / С. В. Монахов, В. П. Савиных, В. Я. Цветков. – Москва: Просвещение, 2005. – 264 с.
71. Мячин, В. Н. Особенности классификации улично-дорожной сети при построении графа дорог в транспортной модели / В. Н. Мячин, К. С. Боровикова, Д. П. Кривцов // Автоматика на транспорте. – 2021. – № 2. – С. 268-283.
72. Нестеров, В. И. Архитектура современных зарубежных интеллектуальных транспортных систем / В. И. Нестеров, А. В. Косолапов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2004. – № 6-2 (44). – С. 70-75.
73. О классификации автомобильных дорог в Российской Федерации : Постановление Правительства Российской Федерации от 28 сентября 2009 г. № 767 (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 11.06.2021 г. № 899). – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902177298> (дата обращения: 15.10.2024).

74. О навигационной деятельности : федеральный закон от 14.02.2009 № 22-ФЗ (в ред. Федеральных законов от 02.04.2014 № 60-ФЗ, от 13.07.2015 № 216-ФЗ, от 17.02.2023 № 35-ФЗ, от 22.07.2024 № 196-ФЗ) : принят Государственной Думой 30 января 2009 года : одобрен Советом Федерации 4 февраля 2009 года. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/28871/page/1> (дата обращения: 10.10.2024).

75. Об установлении Требований к государственным навигационным картам для решения задач в сфере обороны и безопасности Российской Федерации, включая требования к их картографической основе, к используемым системам координат, высот и к составу навигационной информации, содержащейся в указанных государственных навигационных картах : приказ Министра обороны РФ от 24.09.2020 № 478 // КонсультантПлюс : справочно-правовая система : сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_378503 (дата обращения: 05.02.2022).

76. Осипов, Г. К. Теоретические и методические основы формирования объектно-ориентированной информационной модели навигационной базы данных / Г. К. Осипов, А. С. Присяжнюк, А. С. Ефимов // Информация и космос. – 2013. – № 1. – С. 35-40.

77. Осипов, Д. Л. Технологии проектирования баз данных / Д. Л. Осипов. – Москва: ДМК Пресс, 2019. – 498 с. – ISBN 978-5-97060-737-4.

78. Павлов, Д. А. Моделирование крупномасштабной транспортной сети предфрактальными графами / Д. А. Павлов // Научный журнал КубГАУ. – 2017. – № 131 (07). – С. 1-11.

79. Павлов, С. В. Использование топологических отношений для обеспечения актуальности базы пространственных данных в распределенной геоинформационной системе газоснабжения промышленных предприятий / С. В. Павлов, А. С. Самойлов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – Т. 10, № 3. – С. 76-89.

80. Павлов, С. В. Обработка пространственной информации на основе методов нечеткой логики при размещении отходов промышленных предприятий /

С. В. Павлов, А. Х. Абдуллин, З. Л. Давлетбакова // Вестник УГАТУ. – 2014. – Т. 18, № 1 (62). – С. 106-113.

81. Патент № 2559343 Российская Федерация. Система оперативного составления и использования мобилизационных карт при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: № 2014111304/28 : заявлено 26.03.2014 : опубликовано 10.08.2015, Бюл. № 22. / Живичин В. А., Степанов А. Б., Воробьев А. О., Флегонтов А. В., Курносое С. К., Ильин Д. Г., Живичина О. Д., Живичина Ю. В. – 9 с.

82. Патент № 2559340 Российская Федерация, МПК G01C 21/00 (2006.01), G06F 19/00 (2011.01). Способ оперативного составления мобилизационных карт при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций : № 2014111303/28 ; заявлено 26.03.2014 ; опубликовано 10.08.2015, Бюл. № 22 / Живичин В. А., Степанов А. Б., Воробьев А. О., Флегонтов А. В., Курносое С. К., Ильин Д. Г., Живичина О. Д., Живичина Ю. В. – 13 с.

83. Платонов, П. Л. Картографическое обеспечение автомобильных навигационных систем : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук : 25.00.33 / Платонов Павел Львович ; СГГА. – Москва, 2012. – 26 с.

84. Платонов, П. Л. Использование данных ДЗЗ в автонавигационном картографировании / П. Л. Платонов // Геоматика. – 2010. – № 2 (7). – С. 60-67.

85. Платонов, П. Л. Методы обработки и получения информации с космических снимков для автонавигационного картографирования / П. Л. Платонов // Мир науки, культуры, образования. – 2012. – № 2 (33). – С. 374-376.

86. Поспелов, Д. А. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Д. А. Поспелов. – Москва: Наука, 1986. – 312 с.

87. Правила цифрового описания картографической информации цифровых и электронных карт. Часть 1. Общие положения и особенности цифрового описания объектов. – Москва: ТС ВС РФ, 2017. – 145 с.

88. Присяжнюк, С. П. Концептуальная модель создания объектно-ориентированной базы данных об объектах местности с целью поддержания в актуальном состоянии навигационных карт и планов / С. П. Присяжнюк, Д. В. Карманов // Информация и космос. – 2012. – № 3-4. – С. 36-40.

89. Программное изделие Геоинформационная система «Панорама». Форматы и спецификации данных. Векторный формат SXF. Структура данных в двоичном виде. – Москва. – 2020. – 40 с. – URL: <https://gistoolkit.ru/download/doc/sxf4bin.pdf> (дата обращения 29.10.2023)

90. Радченко, Л. К. К вопросу теоретического обоснования навигационной картографии / Л. К. Радченко // ИнтерКарто/ИнтерГИС. – 2016. – Т. 22, № 1. – С. 249-252.

91. Радченко, Л. К. Теоретические аспекты навигационной картографии / Л. К. Радченко // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 1, № 2. – С. 84-87.

92. Ревунков, Г. И. Проектирование баз данных : учебное пособие / Г. И. Ревунков, Н. А. Ковалева, Е. Ю. Силантьева. – Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 45 с. – ISBN 978-5-7038-4718-3. – URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/374639/reading> (дата обращения: 23.11.2024).

93. Розенберг, И. Н. Методы и алгоритмы создания интеллектуальных геоинформационных систем для управления транспортными процессами / И. Н. Розенберг, С. Л. Беляков, А. В. Боженюк и другие. – Москва : ВИНТИ РАН, 2019. – 292 с. – ISBN 978-5-902928-85-0.

94. Розенберг, И. Н. Основы геоинформационного моделирования : Учебник (в двух книгах) / И. Н. Розенберг, С. Л. Беляков, А. В. Боженюк. Том 1. – Москва : Федеральное государственное бюджетное учреждение дополнительного профессионального образования «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2022. – 312 с. – ISBN 978-5-907479-57-9.

95. Розенберг, И. Н. Основы геоинформационного моделирования : Учебник в двух книгах / И.Н. Розенберг, С.Л. Беляков, А.В. Боженюк. Том 2. – Москва :

Федеральное государственное бюджетное учреждение дополнительного профессионального образования «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2022. – 328 с. – ISBN 978-5-907479-58-6.

96. Савиных, В. П. Геознание : монография / В. П. Савиных. – Москва : МАКС Пресс, 2016. – 130 с.

97. Савиных, В. П. Информационные пространственные отношения / В. П. Савиных // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. – № 1 (18). – С. 79-88. DOI:10.21777/2312-5500-2017-1-79-88

98. Савиных, В. П. Развитие методов искусственного интеллекта в геоинформатике / В. П. Савиных, В. Я. Цветков // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 5. С. 41-43.

99. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2013619183 Российская Федерация. Интеллектуальная геоплатформа iGP (Intellectual GeoPlatform) : № 2013617412 : дата регистрации 13.08.2013 ; дата публикации 20.12.2013. / А. О. Воробьев, В. А. Живичин, А. Б. Степанов, В. Н. Смирнов, А. В. Флегонтов, И. А. Подойницын, Д. Г. Ильин ; правообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ТелеПроводник».

100. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014661411 Российская Федерация. Система мониторинга и управления подвижными объектами на базе геоплатформы iGP (TeleSafe) : № 2014619326 ; дата регистрации 16.09.2014 ; дата публикации 20.11.2014 / А. О. Воробьев, В. А. Живичин, А. Б. Степанов, В. Н. Смирнов, А. В. Флегонтов, И. А. Подойницын, Д. Г. Ильин ; правообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ТелеПроводник».

101. Смирнов, В. Н. Экспериментальная проверка методики создания информационного навигационно-картографического обеспечения для решения задач наземной навигации / В. Н. Смирнов // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2021. – Т. 65, № 5. – С. 568-574. – DOI: 10.30533/0536-101X-2021-65-5-568-574.

102. Соколов, М. С. Применение алгоритма топологического анализа при решении задач городского хозяйства в МГИС / М. С. Соколов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 1 (114). – С. 150-156.

103. Соловьев, И. В. О содержании и взаимосвязях категорий «информация», «информационные ресурсы», «знания» / И. В. Соловьев, В. Я. Цветков // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2011. – №6 (48). – С.11-21.
104. Степанов, В. П. О математическом моделировании дорожной сети / В. П. Степанов // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2010. – С. 237-243.
105. Татаренко, В. И. Перспективы развития навигационной картографии / В. И. Татаренко, Л. К. Радченко // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5. – С. 227-229.
106. Тикунов, В. С. Исследования по искусственному интеллекту и экспертные системы в географии / В. С. Тикунов // Вестник МГУ. Сер. 5. География. – 1989. – № 6. – С. 3-9.
107. Тихонов, А. Н. Методы и системы поддержки принятия решений / А. Н. Тихонов, В. Я. Цветков. – Москва: МАКС Пресс, 2001. – 312 с.
108. Уилсон, Р. Дж. Введение в теорию графов / Р. Дж. Уилсон ; перевод с английского И. Г. Никитиной ; под редакцией Г. П. Гаврилова. – Москва : Мир, 1977. – 207 с.
109. Ульяновская, Ю. В. Исследование свойств отношений нечеткой близости объектов в информационных интеллектуальных системах / Ю. В. Ульяновская // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2011. – С. 81-87.
110. Утробина, Е. С. Некоторые аспекты навигационной картографии / Е. С. Утробина, // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Международный научный конгресс : Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15-26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. – Т. 2. – С. 31-35.
111. Федоров, Р. К. Об одном подходе к анализу топологии пространственно-распределенных данных с использованием логического вывода / Р. К. Федоров, А. Е. Хмельнов, И. В. Бычков // Вычислительные технологии. – 2005. – Т. 10, № 1. – С. 116-130.

112. Фисич, Б. А. Пути совершенствования системы навигационного обеспечения спасательных операций / Б. А. Фисич, Д. И. Новоселов, А. Ю. Малеван // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2021. – Т. 65, № 1. – С. 117-124. – DOI: 10.30533/0536-101X-2021-65-1-117-124.

113. Флегонтов, А. В. Динамические знания в геоинформатике (к вопросу о решении пространственно-временных ситуаций на местности) / А. В. Флегонтов, И. М. Рутько, Г. Б. Воронов, В. Н. Смирнов, А. А. Флегонтов // Информация и космос. – 2024. – № 1. – С. 108-113.

114. Флегонтов, А. В. Картографическое обеспечение наземных навигационных систем / А. В. Флегонтов, Г. Б. Воронов, В. Н. Смирнов, Г. А. Задубина // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 3. – С. 106-118.

115. Флегонтов, А. В. Метод геопространственной привязки мобильных средств с применением аппаратуры потребителей спутниковой навигационной аппаратуры / А. В. Флегонтов // Проблемы топогеодезического и навигационного обеспечения ВС РФ в период реформирования : тезисы научно-технической конференции. – Москва : 29 НИИ МО РФ, 2001. – С. 115-121.

116. Флегонтов, А. В. Методологические основы получения, анализа и оценки пространственно-временной ситуации / А. В. Флегонтов // Проблемы топогеодезического и навигационного обеспечения ВС РФ в период реформирования : тезисы научно-технической конференции. – Москва : 29 НИИ МО РФ, 2001. – С. 165-173.

117. Флегонтов, А. В. Методы моделирования знаний о местности: монография / А. В. Флегонтов, И. М. Рутько, Г. Б. Воронов, В. Н. Смирнов, А. А. Флегонтов, Г. А. Задубина; под общей редакцией А. В. Флегонтова. – Москва: МИРЭА – Российский технологический университет, 2024. – 170 с. – ISBN 978-5-7339-2137-2.

118. Флегонтов, А. В. Моделирование пространственно-временной ситуации с использованием пространственных динамических моделей обстановки и местности / А. В. Флегонтов, И. М. Рутько, Г. Б. Воронов, В. Н. Смирнов, А. А. Флегонтов

// Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2023. – Т. 67, № 6. – С. 174-183. – DOI:10.30533/GiA-2023-042.

119. Флегонтов, А. В. Моделирование системы получения оперативной обстановки при чрезвычайных ситуациях на местности / А. В. Флегонтов, И. М. Рутько, Г. Б. Воронов, В. Н. Смирнов, А. А. Флегонтов // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2023. – Т. 67, № 5. – С. 165-181. – DOI:10.30533/GiA-2023-041.

120. Флегонтов, А. В. Разработка методики создания информационного навигационно-картографического обеспечения для решения задач наземной навигации / А. В. Флегонтов, В. Н. Смирнов // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2022. – Т. 66, № 3. – С. 60-76. – DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-3-60-76.

121. Харрингтон, Д. Проектирование объектно-ориентированных баз данных / Д. Харрингтон; Перевод с английского. – Москва : ДМК Пресс, 2001. – 272 с.

122. Цветков, В. Я. Геоинформатика знаний. / В. Я. Цветков. – LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrücken, Germany, 2020. – 157 с.

123. Цветков, В. Я. Интеллектуализация логистики с применением геоинформатики / В. Я. Цветков, В. М. Маркелов // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – № 6. – С. 111-112.

124. Цветков, В. Я. Информационное пространственное моделирование : учебник / В. Я. Цветков, И. И. Лонский, С. В. Булгаков. – Москва : МАКС Пресс, 2022. – 245 с. – ISBN 978-5-317-06758-8.

125. Цветков, В. Я. Концептуальное построение программы обновления геоданных / В. Я. Цветков // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 1 (13). – С. 30-38.

126. Цветков, В. Я. Модель геоданных для управления транспортом / В. Я. Цветков // Успехи современного естествознания. – 2009. – № 4. – С. 50-51.

127. Цветков, В. Я. Пространственная логика в геоинформатике / В. Я. Цветков // Вектор ГеоНаук. – 2020. – № 3 (2). – С. 91-98.

128. Цветков, В. Я. Пространственные знания и пространственная логика / В. Я. Цветков // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2019. – № 3 (13). – С. 17-26.

129. Цветков, В. Я. Пространственный ситуационный анализ / В. Я. Цветков, В. М. Маркелов // Вестник МГТУ МИРЭА. – 2013. – №1 (1). – С. 103-116.

130. Цветков, В. Я. Проектирование структур данных и базы данных: учебное пособие / В. Я. Цветков. – Москва: Московский государственный университет геодезии и картографии, 1997. – 90 с.

131. Цветков, В. Я. Решение задачи Лаунхардта в нечеткой ситуации / В. Я. Цветков // Информация и космос. – 2018. – № 4. – С. 103-109.

132. Цветков, В. Я. Формирование пространственных знаний: монография / В. Я. Цветков. – Москва : МАКС Пресс, 2015. – 68 с.

133. Цифровая картография : монография / Ю. Н. Андрюхина, П. Ю. Бугаков, Е. Л. Касьянова, С. Ю. Кацко, А. А. Колесников, Е. В. Комиссарова, Д. В. Лисицкий, Т. С. Молокина, Л. К. Радченко, Я. Г. Пошивайло, Е. С. Утробина, С. С. Янкелевич ; под научной редакцией Д. В. Лисицкого. – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. – 442 с. – ISBN 978-5-907711-37-2.

134. Шекхар, Ш. Основы пространственных баз данных. Перевод с английского / Шекхар Ш., Чаула С. – М.: Кудиц-Образ, 2004. – 336 с.

135. Штовба, С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику / С. Д. Штовба // Винница: Континент-Прим. – 2007. – 198 с.

136. Шульдешов, Ю. Л. Методы обработки пространственных данных с использованием экспертной системы / Ю. Л. Шульдешов, Д. Ю. Ларионов. // Труды СПИИРАН. – 2011. – №2 (17). – С. 219-233.

137. Янкелевич, С. С. Исследование процесса получения геопропространственных знаний о территории / С. С. Янкелевич // Геоинформатика. –2024. – № 2. – С. 64-70. – DOI 10.47148/1609-364X-2024-2-64-70.

138. Янкелевич, С. С. К вопросу создания инфраструктуры геопропространственных знаний / С. С. Янкелевич // Информация и космос. – 2023. – № 2. – С. 114-120.

139. Янкелевич, С. С. От многоцелевого картографического ресурса к «умной карте» / С. С. Янкелевич, Л. К. Радченко, Е. С. Антонов // Вестник СГУГиТ. – 2018.– Т. 23, № 1. – С. 142-155.

140. Яхъяева, Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети / Яхъяева, Г. Э. – Москва : Интернет-университет информационных технологий. БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 368 с.
141. Akerman, James R. Cartographies of travel and navigation / James R. Akerman. – Chicago: University of Chicago Press, 2006. – 344 p.
142. Arctur, D. Designing Geodatabases: Case Studies in GIS Data Modeling / D. Arctur, M. Zeiler. – ESRI Press, 2004. – 393 p.
143. Bin, Jiang. Fuzzy overlay analysis and visualization in geographic information systems / Jiang Bin // Utrecht: Utrecht University. – 1996.
144. Dillon, A. Spatial-semantics: How users derive shape from information space / A. Dillon // Journal of the American Society for Information Science. – 2000. – Vol. 51, Iss. 6. – P. 521-528.
145. Frederick, E. Petry. Fuzzy Modeling with Spatial Information for Geographic Problems / E. Petry Frederick, Vincent B. Robinson, Maria A. Cobb. // Springer. – 2005. – 280 p.
146. Galton, A. Spatial and temporal knowledge representation / A. Galton // Earth Science Informatics. – 2009. – Vol. 2, Iss. 3. – P. 169-187.
147. Hill, L. L. Georeferencing: the geographic association of Information / L. L. Hill. – Massachusetts Institut of Technology. 2009. – 280 p.
148. Ishikawa T. Spatial knowledge acquisition from direct experience in the environment: Individual differences in the development of metric knowledge and the integration of separately learned places / T. Ishikawa, D. R. Montello // Cognitive psychology. – 2006. – Vol. 52, Iss. 2. – P. 93-129.
149. ISO 19115-1:2014 «Geographic information – Metadata – Part 1: Fundamentals». – URL: <https://www.iso.org/standard/53798.html>
150. ISO 14825:2011(E) – Intelligent transport systems – Geographic Data Files (GDF)-GDF5.0. – URL: <https://www.iso.org/standard/54610.html>
151. ISO 20524-1:2020. Intelligent transport systems – Geographic Data Files (GDF) GDF5.1 – Part 1: Application independent map data shared between multiple sources. – URL: <https://www.iso.org/standard/68244.html>

152. ISO 20524-2:2020. Intelligent transport systems – Geographic Data Files (GDF) GDF5.1 – Part 2: Map data used in automated driving systems, Cooperative ITS, and multi-modal transport. – URL: <https://www.iso.org/standard/72494.html>
153. Jaworski, Tomasz. The use of fuzzy logic for description of spatial relations between object / Tomasz Jaworski, Jacek Kucharski // *Automatyka*. – 2010. – Tom 14. – P. 563-580.
154. Jetlund, K. Information Exchange between GIS and Geospatial ITS Databases Based on a Generic Model / K. Jetlund, E. Onstein, L. Huang. // *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* – 2019. – № 8(3). – P 141. – DOI:10.3390/ijgi8030141.
155. Khan, Mansoor. Spatial Databases: Concepts of Spatial Similarity Relations with the View Point of Fuzzy Sets / Khan Mansoor // 17th UKSIM-AMSS International Conference on Modelling and Simulation. – 2015. – DOI 10.1109/UKSim.2015.94.
156. Kuipers, B. Modeling Spatial Knowledge / B. Kuipers // *Cognitive Science*. – 1978. – № 2. – P. 129-153.
157. Laurini, R. Geographic Knowledge Infrastructure : ebook | Applications to Territorial Intelligence and Smart Cities / R. Laurini. // Elsevier. – 2017. – URL: <https://www.overdrive.com/media/3286126/geographic-knowledge-infrastructure>.
158. MacDonald, A. Building a Geodatabase / A. MacDonald. – ESRI Press, 2001. – 489 p.
159. Malek, Mohammad Reza. Intuitionistic Fuzzy Spatial Relationships in Mobile GIS Environment / Mohammad Reza Malek, Farid Karimipour, Saeed Nadi // *WILF*. – 2007. – LNAI 4578. – P. 313-320.
160. Nds-association.org : Navigation Data Standard. – URL: <https://nds-association.org/here-navigation-map/> (дата обращения 16.10.2023)
161. Nirmala, S Dr. G. Route Algorithm Using Fuzzy Graph / S Dr. G. Nirmala, K. Umahortest. // *International Journal of Scientific and Research Publications*. – 2013. – Vol. 3, Iss. 11. – P. 1-4.
162. Openshaw, S. Some suggestions concerning the development of artificial intelligence tools for spatial modelling and analysis in GIS / S. Openshaw // *The annals of regional science*. – 1992. – Vol. 26, № 1. – P. 35-51.

163. Rankin, William. *After the Map: Cartography, Navigation, and the Transformation of Territory in the Twentieth Century* / William Rankin. – Chicago: University of Chicago Press, 2016. – 419 p.

164. Said, Broumi. *An Intelligent Traffic Control System Using Neutrosophic Sets, Rough sets, Graph Theory, Fuzzy sets and its Extended Approach: A Literature Review* / Broumi Said, Malayalan Lathamaheswari, Prem Kumar Singh, Asma Ait Ouallane, Abdellah Bakhouyi, Assia Bakali, Mohamed Talea, Alok Dhital and Nagarajan Deivanayagampillai. // *Neutrosophic Sets and Systems*. – 2022. – Vol. 50. – P. 11-46.

165. Zhu, Q. Hierarchical lane-oriented 3D road-network model. *International Journal of Geographical Information Science* / Q. Zhu, Y. Li. – 2008. – № 22 (5). – P. 479-505. – URL: <https://doi.org/10.1080/13658810701492324>.