

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт архитектуры и дизайна
кафедра «Градостроительство»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Кукина И.В.
« ____ » _____ 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**«Формирование системы общественного электротранспорта в городе
Красноярске»**
07.04.04 «Градостроительство»

07.04.04.03 «Визуальные коммуникации (Цифровое искусство)»
Visual Communications (Digital Art)

Научный руководитель	_____	кандидат архитектуры, доцент, профессор кафедры «Градостроительств о»	И.В. Кукина
Выпускник	_____		Е.Ф.Килина
Рецензент	_____	кандидат техн. наук, доцент кафедры АД и ГС ИСИ СФУ	В.О. Егорушкин
Нормоконтролер	_____		_____ (фамилия и.,о.)

Красноярск 2019

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт архитектуры и дизайна
кафедра «Градостроительство»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Кукина И.В.
« ____ » _____ 2019 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Студенту ____ Килиной Екатерине Федоровне ____
Группа _АФ 17-03М____ Направление 07.04.04 «Градостроительство»,
07.04.04.03 «Визуальные коммуникации (Цифровое искусство)» Visual
Communications (Digital Art)

Тема выпускной квалификационной работы: Формирование системы
общественного электротранспорта в городе Красноярске

Утверждена приказом по университету № _____ от _____
Руководитель ВКР __И.В. Кукина, кандидат архитектуры, доцент, профессор
кафедры «Градостроительство», А.Ю. Липовка, кандидат техн.наук, доцент
кафедры «градостроительство»
Исходные данные для ВКР _____

Перечень разделов ВКР:

ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1. СИСТЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДСКОЙ
СРЕДЕ

1.1 Структура электрического транспорта и ее элементы

1.2 Анализ городских электротранспортных систем на примере России и
зарубежных стран

1.3 Роль электротранспорта в транспортном планировании города

ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ

ГЛАВА 2. ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ И АНАЛИЗУ
ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДА

2.1 Инструменты моделирования систем электротранспорта

2.2 Открытые данные и большие открытые данные в моделях электрического
транспорта

2.3 Модель развития системы общественного электрического транспорта

2.3.1 Описание модели

2.3.2 Алгоритм построения модели развития системы электрического
транспорта

2.3.3 Принципы развития модели электрического транспорта

ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ

ГЛАВА 3. МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ОБЩЕСТВЕННОГО
ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

3.1 Структура системы городского электротранспорта в Красноярске

- 3.2 Построение модели на основе многослойного ГИС-анализа и моделирование сценариев развития системы общественного электротранспорта города Красноярск
- 3.2.1 Линейные участки общественного электротранспорта в городе Красноярске
- 3.2.2 Транспортные мультимодальные узлы в системе общественного электротранспорта города Красноярск
- 3.3 Область применения и функционирование модели общественного электротранспорта города Красноярск

ВЫВОДЫ ПО ТЕРТЬЕЙ ГЛАВЕ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Список использованных источников

Приложение А

Перечень графического материала:

графическая экспозиция магистерской диссертации в общем объеме 12 м² (Схемы по 1 главе: Классификация видов общественного и личного электротранспорта, критерии оценки электротранспорта, сравнительный анализ по городам, схема моделей электротранспорта, свот-анализ; Схемы по 2 главе: схемы по использованию открытых данных, открытые транспортные данные и их классификация, схема моделирования, схема транспортного планирования, примеры транспортных моделей, схема алгоритма построения модели, схема многослойной геоинформационной модели развития электротранспорта, принципы модели: Схемы по 3 главе: Схемы по 5 слоям модели, схемы анализа интеграции, схемы эффективности маршрутной сети, схема общественного электротранспорта, схема общественного транспорта Красноярск, схемы 2 сценариев развития электротранспортной сети Красноярск); том машинописного текста (87 стр).

Руководитель _____ кандидат архитектуры, доцент, профессор кафедры «Градостроительство» И.В. Кукина

Задание принял к исполнению _____ Е.Ф.Килина

« ____ » _____ 2019 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
Глава 1. Система электрического транспорта в городской среде.....	10
1.1. Структура электрического транспорта и ее элементы	10
1.2. Анализ городских электротранспортных систем на примере России и зарубежных стран.....	17
1.3. Роль электротранспорта в транспортном планировании города.....	23
ВЫВОДЫ ПО 1 ГЛАВЕ.....	24
ГЛАВА 2. ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ И АНАЛИЗУ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДА	26
2.1 Инструменты моделирования систем электротранспорта.....	27
2.2 Открытые данные и большие открытые данные в моделях электрического транспорта.....	34
2.3 Модель развития системы общественного электрического транспорта.....	38
2.3.1 Описание модели.....	39
2.3.2 Алгоритм построения модели развития системы электрического транспорта.....	40
2.3.3 Принципы развития модели электрического транспорта.....	45
ВЫВОДЫ ПО 2 ГЛАВЕ.....	48
ГЛАВА 3. МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ОБЩЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА ГОРОДА КРАСНОЯРСКА.....	49
3.1 Структура системы городского электротранспорта в Красноярске.....	49
3.2. Построение модели на основе многослойного ГИС-анализа и моделирование сценариев развития системы общественного электротранспорта города Красноярска.....	55
3.2.1. Линейные участки общественного электротранспорта в городе Красноярске.....	60
3.2.2. Транспортные мультимодальные узлы в системе общественного электротранспорта города Красноярска.....	63
3.3 Область применения и функционирование модели общественного электротранспорта города Красноярска	65
ВЫВОДЫ ПО 3 ГЛАВЕ.....	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	67
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.....	69
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Согласно транспортной стратегии РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734-р, приоритет отдается пассажирскому транспорту общего пользования, в том числе, развитию всех видов электрического транспорта.

В среде современного города он имеет ряд преимуществ - обладает высокой скоростью и может осуществлять большой объем пассажироперевозок, а также не осложняет санитарное состояние городов. В настоящее время значительно расширились его виды и технологии. Электротранспорт осуществляет более 50 процентов городских перевозок в мире. В России развит достаточно слабо: высокая степень износа существующей инфраструктуры и подвижного состава, отсутствие связей с другими видами городских средств передвижения, недооцененность властями города и неэффективное использование рельсового транспорта. В эксплуатацию не вводятся электромобили и электробусы. Вследствие этого, пассажиропотоки, перевозимые системами электрического транспорта, малы или снижаются, пассажиры в большей степени ориентируются на индивидуальный и городской пассажирский автотранспорт.

Основной проблемой электротранспорта в Красноярске является слабая интегрированность в систему транспорта города, каждый вид развивается индивидуально, отсутствуют связи, а также, происходит деградация инфраструктуры. Эта проблема взаимодействия и комплексного развития различных средств передвижения на разных уровнях в городской среде. Поэтому вопрос формирования сбалансированной системы общественного электротранспорта в городе является актуальным на сегодняшний день.

Функционирование и развитие городского электротранспорта невозможно без принятия комплексных решений, в том числе без четкого эффективного государственного регулирования и планирования.

Территориально-транспортное планирование на местном уровне требует технологий использования систем с открытыми базами данных.

Повысить эффективность и уровень привлекательности сети общественного электрического транспорта, а также, снизить автомобильную нагрузку можно при планировании ее интегрированного развития, на основе градостроительного анализа. Поэтому для транспортного планирования, управления, а также для внедрения новых видов электротранспорта необходимы модели, учитывающие градостроительный анализ и основанные на системах открытых баз данных.

Объект исследования: система общественного электротранспорта города Красноярска.

Предмет исследования: принципы, методы и модель организации общественного электротранспорта в городе Красноярске.

Границы исследования: территория города Красноярска.

Цель исследования: создание модели развития системы общественного электротранспорта Красноярска на основе открытых данных.

Задачи исследования:

1. Провести анализ формирования и развития электротранспорта в городской среде на примере России и зарубежных стран;
2. Оценка существующего состояния общественного электротранспорта в городе Красноярске;
3. Разработать принципы взаимодействия видов транспорта и формирования МТПУ в данной связи;
4. Изучить и проанализировать инструменты открытых данных для транспортного планирования;
5. Создание алгоритма построения модели развития общественного электротранспорта Красноярска;

Методология и методы диссертационного исследования: Теоретико – методологической основой исследования явились научные труды

отечественных и зарубежных ученых в области формирования систем общественного электротранспорта во взаимосвязи с транспортно-пересадочными узлами. В модели использован метод построения тепловых карт линейных объектов, визуализация данных методом модульной кластеризации.

Научная новизна: В данном исследовании систематизированы существующие способы моделирования транспортных систем и предложен новый подход к моделированию системы электротранспорта на примере города Красноярска. Сформулированы принципы работы модели развития городского электротранспорта, а также разработан алгоритм ее построения и оптимизации.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1) Анализ и систематизация данных о транспортной системе Красноярска позволяют выявить ключевые тенденции развития и обобщить их в виде универсальной модели развития.

2) Существующая система электротранспорта Красноярска имеет потенциал для развития.

3) Разработана и сформирована база пространственных данных, которая представляет собой сетевую модель развития системы общественного электротранспорта Красноярска. Она позволяет рассчитывать большинство показателей транспортной обеспеченности на основе сетевого анализа с помощью ГИС-технологий.

3) Модель является инструментом создания стратегии транспортного развития города. Спланированные транспортные сети не только повышают удобство, но и оказывают положительное воздействие на окружающую среду и экономику, улучшают доступность и интеграцию городских районов.

4) Сценарное развитие в модели интегрированной системы электротранспорта позволяет оценить его комплексную работу в транспортной инфраструктуре города.

Теоретическая и практическая значимость: Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке алгоритма модели

общественного электротранспорта города Красноярска, основанная на открытых данных. Исходя из модели, получены принципы и рекомендации по совершенствованию городской пассажирской электрической транспортной системы в городе, отвечающей интересам городской среды.

ГЛАВА 1. СИСТЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

1.1. Структура электрического транспорта и ее элементы

Электротранспорт – вид транспорта, использующий в качестве источника энергии - электричество, либо альтернативные виды топлива, а в качестве привода - тяговой электродвигатель. Его основными преимуществами перед транспортом с двигателями внутреннего и внешнего сгорания являются более высокая производительность и экологичность. [1]

Современный электротранспорт привлекателен для пассажиров: отсутствие загрязнения, бесшумность, отсутствие вибраций при движении, плавность хода, высокая провозная способность, комфорт и скорость. [2] Среди его преимуществ – простота, ремонтпригодность и более долгий срок службы подвижного состава; движение без заторов и максимальная скорость – на обособленном полотне, наименьшие затраты на перевозку одного пассажира при концентрации пассажиропотока.

Его развитие влияет на городскую среду следующим образом:

- 1) Положительно воздействует на экологическую ситуацию, но имеет электромагнитное и шумовое загрязнения;
- 2) Оказывает влияние на рынок городской электроэнергетики;
- 3) Улучшает работу всей системы общественного транспорта;
- 4) Инфраструктура электротранспорта требует значительных площадей для зон обслуживания этих систем;
- 5) С развитием этого вида транспорта увеличивается транспортная доступность городских районов;

С точки зрения градостроительства, универсальность моделей электротранспорта обеспечивает возможность их применения в различных вариантах, а это существенно расширяет функциональные возможности городской системы общественного транспорта.

Ему присуща следующая инфраструктура: линейные участки сообщения, транспортно-пересадочные узлы (пункты стыкования с другими видами транспорта), контактная сеть (рельсы, воздушные провода, токоприемники), электрические подстанции и пункты подзарядки, депо.

Пространственная структура электротранспорта формируется двумя типами устойчивых элементов:

1. Мультимодальные транспортно-пересадочные узлы (МТПУ)

Железнодорожные вокзалы, городские станции электротранспорта, остановки общественного транспорта являются важными городскими узлами. Узлы имеют иерархию, связанную с их важностью и наполнением городскими функциями.

Под термином мульти модальный транспортно-пересадочный узел (МТПУ) понимают пункт стыкования и взаимодействия нескольких видов транспорта. Такой узел обычно объединяет в себе городские транспортные сети, а также обеспечивает единый путь из точки «А» в точку «В», с возможностью беспрепятственной смены того или иного вида средств передвижения. Транспортно-пересадочный узел (ТПУ) - это общественное пространство, которое не только объединяет различные виды транспорта, но и обеспечивает район необходимой технической инфраструктурой. Основной функцией формирования такого узла является комплексное развитие всех видов транспорта.

2. Линейные участки сообщения.

Линейные участки поддерживают потоки от, до и между узлами. Существует иерархия связей, движущихся к федеральным, региональным и городским узлам. В зависимости от их характера, узлы и связи обеспечивают функциональную связь, подразумевая взаимозависимые городские функции. Таким образом, в этой системе электротранспорт рассматривается, как технологически необходимый элемент линейной взаимосвязи.

Система городского общественного электротранспорта взаимосвязана между собой транспортно-пересадочными узлами, которые являются ядрами транспортно-ориентированных районов. Районом транспортно-ориентированного развития¹ в мировой практике градостроительства принято считать многофункциональную городскую единицу на пересечении транспортных магистралей, с повышенной плотностью застройки и функций. Отличительной особенностью района является возможность беспрепятственной смены транспорта.

Развитие новых электротранспортных систем в городе приводит к формированию мульти модальных пересадочных узлов, которые провоцируются ими из-за пересечения с другими видами городских средств передвижения. В них формируются разные потоки общественного транспорта, которые должны быть урегулированы. Эти узлы напрямую зависят от транспортной доступности того или иного района города. Эта взаимосвязь лучше всего прослеживается в транспортно-ориентированном районе. Соответственно, образуются узлы, разные по уровням – федеральные, региональные и городские. Развитие таких узлов потребует решения проблем внутригородского и пригородного сообщения.

В единой транспортной системе города все виды городского пассажирского сообщения должны быть взаимодополняющими. Системы наземного электротранспорта – первый уровень единой системы городского транспорта. Они имеют самые короткие расстояния между остановками. Вторым уровнем является рельсовый и безрельсовый электротранспорт (системы легкого рельсового транспорта², электробус, метро, монорельс), расстояние между станциями которого, составляет 2-4 остановки транспорта первого уровня. Третий уровень представляет собой системы городских железных дорог, сеть которых сформирована действующими

¹ TOD – Transport oriented district

² LRT – light rail transit

внутригородскими станциями. Расстояния между железнодорожными остановочными пунктами составляет 1-3 остановки между станциями транспорта второго уровня. Такая трехступенчатая система городского пассажирского электротранспорта связана между собой ТПУ. Это обеспечивает наименьшие затраты времени на поездку.

Эта система включает в себя общественный и личный виды электрического транспорта:

1. Наземный электротранспорт
2. Подземный электротранспорт

К подземному виду электротранспорта относятся метро и разновидности легко рельсового транспорта, например, подземный трамвай.

Также, эти виды транспорта делятся на:

1. Рельсовый

Рельсовый транспорт зафиксирован территориально, имеет меньшую мобильность, но более высокую скорость и провозную способность. К таким видам транспорта относятся: внутригородской железнодорожный транспорт, монорельс, системы легкого рельсового транспорта и трамвай. Рельсовые транспортные системы обладают большей вместимостью, надежностью и лучшим имиджем по сравнению с другими видами транспорта. Эти характеристики оправданы высоким уровнем спроса, территориальными ограничениями и географическими условиями. Рельсовая инфраструктура образует скелет транспортной системы.

2. Безрельсовый

Безрельсовый транспорт, в отличие от предыдущего, не зафиксирован территориально, имеет большую мобильность, но нуждается в постоянной подзарядке или дополнительной инфраструктуре. К таким видам транспорта относятся троллейбус, скоростные электробусы и дуобусы. Эти виды транспорта используют альтернативные виды энергии.

В свою очередь, личный электротранспорт делится на 2 типа:

3. Электромобиль
4. Персонализированный личный электротранспорт

К такому виду относятся: системы персонального автоматического транспорта ³, сегвей, моно колесо (сегвил), электровелосипед или гибридные велосипеды, электросамокат. Они имеют самую высокую степень экологичности, но проигрывают предыдущим видам транспорта по пропускной способности, а также, по временным затратам.

Виды городских систем электротранспорта:

1. Городской железнодорожный транспорт. Данный вид транспорта распространён в России, связано это с тем, что железнодорожная инфраструктура проходит через многие города России. Этот вид электротранспорта имеет такие же характеристики, что и системы легкого рельсового транспорта. Основной недостаток – абсолютно негибкая система, является территориально зафиксированным, поменять направления линий достаточно сложно.

2. Монорельс. Монорельс использует один несущий рельс, в отличие от обычной железной дороги. Монорельс является эстакадным видом транспорта. Он может преодолевать более крутые вертикальные уклоны, по сравнению с любым железнодорожным транспортом. Монорельс обладает более высокой скоростью и провозной способностью, в отличие от других видов железнодорожного транспорта. Для монорельса характерна быстрота строительства и ввода в эксплуатацию, относительно подземного метрополитена, без необходимости дорогостоящего выкапывания подземных тоннелей или переноса коммуникаций.

3. Системы легкого рельсового транспорта⁴ – разновидностями этого вида являются скоростной трамвай и легко - рельсовое метро. Эти системы обособлены от прочих транспортных потоков, имеют высокую скорость и

³ PRT – Personal Rapid Transit

⁴ LRT – light rail transit

большую провозную способность, сравнимую с метро. В России на сегодняшний день нет как определения понятия легко рельсовый транспорт, так и систем, соответствующих данному понятию. Часть линий в ряде существующих трамвайных систем относятся к разновидности легкого рельсового транспорта - скоростному трамваю, например, в Волгограде, Старом Осколе. В зависимости от градостроительных условий, участки этих линий могут обустраиваться, как магистральные (скорость движения до 90 км/час с исключением одноуровневых пересечений); обычные (до 60 км/час с одноуровневыми пересечениями); трамвайно-пешеходные зоны (до 15 км/час). По местным условиям выбирается тип обустройства верхнего строения пути: открытая рельсо - шпальная решётка; настил газона; укладка тротуарной плитки.

4. Трамвай. Этот вид транспорта имеет меньшую вместимость и провозную способность, по сравнению с предыдущими видами электротранспорта, но большую в отличие от троллейбуса и электробуса. Благодаря электроприводу и сравнительно маленьким колёсам в небольших трамваях легче, чем в автобусе и троллейбусе, обустроить низкопольную конструкцию, удобную для посадки маломобильных групп населения. Строительство трамвайной линии намного дороже строительства троллейбусной или электробусной сети. Трамвайная сеть отличается сравнительно низкой гибкостью.

При достаточно большом пассажиропотоке, эксплуатация трамвая обходится значительно дешевле эксплуатации электробуса и троллейбуса. Трамвайный вагон стоит дороже автобуса и троллейбуса, но при этом трамваи отличаются большим сроком службы. Если автобус редко служит дольше десяти лет, то трамвай может эксплуатироваться 30–40 лет. Вместимость вагонов трамвая, выше, чем у автобусов и троллейбусов. Оптимальная загрузка автобусной или троллейбусной линии — не свыше 3–4 тыс. пассажиров в час, классического трамвая — до 7 тыс. пассажиров в час.

5. Троллейбус. Этот вид транспорта имеет меньшую провозную способность и скорость относительно трамвая. Контактная сеть троллейбуса двухпроводная — в отличие от контактной сети трамвая, где в качестве второго провода используются рельсы, — и как следствие, значительно сложнее и тяжелее. Этот вид транспорта является гибким, не привязан территориально, осуществляет движение, как и автобусные маршруты. Электрическая контактная сеть мобильна, монтаж мало затратный. Троллейбус может отклоняться от оси контактной сети на расстояние до 4,5 м, иногда даже более, благодаря чему сравнительно легко маневрирует в транспортном потоке.

Самый инновационный троллейбус в мире работает в испанском городе Кастельон-де-ла-Плана: он едет по выделенной полосе с оптической системой автоматического направления движения, водитель практически не вмешивается в управление.

6. Электробус. Данный вид транспорта имеет самую высокую степень мобильности. Однако, для электробусов необходимо создание сети зарядочных станций для аккумуляторов. Электробус имеет низкие эксплуатационные расходы, но стоимость подвижного состава очень высока, по сравнению с другими видами электротранспорта. Скорость электробуса сравнима со скоростью трамвая, но провозная способность, как у троллейбуса.

По данным Международного союза общественного транспорта (UITP), на конец 2017 года в мире насчитывалось 273 000 машин, из которых 98% работало в Китае. Если в 2014 г. было выпущено 12 670 электробусов, то в 2016 г. – 94 260. С каждым годом, электрический транспорт внедряется в города более активно.

В России рынок электротранспорта начал развиваться значительно позже, чем в других странах, но имеет ряд перспектив. На сегодня, городской наземный электрический транспорт действует более чем в 118 городах. По высказыванию Лина В.И. «В России самым эффективным и скоростным передвижением является железная дорога. Россия – это железнодорожная

сверхдержава». Как артериальная система, она может стать одним из вариантов городского электрического транспорта российских городов. Наличие высокоскоростной системы железных дорог обеспечивает развитие городских районов. [3]

Представляется, что развитие общественного транспорта, особенно, трамвайно-троллейбусного, должно не только улучшить территориальную доступность российских городов, но и реализовывать требования экологичности. Но сложившаяся ситуация требует модернизации существующего парка электротранспорта.

1.2. Анализ городских электротранспортных систем на примере России и зарубежных стран

В развитых странах электротранспорт является основным перевозчиком пассажиров внутри города, на его долю приходится более 50 процентов перевозок, а в развивающихся странах от 15.

В рамках европейской программы по снижению выбросов в атмосферу, власти Парижа и Амстердама озвучили планы полностью перейти на гражданский электротранспорт к 2020 году [4]. В городах, где проводится или планируется модернизация системы общественного транспорта, чаще всего развивают рельсовый вид электротранспорта. Такая модернизация позволяет заодно реорганизовать систему городских автобусных маршрутов, переведя их в категорию подвозящих.

Успешный пример интеграции рельсового транспорта был продемонстрирован в Швейцарии, где междугородним железнодорожным сообщением осуществляется работа транспортной системы несколькими национальными и местными операторами, представляющие как государственный, так и частный сектор. Такая модель предполагает основное развитие скоростных видов рельсового транспорта на региональном и городском уровнях.

В последние годы появились новые системы приоритетного развития скоростного рельсового транспорта: Сан-Диего и Калгари, где открыли новые линии легкого рельсового транспорта; Мюнхена, Вашингтона, Сан-Франциско, где пустили линии метрополитена и пригородных железных дорог. [5] В Чикаго, Торонто и Гамбурге развитые транспортные системы с частично или полностью обособленными путевыми конструкциями. Эти системы включают сеть маршрутов, полностью покрывающих всю территорию города или агломерации в целом, которая сбалансированно взаимодействует с другими видами транспорта. Внедрение таких систем происходило поэтапно, с учетом транспортного планирования и политики землепользования, были разработаны генеральные планы развития общественного транспорта.

Далее, исходя из мирового опыта, были определены основные модели интегрированных электротранспортных систем:

1. Модель национальной сети скоростного общественного транспорта (Развитие внеуличного рельсового транспорта, систем легкого рельсового транспорта, пригородного железнодорожного сообщения как основных видов в транспортной инфраструктуре города);
2. Модель приоритетности одного из видов скоростного электротранспорта (физическое отграничение от общего потока транспортных средств, т. е. приоритетность проезда категорий – обособление от общего потока.)

Категория обособленного права проезда⁵ подразумевает абсолютную отделенность от улицы. К таким видам относятся: метро, скоростные трамваи, пригородные поезда, внутригородской железнодорожный транспорт. Категория движения в общем потоке⁶ - это движение в общем потоке, но обособленно: выделенные полосы, но общие перекрестки. Эти две категории могут очень неплохо оптимизировать транспортную систему города. К данной категории относятся традиционные рельсовые системы:

⁵ ROW-A (right-of-way) – право проезда, обособленная категория.

⁶ ROW – B (right-of-way) – движение в общем потоке

метрополитены, легкий рельсовый транспорт, пригородные железнодорожные линии.

3. Модель комплексной сети электротранспорта (Сбалансированное развитие всех видов электротранспорта);

4. Модель подключающейся сети электротранспорта (Развитие челночных видов электротранспорта);

Далее, для сравнительного анализа были выбраны следующие города, которые имеют уникальные электротранспортные городские системы: Сиэтл, Стокгольм, Мельбурн, Екатеринбург. Для сравнения были определены следующие характеристики: плотность УДС, протяжённость автобусных или троллейбусных/трамвайных линий, количество пересадочных узлов, количество подвижного состава, а также количество маршрутов.

1) Сиэтл. Это один из многих американских городов, в которых во время автомобильного бума уничтожали трамвайные и троллейбусные сети. Но сейчас в городе функционирует интегрированная система общественного транспорта. Уникальность этой системы состоит в том, что подвижной состав имеет техническое оснащение в виде буферного сцепления с рельсами, токоприемниками, а также стандартный дизельный двигатель. В центральной части города, этот подвижной состав подключается к воздушным электрическим линиям, затем к рельсовым сетям, на окраинных территориях функционирует, как автобус. Троллейбусы имеют аккумуляторы, которые позволяют управлять машиной на участках без контактного провода, что дает возможность использовать машины в автономном режиме на расстоянии до пяти километров.

Интегрированная система включает в себя крупные узлы пересечения, оснащенные перехватывающими парковками и организованными остановками общественного транспорта. Данная система привела к заметным улучшениям в городе, например, отсутствие вибрации, низкому уровню шума, увеличение частоты движения маршрутов. Сеть сократила транзитные перегрузки на

многих центральных улицах, понизила уровень использования личного транспорта в центральной части города.

2) Стокгольм. Основой системы электротранспорта Стокгольма является метро. Его протяженность составляет 105,7 км. Данная система имеет подключение к другим видам электротранспорта. Система стокгольмского метро развивается по принципу территориальной доступности городских районов. Уникальность данной системы заключается в расположение организованных транспортно-пересадочных узлах, а также, связью с регионами страны через эту сеть. Сеть метро имеет четко выраженный центр, образующий узел, в который связываются все ветки. Основным узлом Стокгольма является центральный железнодорожный вокзал, откуда отходят региональные ветви.

3) Мельбурн. Этот город в Австралии давно считается одним из лучших в мире для общественного электротранспорта. Благодаря большим данным и специальному анализу, известная трамвайная система Мельбурна может автоматически перенастраивать маршруты в ответ на внезапные проблемы, такие как крупное городское событие или стихийное бедствие [6]. Данные также используются в этой системе для устранения проблем, прежде чем они станут серьезными. Датчики, расположенные на оборудовании трамвайных вагонов и дорожек, могут обнаруживать, когда требуется техническое обслуживание на определенной части. Экипажи быстро отправляются на ремонт, и трамвайная система продолжает работать плавно. Это похоже на идею интернета вещей⁷, в которой встроенные датчики собирают данные, которые затем анализируются для выявления проблем и повышения эффективности.

В России электротранспортные системы развиты недостаточно, большая часть подвижного состава изношена, а также несовершенна сама система – отсутствует интегрированность. В большинстве регионах России количество трамваев со сроком службы более 15 лет - свыше 78%, троллейбусов - 63%. Но

⁷ Internet of Things – интернет вещей

на сегодняшний день существует потенциал развития городских железнодорожных, а также трамвайных линий. [7]

4) Екатеринбург. В Екатеринбурге трамвай является самым приоритетным видом общественного транспорта. В первую очередь это связано с тем, что он охватывает большую часть районов города, а также имеет связь с другими видами транспорта. Уникальность этой системы заключается в связности с общественным транспортом, а также повышенным комфортом. Современный подвижной состав екатеринбургского трамвая очень удобный для маломобильных групп населения, а также, в нем применены самые современные технологии, используются новые информационные системы обслуживания сети.

№ п/п	Город	Виды электрического транспорта	Протяженность сети			Кол-во маршрутов			Кол-во подвижного состава автобусов/троллейбусов	Кол-во подвижного состава трамваев
			Автобус	Троллейбус	Трамвай	Автобус	Троллейбус	Трамвай		
1	Сиял	Интегрированная система Trolley bus (автобус – троллейбус), трамвай, LRT, метро, городская жд	389 км	109 км	6,1 км	423	15	2	174 (универсальный подвижной состав) 120 – метро/LRT	6
2	Стокгольм	Интегрированная система трамвая, автобуса и LRT, городская жд	109,5 км	3 км	36,6 км	450	1	4	56 – трамвай 156 – метро/LRT 220 – автобус	60

4	Мельбурн	Интегрированная система трамвая, автобуса и LRT, городская жд	201,5 км	-	250 км	350	-	28	120 – трамвай 250 - автобус	493
5	Екатеринбург	Трамвай, троллейбус, жд, метро	160 км	79,9 км	183,2 км	87	19	31	169 - трамвай 250 - автобус	459
6	Красноярск	Не интегрированная система – троллейбус, трамвай, городская жд, автобус	212 км	133,9 км	26,6 км	60	6	4	20- троллейбус	42

Таблица 1. Сравнительный анализ электротранспортных систем.

Исходя из анализа, были определены следующие критерии развития моделей систем электротранспорта:

1) Интегрированность в городскую транспортную систему города (Для функционирования электротранспортных систем необходима связь с другими видами общественного и личного транспорта.)

2) Техническая современная оснащённость (Современные системы электротранспорта должны быть оборудованы датчиками и специальными устройствами, с помощью которых возможно осуществлять мониторинг технического состояния системы, а также, анализ использования той или иной сети. В анализе качества электротранспортной системы помогают большие открытые данные, которые могут быть получены с мобильных устройств пассажиров.)

3) Удобство для всех групп населения города (Электротранспорт отличается высоким качеством и комфортом перевозок пассажиров, включая маломобильные группы населения)

4) Территориальная доступность

1.3. Роль электротранспорта в транспортном планировании города

Электрический транспорт является устойчивой территориальной структурой, для которой необходимо комплексное планирование сети, потому что его интегрированная система имеет исключительное значение для повышения качества услуг и привлечения пассажиров. Он открывает возможности для формирования сбалансированной интермодальной транспортной системы при существенно меньших затратах, когда город разрастется и осознает потребность в высокоэффективном общественном транспорте. [7]

В России, планированию электротранспорта отводится незначительная роль. Специалисты в сфере градостроительного и транспортного планирования и проектирования недооценивают данный вид транспорта. В условиях сложившейся плотной застройки только городской общественный электротранспорт способен осуществлять массовые перевозки населения, потому что имеет высокую провозную способность.

Рельсовый транспорт играет важную роль в пригородном и городском сообщении. Он обеспечивает большую мобильность городских перевозок, по сравнению с другими средствами передвижения. Этот аспект должен учитываться не только при планировании транспортной сети, но и городской структуры в целом.

Во-первых, капитальная инфраструктура видов электротранспорта различна. Территориальная фиксация электротранспорта ведет за собой сложности при реконструкции и согласованности при территориальном развитии города. Кроме того, прокладка трамвайных путей и линий электропередач для электротранспорта сопряжена с определенными техническими затруднениями в организации движения в городе. Это является основным препятствием для реконструкции города.

Во-вторых, необходимо учитывать охват его обслуживания. Его существующее состояние и планирование сети следует координировать с текущей застройкой города. Этому виду транспорта необходимы землеотводы под новое строительство его инфраструктуры, а также следует учитывать эксплуатационные аспекты взаимодействия маршрутов, включая подвозящие.

И в-третьих, электротранспорт оказывает положительный экологический эффект на городскую среду. Все эти преимущества и недостатки играют важную роль при территориально-транспортном планировании.

Поэтому, необходимо учитывать проекты развития общественного транспорта в составе всех крупных проектов новой застройки города. Особенно это касается электрического транспорта, т.к. большинство видов являются негибкими, территориально зафиксированными, потому что связаны с электрическими технологиями.

Выводы по первой главе

- 1) Электротранспортные средства передвижения делятся на различные виды и уровни. В России наиболее распространённым является трамвай, а наиболее эффективным и перспективным – электробус.
- 2) В настоящее время, в мире сложились следующие модели электротранспорта: национальной сети скоростного общественного транспорта, приоритетности одного из видов скоростного электротранспорта, комплексной сети электротранспорта, подключающейся сети челночного электротранспорта.
- 3) Железнодорожный транспорт может использоваться как внутригородской, так как связывает большое количество городских районов за короткий промежуток времени, имеет большую вместительность.

4) Электротранспортные сети должны быть интегрированы в общую городскую транспортную сеть города с помощью организованных транспортно-пересадочных узлов на базе железнодорожных.

ГЛАВА 2. ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ И АНАЛИЗУ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДА

Методы анализа данных, применяемых для общественного транспорта:

1. Прогнозная аналитика

С помощью больших данных⁸ и данных от датчиков, установленных на оборудовании, возможен анализ с гораздо большей скоростью и на разных уровнях. Используя эти данные, уполномоченные градостроительные органы могут прогнозировать оптимальные требования к техническому обслуживанию подвижного состава и транспортных сетей, к их планируемому развитию, а также, влиянию на окружающую среду. Например, данные можно использовать для прогнозирования предстоящих сбоев на отдельных участках электротранспортной сети, при этом специалисты могут планировать техническое обслуживание оборудования точно в нужное время.

2. Реакция на чрезвычайное событие

Очень важно иметь быстрый и оптимальный отклик на чрезвычайную ситуацию, особенно во время незапланированных событий, а технологии «больших данных» сегодня предоставляют инструменты для достижения таких мер.

Территориально-транспортное планирование – деятельность по планированию развития территориальных транспортных систем. Его основная задача - обеспечение взаимодействия субъектов транспортной инфраструктуры и согласованного распределения ресурсов (финансовых, территориальных, организационных, материальных), направляемых на развитие территориальной транспортной системы в целях реализации стратегии устойчивого развития городских территорий. [8]

С помощью планирования и моделирования создаются модели транспортных систем городов. Моделирование позволяет проанализировать

⁸ Big data – большие данные

наиболее эффективный план развития транспортной сети. Это процесс создания модели транспортной системы города, как концептуального представления его стратегии развития. Важнейшая цель транспортного моделирования — составление объективных прогнозов транспортной ситуации в зависимости от внешних (социально - экономических, демографических, природно - климатических) и внутренних изменений (развитие сетей, транспортных систем, подвижного состава и т.п.).

Развитие городской транспортной системы города будет создавать постоянно растущие объемы данных. В свою очередь, объем данных будет постоянно уплотняться с увеличением количества подвижного состава, плотности остановочных пунктов, транспортных узлов. Все эти данные можно исследовать и использовать для построения модели на основе применения программного продукта. Транспортное моделирование с открытыми данными крайне необходимо как для содержания и развития транспортных систем Красноярска, так и в России в целом.

При этом, градостроительный анализ должен учитывать местные особенности территории, морфологическую структуру города. Такой анализ учитывает не только проекты развития или реконструкции развязок дорог, но и генеральный план развития города. Анализ транспортной инфраструктуры проводится с целью определения потенциала с выявлением проблем состояния сети и выработки предложений по их решению с учётом направлений стратегического развития.

Технологии моделирования – это возможность не только рассчитать и спрогнозировать, но и создать с помощью модели визуальное выражение идеи проекта. [9] Транспортное моделирование помогает оценить и выбрать оптимальную с точки зрения транспортных затрат инфраструктуру, учитывающую градостроительные аспекты среды.

2.1. Инструменты моделирования систем электротранспорта

На сегодня различают следующие инструменты моделирования транспортных систем:

1. Инструменты сбора данных (Сбор транспортных данных можно осуществлять методами транспортного обследования (использование методик опроса, сбор и подсчет градостроительных и транспортных характеристик), с использованием автоматизированных пунктов учета дорожного движения (АПУ), основанных на применении детекторов и датчиков транспорта, методами экспертных оценок).
2. Инструменты анализа (Работа с полученной информацией ведется с помощью специальных программ, которые включают инструменты для оценки показателей работы транспортной сети, исследования транспортной доступности территории, поддержки принятия решений при планировании транспортной системы города и организации движения транспорта в населенном пункте. [10])
3. Инструменты визуализации данных

Геоинформационные технологии (ГИС) являются связующим звеном, потому что имеют инструменты сбора данных, их анализа и визуализации. Поэтому, планирование электротранспортной системы на основе этих технологий в сфере градостроительства позволяет моделировать различные ситуации с помощью открытых данных и проводить качественный анализ на базе автоматизированных расчетов.

Современные ГИС позволяют получать точные геометрические параметры моделей, выполнять геопространственный анализ, выявлять существующие критические отклонения от требований, прогнозировать развитие городской инфраструктуры. Статистический анализ транспортной модели города базируется на анализе входных данных. Такими являются плотность населения, длина и время прохождения пути, а также данные о сопутствующем обслуживании этих линий.

Геоинформационная система может включать в свой состав пространственные базы данных, редакторы растровой и векторной графики, различные средства пространственного анализа данных. Развитые средства визуализации позволяют ГИС легко управлять отображением данных. Традиционным результатом обработки и анализа пространственных данных является карта, которая легко дополняется отчетными документами, трехмерными изображениями, таблицами, диаграммами, фотографиями и другими мультимедийными средствами. Кроме базовых операций, ГИС имеет и специальные группы функций, реализующих задачи прокладки маршрута, поиска кратчайших расстояний, пространственной статистики и т. д. [12]

По своему назначению, стандартные инструменты визуализации в ГИС-технологиях можно разделить на:

1. Простые инструменты составления карт и диаграмм (Типичными примерами являются инструменты для электронных таблиц - «Microsoft Map» в «Excel» и «Lotus Maps». Эти приложения дают возможность легко использовать функции тематического картирования (то есть отображения на карте информации из своей базы данных));
2. Настольные ГИС-пакеты широкого применения (Продукты ArcView GIS, MapInfo, QGIS, GeoMedia, GeoGraph/GeoDraw предоставляют собой средства для анализа, интеграции и отображения пространственных данных);
3. Полнофункциональные системы и ГИС уровня предприятия (ГИС в рамках предприятия может быть реализована с использованием серверов пространственных данных типа «Spatial Database Engine» (SDE), работающих с клиентскими приложениями типа настольных приложений «ArcView» и «ArcInfo». Например, железнодорожная компания может использовать ГИС, чтобы всегда иметь точную информацию о маршрутах и географическом положении подвижного

состава, своевременно обновлять техническую и строительную информацию, обеспечивать работу групп обслуживания, иметь полное представление об эксплуатационных параметрах и затратах на каждом участке пути.)

Одним из важнейших достоинств геоинформационных систем является то, что они позволяют очень наглядно представить человеку информацию о территориально распределенных объектах и явлениях. [13] Такой формой визуализации в ГИС является интерактивная карта.

С помощью больших данных аналитические отделы уполномоченных органов администрации города в сфере градостроительства могут получать более точное представление о потребностях пассажиров на разных маршрутах. Они могут использовать эти данные для улучшения транспортного планирования и дальнейшего моделирования.

Транспортное моделирование – это процесс создания оптимального варианта развития транспортной сети города. С помощью этого процесса решаются задачи по оптимизации маршрутной сети, обеспеченности населения общественным транспортом, а также вопросы, связанные с обслуживанием и эксплуатацией, как сети, так и подвижного состава. Моделирование позволяет сравнить и проанализировать варианты развития как системы электротранспорта, так и транспортной структуры города в целом, с помощью интерактивной карты.

Интерактивная транспортная карта города – это имитационная модель, отражающая текущее и прогнозируемое состояния различных видов городского транспорта. С помощью подобной модели, возможно, управлять транспортными процессами на городском уровне. Перспективность такого метода определена тем, что его применение позволяет рассчитать и спрогнозировать возможные варианты развития всей системы транспорта города и региона, включая общественный электротранспорт. Оперативно планировать и определять базовые показатели функционирования сети, районы

с недостаточной и избыточной транспортной инфраструктурой и т.д. Этот подход позволяет основываться на объективных данных научных исследований при принятии управленческих решений. Существуют различные программные средства, реализующие моделирование в виде интерактивной карты.

Известны различные программные средства, позволяющие осуществлять транспортное моделирование, среди которых можно перечислить следующие: «PTV Vision VISUM» - стратегическое планирование дорожной инфраструктуры; «PTV Vision VISSIM» – микро моделирование – оценка текущего и проектного состояний организации дорожного движения; «СВЕТОФОР» – расчет режима регулирования и задержек светофорных объектов; MXURBAN – реконструкция и ремонт городских улиц и дорог с учетом инженерных сетей; «AIMSUN», Civil 3D, Credo, Robur, и др. Принципиально перечисленные программные средства различаются, кроме всего прочего, уровнем проектирования (стратегическое планирование, микро моделирование и т.п.) и некоторыми характерными особенностями. [14]

Соответственно, транспортные модели можно разделить на несколько категорий:

1. Модели транспортных потоков

В моделях данной категории учитывается время реакции водителей, исследования движения на многополосных дорогах, на перекрестках и в крупных пересадочных узлах. В основном, эти модели рассчитаны на автомобильный вид транспорта.

Программный продукт «PTV OPTIMA» используется для создания динамических транспортных моделей, с возможностью прогнозирования характера транспортного потока в зависимости от текущей транспортной ситуации: возникновение ДТП, ремонт дороги, неработающий светофор и т.д. в режиме реального времени.

2. Прогнозные модели

Модели позволяют симулировать процессы передвижения населения и грузов по городу с выбором путей следования и видов используемого транспорта. Они предназначены для оценок транспортных потоков при изменении транспортной сети, а также потокообразующих объектов города.

Программный продукт «PTV VISUM» широко используется во всем мире для транспортного планирования и оптимизации маршрутной сети общественного транспорта. Он интегрирует всех участников движения в единую математическую мульти модальную транспортную модель, которая в последствие служит инструментом для принятия стратегических решений относительно развития транспортной структуры города или региона, а также рентабельности маршрутной сети.

3. Имитационные модели

Эти модели ориентированы на описание поведения участников транспортного процесса и правильность воспроизведения параметров и характеристик движения. Имитационные модели позволяют оценивать скорость движения, задержки на перекрестках, длину и динамику образования транспортных заторов и т.п.

Программный продукт «PTV VISWALK» позволяет имитировать и оценить поведение пешеходов в зависимости от планировочных или организационных решений, а также моделировать взаимодействие с транспортом в ходе подготовки массовых мероприятий (концерты, выставки, соревнования).

В подкатегорию имитационных моделей можно выделить модель, определяющая загрузку транспортной сети на основе расчета стратегий поведения пользователей. Она называется моделью оптимальных стратегий.

Модели планирования и управления транспортными системами включают автоматическое местоположение транспортного средства⁹, подсчет

⁹ AVL - automatic vehicle location

пассажиропотоков¹⁰ и сборку тарифов¹¹, изменения типов и качества данных, доступных плановикам и специалистам транспортной и градостроительной отраслей.

Все транспортные модели, основанные на этих программных средствах, не учитывают градостроительный анализ городской структуры. Но на сегодня существуют некоторые модели, которые частично учитывают развитие города. Рассмотрим более подробно некоторые из них.

Например, транспортная модель Москвы и Московского региона фрагментарно учитывает генеральный план развития города. Эта модель представляет собой интерактивную карту, которая разбита на транспортные районы, где моделируются транспортные связи между ними. Исходя из анализа районов, назначается равновесное распределение маршрутов общественного и личного видов транспорта. Модель учитывает развитие транспортной инфраструктуры (строительство или реконструкция шоссе, прокладка новой линии метрополитена) и развитие территорий (строительство крупных жилых массивов или производственных предприятий). Транспортная модель разработана с использованием программных комплексов Citilabs Cube и INRO Emme. [15]

В Казане создана транспортная модель, которая позволяет моделировать потоки дорожного движения в городе, на основе технологий анализа больших данных. Транспортную модель создали специалисты ОАО "Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта" (НИИАТ, Москва). Она представляет собой анализ данных по обследованию пассажиропотока и существующей маршрутной сети транспорта. После того, как базы данных были объединены, специалисты в сфере транспорта получили возможность моделировать транспортные и пассажирские потоки с учетом оптимальных

¹⁰ APC - automatic passenger counting

¹¹ AFC - automatic fare collection

решений, учитывая потребности всех пользователей разных видов транспорта. Но данная модель не учитывает городскую структуру.

Более подробный анализ транспортных моделей представлен в таблице 2 «Анализ транспортных моделей городов» в приложении.

На сегодняшний день в Красноярске существует разные расчетные математические транспортные модели, созданные специалистами в сфере транспорта. Эти модели учитывают только технические и эксплуатационные характеристики. Также, функционирует интерактивная карта города, размещенная на портале краевого сайта городской администрации. На ней мы можем подключать не только картографические подложки, но и слой транспортной инфраструктуры, генеральный план и схему землепользования. Все эти слои находятся в растровом формате, которые возможно проанализировать только в режиме онлайн. Эти данные о транспортной системе города невозможно использовать для моделирования, отсутствует единая база транспортных данных.

2.2. Открытые данные и большие открытые данные в моделях электрического транспорта

В модели используется определенный набор данных, которые являются открытыми. Они существуют на федеральных порталах и муниципальных ресурсах. Вот наиболее известные источники открытых данных:

- data.gov.ru
- open.gov.ru
- data.mos.ru

В наши дни развитые государства во всем мире стремятся к открытости в разной форме. В июне этого года на встрече G8 в Великобритании принимающая сторона предложила подписать «Хартию открытых данных». Её, в том числе, подписала и Россия. Главные принципы, которые прописаны в Хартии — это открытость данных по умолчанию, своевременная их

публикация в машиночитаемом виде, прозрачность и обязательство обеспечивать условия, в которых разработчики будут создавать приложения на основе открытых данных.

Открытые данные¹² – данные в свободном доступе, предоставляемые органами государственной власти и/или местного самоуправления Российской Федерации, представленные в машиночитаемом формате и раскрывающие деятельность органа власти в рамках исполнения им своих функций. Все данные, признаваемые открытыми, подлежат публикации в открытых источниках с целью обеспечения доступа к ним и дальнейшего свободного использования со стороны внешних технических средств. [16]

Если объединить структурированные данные (геопространственные и телекоммуникационные, данные логистики, измерительных устройств и приборов), получаемые при городском планировании с неструктурированными потоками данных из социальных сетей и веб-сайтов (все размещенные видео, изображения и текстовые данные, которые содержат метки времени и местоположения, индивидуальные фотографии, видеоролики и интеллектуальные системы), каналов от камер наблюдения, беспилотных летательных аппаратов, то мы получим большие городские данные. [17]

Большие городские данные дают возможность построения моделей и тестирования градостроительных теорий, а также являются современным эффективным методом городского планирования [18]. Примеры такого планирования — определение плотности потоков на конкретных участках дорог, определение динамики городской деятельности (города реального времени) и миграционных потоков населения в течение дня, определение фактического обхвата города [19]. Использование анализа больших данных в городском планировании вносит структурные изменения в города, так как данный метод предполагает оптимизацию экологических, экономических и социальных моделей городских систем.

¹² Open data – открытые данные

Американская ассоциация исследователей общественного мнения (AAPOR) в своем отчете о «Больших данных» приводит довольно общее определение: «Термин “Большие данные” – это своего рода описание больших по объему и разнообразных по составу характеристик, практик, технических приемов, этических проблем и последствий, которые связаны с данными» [20].

Большие данные – это комплексное понятие, сочетающее в себе:

- 1) непосредственно данные (множество закодированной информации);
- 2) совокупность технологий работы с этими данными;
- 3) новый взгляд, новую парадигму в науке о данных¹³.

Проблемы системы больших данных можно свести к трем основным группам: объем, скорость обработки, не структурированность.

Хранение больших объемов информации требует специальных условий, и это вопрос пространства и возможностей. Скорость связана не только с возможным замедлением и «торможением», вызываемом старыми методами обработок, это еще и вопрос интерактивности: чем быстрее процесс, тем больше отдача, тем продуктивнее результат.

Транспортные большие данные делятся на два класса – по форме их сбора:

- Первый класс больших данных – статический (Это в первую очередь все виды камер – как установленных заранее, так и переносных мобильных, которые фиксируют лишь то, что попадает в их направленный фокус. Информация данного класса предельно локальна. Ее смысл и потенциал проявляются только когда собирается в длинную цепь.)

- Большие данные второго класса – динамические. Это данные, получаемые с различных датчиков и устройств, которые не привязаны к конкретному месту и постоянно находятся в движении, часто – в непосредственной близости или даже внутри самого исследуемого объекта (можно сказать, что это классические датчики интернета вещей).

¹³ data science – наука о данных

Проблема неоднородности и не структурированности возникает по причине разрозненности источников, форматов и качества. Чтобы объединить данные и эффективно их обрабатывать, требуется не только работа по приведению их в пригодный для работы вид, но и определенные аналитические инструменты (системы).

Открытые данные транспортной сети города в российских городах:

- 1) Набор данных о маршрутах и тарифах (наименование маршрута, номер маршрута, вид сообщения (городское, пригородное), наименование улиц и автодорог, по которым проходит маршрут, наименование остановочных пунктов маршрута, протяженность маршрута (км), направление (прямое или обратное), порядок посадки и высадки пассажиров, тариф день (стоимость проезда), вид регулярных перевозок (по регулируемым тарифам/по нерегулируемым тарифам), время первого выхода на маршрут (утро), время последнего выхода на маршрут (вечер), расписание, вид транспортного средства, класс транспортных средств, количество транспортных средств, экологические характеристики транспортных средств, координаты прямого трека маршрута, координаты обратного трека маршрута - используются для создания приложений навигации в городе, справочных сервисов; в сочетании с динамическими данными — отображают на карте движение транспорта на маршруте);
- 2) Набор данных об остановках и их координатах (используется в картографии, в приложениях для построения оптимального маршрута, поиске ближайших остановок; в сочетании с расписанием — расчет прибытия транспорта на остановку, при объединении с координатами транспорта можно анализировать нагрузку отдельных маршрутов или остановок);
- 3) Набор данных об объектах дорожного сервиса (парковки, АЗС, мотели, СТО и т.п.);

Всего в 168 городах 504 набора данных - базовая информация, составляющая их основу (маршруты, остановки, дорожные сервисы), размещена почти наполовину.

В основном, данные о транспортных системах – закрытые. Основные проблемы, которые стоят на пути развития открытых транспортных данных: отсутствие строгой обязанности их публикации, отсутствие единого подхода к стандарту транспортных данных, закрытость публикаторов. Чтобы преодолеть эти проблемы, нужны системные изменения: разработка стратегии/дорожной карты, закрепление стандартов публикации данных, внедрение зарубежного опыта.

2.3. Модель развития системы общественного электрического транспорта

Спланированные и эффективные транспортные сети являются основой транспортного планирования города. Одним из универсальных методов планирования является транспортная модель города. Сегодня, существует большое количество транспортных моделей городов, но они не учитывают пространственные и социально-экономические факторы городской среды.

Чтобы комплексно оценить перспективы градостроительного развития города и ситуацию по развитию транспортной инфраструктуры, необходима мульти модальная транспортная модель, которая может стать ядром городской интеллектуальной транспортной системы (ИТС). С помощью подобной модели, возможно, выполнять имитационное моделирование и предложить варианты оптимизации для наиболее проблемных транспортных участков или узлов. Это поможет справиться со сложной дорожной обстановкой, и увеличить привлекательность перевозок на общественном транспорте, особенно электрическом.

Модель является инструментом создания стратегии транспортного развития города. Спланированные транспортные сети должны не только повышать удобство, но и оказывать положительное воздействие на

окружающую среду и экономику, улучшать доступность и интеграцию городских районов. Система общественного транспорта должна опираться на электрический транспорт.

2.3.1. Описание модели

Модель представляет собой цифровую платформу для сбора, обработки и анализа использования электрического транспорта в открытом доступе. Одной из общих задач транспортной модели является создание эффективной интегрированной системы электротранспорта, регулирование информационных потоков, который бы обеспечивал высокое качество передвижения людей в городской среде.

Транспортная модель развития электротранспорта - программный комплекс, состоящий из информационных и расчетных блоков. Информационные блоки составляют единую базу открытых данных, предназначенную для хранения и обработки информации, необходимой для анализа и планирования электротранспортной системы. Расчетные блоки реализуют алгоритмы влияния системы электротранспорта на структуру города. Они выражаются в следующих переменных: плотность УДС, количество пассажиров, плотность потоков общественного транспорта и т.д.

Модель включает в себя 4 этапа: Первичный анализ и сбор данных; разработка сетевой транспортной модели с помощью ГИС-инструментов; анализ сетевой модели, запуск расчета и ее уточнение; создание платформы, моделирование и выгрузка на сервер.

Важнейшим аспектом моделирования являются определение состава, сбор, систематизация и предварительная обработка исходных данных, которые зависят от выбранного метода моделирования. В модели развития осуществляется картографический анализ (Карта зависимых слоев), определение постоянных переменных транспорта и их свойств, включая

технические характеристики (скорость движения, количество остановочных пунктов, временные параметры).

Многослойная модель нужна для управления процессами развития и формирования электротранспортных систем. Она позволяет собирать, анализировать и сравнивать различные характеристики и зависимости разных видов электротранспорта, такие как плотность застройки, плотность улично-дорожной сети, провозной способности, городской мобильности, протяжённости сети электротранспорта.

Такая модель применима:

- Для муниципальных ведомств города (Создание стратегии развития транспорта, документов территориального планирования);
- Для практикующих фирм проектирования (проекты по реконструкции сети, проекты внедрения электротранспортных сетей);
- Для институтов градостроительной направленности (выработка научных гипотез, стратегий развития для проектных решений);

2.3.2. Алгоритм построения модели развития системы электрического транспорта

Создание модели развития электрического транспорта включает в себя следующие этапы:

Этап 1. Первичный анализ.

Сбор и анализ данных (создание базы пространственных данных системы электрического транспорта), первичный градостроительный анализ;

Этап 2. Разработка сетевой транспортной модели с помощью ГИС-инструментов (Создание модели сети - граф улично-дорожной сети (узлы и отрезки), остановки и маршруты общественного транспорта; создание модели спроса - транспортные районы, места проживания, работы, отдыха и городских точек притяжения);

Этап 3. Анализ сетевой модели, запуск расчета и ее уточнение. Анализ пространственных слоев с градостроительной точки зрения.

Этап 4. Создание платформы модели и ее запуск на сервер.

Рассмотрим более подробно каждый этап создания модели.

Этап 1. Первичный анализ и сбор данных

Модель строится исходя из градостроительного анализа определенного города. Для построения модели электрического транспорта необходим глубокий анализ всей транспортной системы города. Анализ электротранспортной инфраструктуры города проводится на основе открытых геоданных, которые расширяют возможности для характеристики транспортной инфраструктуры города.

Наборы данных, используемые для создания модели, были получены с помощью открытых данных и их доработки путем векторизации на основе данных интернет источников, данных OSM¹⁴, shape-файлов.

Этап 2. Разработка сетевой транспортной модели с помощью ГИС-инструментов

Транспортная сетевая модель состоит из 5 интегральных слоев. Далее, в программе «QGIS» с помощью специальных инструментов формируется набор данных, где устанавливаются правила связности, ограничивающие переходы между сетями, весовые поля и т.д., таким образом, все слои объединяются в единую базу данных модели развития электротранспорта, и завершается ее создание и подготовка к ГИС- анализу.

В сетевой модели были определены следующие пространственные слои:

1) Слой транспортной инфраструктуры

Улично-дорожная сеть и инфраструктура общественного транспорта образуют каркас города, формируют его планировочную структуру. Электротранспортные коммуникации — наиболее устойчивый элемент этой структуры, сохраняющий свое функциональное значение, даже при глобальных

¹⁴ OSM – Open Street Map

изменениях в организации городского транспорта и жизнедеятельности населения. От планировочной сети УДС зависит уровень загрузки и плотность транспортных потоков.

Этот слой включает следующие подслои: УДС, городской общественный транспорт (маршруты), ТПУ, электротранспортные сети (трамвай, троллейбус, городская железнодорожная сеть и т.д.), остановки каждого вида общественного транспорта, радиусы обслуживания той или иной маршрутной сети.

2) Слой инженерной инфраструктуры электротранспорта

Слой инфраструктуры включает в себя обособленные электротранспортные сети, пункты подзарядки, депо, а также их радиусы обслуживания.

3) Слой естественных барьеров и рельефа города

Топологическая схема, в особенности исторических городов, создается с учетом природных условий: рельефа местности, наличия водотоков и климата. В большинстве случаев, многие естественные рубежи являются границами кварталов. А линия электротранспорта прокладывается, учитывая естественные преграды местности. При проектировании линий общественного электротранспорта важна непрерывность городской ткани — она обеспечивает условия комфортного перемещения пользователей из одного района в другой и рост потоков посетителей объектов сопутствующей коммерческой инфраструктуры.

Естественные преграды и барьеры влияют на транспортную доступность городских районов, поэтому они должны учитываться при планировании новой или реконструкции существующих сетей.

4) Слой застройки вдоль линий электротранспорта

Данный слой влияет на охват обслуживания вдоль электротранспортных линий. Плотность районов города является важной и фундаментальной переменной для введения и функционирования электротранспорта. Количество

посадочных мест для пассажиров может быть проанализировано в соотношении плотности использования окружающих районов. Размеры кварталов и районов зависят от протяженности линий электротранспорта.

Здесь выделяется основная переменная – плотность застройки. Городская плотность является основным методом дифференциации. Потому что спрос на общественный электротранспорт увеличивался с увеличением населения и коммерческой плотностью, и зависит от его обслуживания и цены. На развитие того или иного вида общественного электротранспорта влияют социальные группы населения и рабочие места.

5) Слой функционального наполнения

Чтобы создать оптимальный уровень интеграции, важно обеспечить функциональным наполнением более плотные районы, через которые проходят не моторизованные транспортные средства. Распределение функций влияет на формирование электротранспортных сетей. Использование городских функций помогает подчеркнуть более широкое использование общественного электротранспорта в землепользовании города.

Концепция модели основана на наложении статистических и функциональных слоев, и это указывает на схему распределения городских ключевых функций в посадочных узлах. Благодаря соотношению спроса и предложения общественного электротранспорта, функциональное наполнение вдоль зафиксированной линии обеспечивает всестороннюю взаимосвязь между морфологической структурой города.

Создание сетевой модели проводится на нескольких уровнях: на уровне агломерации, города и локальных участках. Это позволяет объединить работу разных специалистов 3 уровней. Моделирование на 3 уровнях позволит принимать комплексные решения по реконструкции или модернизации транспортной сети города.

Этап 3. Анализ сетевой модели, запуск расчета и ее уточнение. Анализ пространственных слоев с градостроительной точки зрения.

После подготовки к ГИС-анализу, определяются характерные зависимости путем визуализации наложения слоев и переменных, уточняются исходные данные и запускается расчет. Каждый слой модели является зависимым. В этой модели возможно моделирование, меняя внутренние параметры пространственных слоев. Исходя из этого, мы получим разные сценарии развития электротранспортной системы города. Основной функционал – расчет и анализ для транспортного планирования города.

После глубокого градостроительного анализа и выявленных зависимостей определяем основные пути развития системы электрического транспорта.

При использовании в модели набора больших данных используется метод «кластеризации». Кластерами являются группы в чем-то схожих или близких по свойствам объектов. Для визуального представления объектов из разных кластеров используются контрастные цвета. Визуализация ассоциаций демонстрирует частоту, с которой те или иные элементы появляются вместе в наборе данных, за счет чего определяется структура организации данных (например, где электротранспортные системы наиболее влияют на структуру города). Кластеризация осуществляется автоматическим нахождением групп, на которые должны быть разбиты анализируемые объекты. Объединение кластеров происходит пошагово. На основании матрицы расстояний или матрицы сходства признаков объединяются наиболее близкие объекты.

Этап 4. Создание платформы модели и ее запуск на сервер.

Далее, переходим к созданию платформы модели. Интерфейс состоит из: графической части (картографический анализ) и расчетного блока с вводом основных показателей в виде модели графов. С помощью основных показателей, в программе задаются условия, при которых меняется система электротранспорта. То есть, вводятся параметры для сценарного моделирования.

Создание платформы выполняется с помощью программных средств, основанных на языке программирования «java script» соответствующими специалистами. Далее производится запуск на сервер.

Для реализации и эффективной работы модели развития электротранспорта необходима команда из соответствующих специалистов из градостроительной, транспортной, геоинформационной, инженерной и информационно-технологической (ИТ) сфер.

2.3.3. Принципы развития модели электрического транспорта

Исходя из проведенного анализа и алгоритма построения модели, были сформулированы следующие принципы развития модели электротранспорта:

1. Принцип интегрированности (мульти модальности)

Мульти модальность – коммуникация с точки зрения пространственных и визуальных ресурсов, которые используются для построения модели. Этот принцип подразумевает взаимодействие всех видов городского транспорта. Для этого необходимы транспортно-пересадочные узлы, с помощью которых происходит интеграция общественного электротранспорта. Этот принцип обеспечивает связность городских районов.

2. Принцип согласованности

Принцип касается согласованности интересов властей, разных организаций перевозчиков, а также пассажиров. Прежде всего, это относится к согласованности в расписании маршрутной сети.

3. Принцип иерархичности

Для эффективности работы электротранспортной системы и наиболее рационального распоряжения маршрутной сетью целесообразно максимально использовать уже существующую транспортную инфраструктуру. И в особенности - инфраструктуру рельсового транспорта, обладающего максимальной провозной способностью и наибольшим

потенциалом для развития. В связи с этим предлагается заложить принципы, в основе которых будет лежать приоритет рельсового транспорта, как транспортного каркаса в городе. Целесообразно выделять отдельные полосы движения для электротранспорта.

4. Принцип последовательности

Этот принцип подразумевает постепенное развитие и внедрение электротранспортных систем, учитывая их иерархичность.

5. Принцип эффективности

Выбранный вид электротранспорта должен отвечать критериям эффективности, как с технической точки зрения, так и с градостроительной. Также, внедряемая или реконструируемая маршрутная сеть должна быть эффективна с точки зрения пассажира.

6. Принцип мобильности

Интегрированная система электротранспорта должна обладать большой степенью мобильности. Основная задача – обеспечение большей части населения города транспортными услугами, включая маломобильные группы населения.

Исходя из принципов организации модели развития электротранспорта, могут быть получены рекомендации по проектированию и реконструкции этих систем. Рекомендации направлены на устойчивое развитие всей транспортной системы города.

С помощью принципов развития универсальной модели электротранспорта, возможно, улучшить функционирование городской системы транспорта. В первую очередь, электротранспорт улучшает экологическую составляющую города, что является наиболее актуально для Красноярска.

Улучшение работы городского транспорта влияет на все экономические процессы города. Качественный транспорт связывает все структуры города, что позволяет беспрепятственно перемещаться пассажирам. Также, он является

самым выгодным из всех видов общественного транспорта, потому что имеет низкую себестоимость и формирует рынок труда. Города с неэффективным транспортом теряют население, уставшее от заторов, загрязнения воздуха, отсутствия четких гарантий в сфере транспорта.

С развитием электротранспорта увеличивается транспортная доступность городских районов. На пересечениях электротранспорта с другими видами транспорта формируются узлы разных значений в зависимости от обслуживаемых территорий. Визуализация интегрированной системы помогает оценить комплексную работу электротранспорта в транспортной инфраструктуре города.

Для любого города необходима такая информационная модель транспортной системы города. Это делается путем смешивания городской морфологии и транспортных систем, определяя взаимосвязь между транспортом и мобильностью, районами и кварталами вдоль транзитных путей. Морфологическая структура описывается городскими плотностями, землепользованием, расстояниями до общественного транспорта, демографическими данными.

Модель помогает увидеть реальную картину транспортно-ориентированного развития города. Во-первых, она позволяет делать прогнозы на этапе эскизирования, то есть планирования. Во-вторых, при учете всех факторов в планировании транспортно-пешеходной системы – возможна экономия на транспортных услугах, освоении наиболее кратчайших пешеходных путей, энергетических затратах. И наконец, такое информационное подключение к городу позволяет осуществлять мониторинг всей системы. Данную модель, возможно, использовать для дальнейшего сбора данных, их редактирования и совершенствования в целях локализации информации для специалистов из разных сфер.

Выводы по 2 главе

1) Планирование транспортной системы может осуществляться через моделирование, при условии использования и исследования открытых данных и больших открытых данных.

2) Анализ и использование открытых данных и больших открытых данных провоцирует внедрение цифровой среды города, в том числе электронных моделей систем электротранспорта.

3) Структура и конфигурация маршрутной сети наземного пассажирского электрического транспорта будет меняться по мере дальнейшей застройки территорий города, строительства транспортно-пересадочных узлов, развития метрополитена и других видов скоростного транспорта, а также более тесного взаимодействия городского и пригородного железнодорожного транспорта.

4) Проведенное исследование дает основание сформулировать принципы модели развития электротранспорта: принцип интегрированности (мульти модальности), принцип согласованности, принцип иерархичности, принцип последовательности, принцип эффективности, принцип мобильности.

ГЛАВА 3. МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ОБЩЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

3.1 Структура системы городского электротранспорта в Красноярске

Общественным транспортом в г. Красноярске пользуются около 205 млн. пассажиров в год, в будний день около 680 тыс. пасс. В среднем, ежедневно на улицы города выходят 882 единицы автобусов, троллейбусов и трамваев. Сегодня на рынке пассажирских перевозок города Красноярска работают 2 муниципальных автобусных предприятия, 1 муниципальное предприятие электрического транспорта «Городской транспорт» и 45 организаций частной формы собственности.

Самым распространённым видом транспорта в Красноярске является автобус. Но его маршрутная сеть является неэффективной, отсутствует связь с другими видами транспорта.

Доля электротранспорта в Красноярске составляет всего 20 %. В Красноярске линейно-узловая система сформирована железной дорогой, остановками и магистралями. В городе на данный момент существует три вида общественного электротранспорта – внутригородской железнодорожный транспорт (проект городская электричка), трамвай и троллейбус.

1. Внутригородской железнодорожный транспорт

В Красноярске железнодорожная линия трансформировалась в структурно-планировочное кольцо, вокруг которого интенсивно сформировались производственные и коммунально-складские кластеры, а также новые жилые районы. Внутригородское железнодорожное движение функционирует с 2008 года. Система внутригородского железнодорожного транспорта не оправдала себя из-за отсутствия организованных остановочных пунктов, а также связи с другими видами общественного транспорта. Этот вид транспорта может стать альтернативой метрополитена в городе. В период с 2012 года, с начала его реализации, по 2015 год внутригородской

пассажиропоток увеличился на 37,6%. В настоящий момент, по городским маршрутам курсируют 32 пары поездов, ежедневно осуществляющих перевозки по трем направлениям:

- Овинный – Бугач – Красноярск – Енисей – Сады;
- Красноярск – Бугач – Красноярск-Северный;
- Красноярск – Енисей – Дивногорск.

В схему движения входят 17 остановочных пунктов на территории Красноярска и 6 – на маршруте от Красноярска до Дивногорска. Среднесуточный пассажиропоток составляет около 3 тысяч человек.

К недостаткам этого вида электротранспорта относятся: несогласованность в расписании, неорганизованная связь с другими видами транспорта, неразвитость или отсутствие транспортно-пересадочных узлов (ТПУ).

Данный вид транспорта имеет большой потенциал для развития. В связи с тем, что он охватывает большинство городских районов, позволяет передвигаться из одного района города в другой за максимально короткое время. На сегодня, существует проект «Круговая городская электричка», который предполагает организованное движение по железнодорожному кольцу с транспортно-пересадочными узлами, а также закупку нового современного подвижного состава.

2. Трамвай

Движение красноярского трамвая проходит по выделенной линии. Трамвайное движение в Красноярске было запущено в городе в 1935 году. Правый берег города был связан с левым трамвайной линией. В 1994 году было прекращено движение трамваев через мосты города, маршруты были видоизменены и сокращены. Соответственно, видоизменилась и морфологическая структура улиц и районов, где проходили данные линии трамвайных и троллейбусных путей.

В настоящее время в Красноярске действует всего 4 трамвайных маршрута. Все маршруты курсируют только на правом берегу города, отсутствует связь с левобережной частью. Протяженность сети трамвайной линии составляет 25,6 км, количество подвижного состава – 42 единицы.

К недостаткам этого вида транспорта относятся: ухудшение физического состояния существующего парка и электротранспортных сетей, деградация инфраструктуры, сокращение маршрутов. Также, наблюдается неочеченность данного вида транспорта властями.

Но по сравнению с предыдущим видом транспорта, трамвай частично интегрирован в общую систему транспорта города. Он имеет связь с автобусными маршрутами, остановки располагаются параллельно, радиус пешеходной доступности не превышает 300-400 метров. В последнее время наблюдается улучшение инфраструктуры – замена на бесшумные технологии прокладки рельсов, а также закупка нового современного подвижного состава.

В транспортной схеме генерального плана Красноярска существует проект развития трамвайной сети, в котором предполагается связь с левобережной частью города.

3. Троллейбус

Строительство троллейбусной линии в Красноярске началось в 1956 году. Первоначально, троллейбусы ходили по проспекту имени Сталина (ныне проспект Мира). В 1960 году был открыт маршрут № 3 «Красная площадь — Комсомольский городок», в 1962 году троллейбусы объединили Комсомольский и Студенческий городки, немного позже, вагоны пошли по маршруту номер 4 до кирпичного завода на улице Калинина. В 1970 году троллейбус соединил Свободный проспект с новыми микрорайонами Зелёной Роши. Протяжённость сети троллейбуса – 133,9 км. По состоянию на июль 2018 года, в городе на линии выходят 66 троллейбусов, которые обслуживают 6 маршрутов.

Троллейбусные маршруты соединяют больше территорий города, по сравнению с трамвайными маршрутами. Они курсируют на левом берегу и соединяют центр города с октябрьским, северным и железнодорожным районами. Как и трамвай, троллейбус имеет связь с автобусным движением.

К недостаткам этого вида транспорта относятся: физический износ существующего парка, деградация инфраструктуры, сокращение маршрутов, а также ментальное непонимание и профессиональное заблуждение о неэффективности данного вида транспорта.

№ п/п	Вид транспорта	Средний минимальный интервал, мин.	Средний максимальный интервал, мин.	Среднее время в пути, мин.	Средняя протяжённость, км
1	Автобус	12,48	26,74	49,38	16,06
2	Троллейбус	27,00	36,00	49,43	11,31
3	Трамвай	14,80	32,80	32,80	8,11

Таблица 3. Характеристика городского пассажирского транспорта Красноярска

Исходя из анализа транспортной системы города, были выявлены следующие проблемы транспортной сети Красноярска:

- 1) Основная проблема электротранспортной системы в Красноярске – отсутствие связей электротранспорта с системой общественного транспорта города.
- 2) Износ подвижного состава троллейбусов оценивается в 93 %, трамваев — 98 %. Большинство автобусов муниципальных перевозчиков достигнет к 2019 году 100% уровня износа;
- 3) Высокий уровень дублирования и протяженности маршрутов пассажирского транспорта, особенно в центральной части города - неэффективная сеть;
- 4) Ограниченность сети трамвайного и троллейбусного сообщения вынуждает часть населения осуществлять поездки с пересадками или использовать для поездки только автобусный вид транспорта;

- 5) Сложность восприятия пассажирами маршрутной сети, отсутствие единой навигации и системы сквозной тарификации, слабое развитие системы информирования пассажиров;
- 6) Отсутствие развитых транспортно-пересадочных узлов, низкое качество пешеходной среды на подходах к остановочным пунктам;
- 7) В схемах Генерального плана Красноярска отсутствует чёткая стратегия реализации планов градостроительного и транспортного развития;

Данная электротранспортная система не интегрирована в транспортную сеть города. Поэтому, для ее совершенствования необходима модель развития электротранспорта, с помощью которой возможно планирование интеграции сети.

Перспективы развития электротранспортной сети: в транспортной стратегии Красноярска существует «Программа развития скоростной трамвайной системы г. Красноярска». Она направлена на развитие сети трамвая, включая левобережную часть города, а также создание обособленной сети скоростных маршрутов, проходящих через центральную часть города.

По данному проекту предполагаются следующие действия:

- Строительство скоростной трамвайной линии в эстакадном варианте в микрорайон «Северный»: ст. Северная – ул. 9 Мая – ул. Авиаторов – ул. Алексеева, ул. Шахтеров, ул. Взлетная – междугородный автовокзал – ул. Шахтеров – ул. Брянская – Центральный рынок;
- Развитие линии скоростного трамвая от центра города до микрорайона «Солнечный»;
- Строительство скоростной трамвайной линии от ул. Высотная до аэропорта «Емельяново»;
- Использовать тоннель строящегося метрополитена для организации скоростного трамвая (Работа «Метротрама» успешно зарекомендовала себя во многих городах мира);

- Соединение существующей линии трамвая с устройством эстакады через железнодорожные пути по направлению п. Энергетиков – КрасТЭЦ;
- Строительство новой линии по направлению ул. Матросова (по ул. Свердловская) – Бобровый лог – Роев ручей – 4-й мост – ЖД вокзал – п. Николаевка;
- Реконструкция существующей железной дороги до Дивногорска для скоростного трамвайного движения;
- Рассмотрение вопроса о восстановлении трамвайного движения через мост Октябрьский;
- Создание скоростной линии: автовокзал Восточный – г. Сосновоборск – г. Железногорск;

К 2020 году на маршруте "Городской электрички" в Красноярске увеличат количество остановок – с 17 до 22-х. В текущем году, железнодорожники планируют сдать новую платформу и приступить к строительству ещё трёх. Ряд остановочных пунктов преобразуют в полноценные транспортно-пересадочные узлы.

Стоит отметить, что в Красноярске существует проект развития скоростных маршрутов электробусов. Предполагается, что данные маршруты свяжут все виды электротранспорта между собой.

3.2. Построение модели на основе многослойного ГИС-анализа и моделирование сценариев развития системы общественного электротранспорта города Красноярска

Геоинформационное моделирование основано на разработке многослойных электронных карт. В этих картах, опорный слой описывает географические особенности территории, а каждый из прочих слоёв является одним из аспектов состояния территории. На электронную карту мы можем вывести многочисленные слои объектов.

Построение модели базируется на следующих этапах:

1. Этап 1 - градостроительный анализ транспортной системы Красноярска, сбор и обработка открытых данных.
2. Этап 2 - построение многослойной модели с помощью ГИС-инструментов на основе программы QGIS.

Построение послойной модели производится с помощью программных продуктов ArcGIS и QGIS. В программах был использован следующий инструментарий:

- Пространственный анализ
- Пространственные запросы
- Функции буферизации
- Наложение полигонов
- Оценка близости и определение пересечения улиц
- Визуализация (Представление полученных результатов в виде карт)

Модель строится по 5 определяющим слоям: транспортная инфраструктура, застройка, функция, инженерная инфраструктура транспорта. Также пристраиваются слой подосновы – топологический слой города, привязывается гугл-карта в проекции для Красноярска.

В ГИС - модели представлены следующие слои и их составляющие:

А. Слой транспортной инфраструктуры

Транспортная сеть исследуемой территории Красноярска состоит из трех основных иерархических подслоев:

- а) Слой УДС (Протяженность, категории улиц и дорог) Данный слой играет роль пространственного каркаса территории города, к которому привязываются объекты ТПУ, остановок, застройки. Этот слой необходим для анализа интеграции.
- б) Слой электрического транспорта (Вид электротранспорта, протяженность сети, пассажиропотоки)
- в) Слой маршрутной сети (вид маршрута, номер, его протяженность, время в пути)

Он состоит из:

- Маршрутной сети внутригородского железнодорожного транспорта – основная, базовая составляющая электротранспортной сети, служащая каркасом для дальнейшего развития, наиболее скоростная и имеющая максимальные показатели по перевозкам пассажиров.

- Маршрутных сетей основных видов наземного городского транспорта – автобусы, троллейбусы, трамваи. Данные сети создают сообщение между железнодорожным кольцом, связывает кварталы и районы города между собой.

- ТПУ и остановки общественного транспорта (Этот слой включает в себя вид пересечения, классификацию узлов/остановок, данные пассажиропотока и временные характеристики (периодичность маршрутов), радиус доступности)

г) Слой планируемых (перспективных) электротранспортных сетей и маршрутов (Линии и ТПУ/остановки)

При наложении этих подслоев формируется единая транспортная сеть Красноярска. Также, при создании модели необходимо учитывать, что люди должны добраться до остановки необходимого им вида транспорта, поэтому дополнительно включается подслой пешеходного графа. Этот подслой позволяет учесть и варианты мульти модальных поездок, когда одна поездка разделяется между несколькими видами транспорта и необходима пересадка.

В. Слой инженерной инфраструктуры электротранспорта

Данный слой включает в себя: распределительные электрические станции, депо, буферные и санитарно-технические зоны. Слой дополняет подслой электротранспорта сопровождающей инфраструктурой и объектами обслуживания электрической сети.

С. Слой застройки вдоль линий электротранспорта

Вдоль линий электротранспорта анализируются плотностные характеристики кварталов, а также застройка обслуживающего характера.

Слой включает следующие подслои:

- а) Застройка (Здесь указывается вид застройки, ее площадь и этажность)
- б) Ареалы вдоль линий электротранспорта (Этот слой необходим для расчетного анализа интенсивного/экстенсивного использования территорий вдоль линий электротранспорта. Также, здесь указывается плотность населения)
- в) Парковки (Тип парковки, площадь, вместимость)

Д. Слой функционального наполнения

- а) Слой землепользования (За основу данного слоя взято землепользование вдоль основных электротранспортных магистралей города Красноярск. Этот слой включает в себя функциональные зоны вдоль транспортных линий.)
- б) Слой существующего функционального использования вдоль электротранспортных линий (Он необходим для функционального анализа)
- в) Слой точек притяжения (Здесь указывается емкость, количество функций, значимость). Этот слой необходим для анализа транспортных передвижений (Основные точки притяжения, места приложения труда).

3. Этап 3 - анализ линейных участков и ТПУ, а также моделирование их перспективного развития

4. Этап 4 - выгрузка на сервер сетевой геоинформационной многослойной модели

Для построения модели развития электрического транспорта Красноярск и устранения системных транспортных проблем необходимо внедрение на управленческом уровне принципов устойчивого транспортного развития:

- 1) Принцип мульти модальности (Равномерное развитие всех видов транспорта в сети, ТПУ и логистических центров. Данный принцип обеспечит интегрированность электротранспорта в системе общественного транспорта города Красноярск.);

- 2) Принцип эффективности маршрутной сети (Развитие электротранспортной маршрутной сети с подключающимися короткими маршрутами других видов транспорта);
- 3) Принцип иерархичности (Приоритет отдается развитию внеуличному городскому электротранспорту – внутригородскому железнодорожному транспорту, метро);
- 4) Принцип функционального баланса (соблюдение и оптимизация функционального назначения различных элементов транспортной инфраструктуры, учёт разнообразия функций городских улиц и целевое установление их рационального использования при проектировании);
- 5) Принцип устойчивости (повышение управляемости транспортной системы, снижение негативных эффектов для экологии города);
- 6) Принцип мобильности (минимизация временных затрат населения, а также беспрепятственный доступ для маломобильных групп населения);

Для реализации этих принципов необходимо решить следующие задачи для системы общественного транспорта Красноярска:

- 1) Снижение среднего времени поездок на общественном транспорте;
- 2) Создание удобной для пассажиров маршрутной сети с минимальным уровнем дублирования маршрутов и не прямолинейности маршрутов, относительно кратчайшего расстояния между конечным и начальным пунктами;
- 3) Предоставление приоритета общественному электротранспорту в транспортном потоке;
- 4) Развитие и интеграция системы внеуличного транспорта с существующей маршрутной сетью (городская электричка);
- 5) Создание транспортно-пересадочных узлов в местах пересечения электротранспорта с другими видами транспорта;

б) Снижение уровня выбросов загрязняющих веществ и шумовой нагрузки вдоль маршрутов следования за счёт приоритетного развития городского электротранспорта.

7) Обеспечение беспрепятственного доступа к транспортным услугам для маломобильных групп населения.

Интеграция структурированных крупных массивов данных в транспортную модель предоставила возможность подготовки объективных и научно обоснованных предложений по развитию транспортной системы Красноярска. Итогом многослойного анализа является послойная ГИС-модель, которая основана на открытых данных. Модель, возможно, подключать к сети и работать с ней в режиме онлайн. Она является подосновой для моделирования Красноярской электротранспортной модели развития.

Слой транспортной сети представлен в виде графа. Вершины графа – это точки на сети, наиболее важные для определения расстояний или маршрутов движения – остановки общественного транспорта, а также транспортно-пересадочные узлы. Звенья графа – это отрезки транспортной сети, характеризующие наличие связи между соседними вершинами. Звенья графа характеризуются числами, которые могут иметь различный физический смысл (расстояние, время и т.д.).

Графовая модель анализируется по 5 слоям ГИС - модели. В слое транспортной инфраструктуры анализируются такие параметры, как время пути (временные изохроны и радиусы доступности), скоростной режим и трафик. В слое инженерной инфраструктуры закладывается размещение обслуживающей инфраструктуры, включая подзарядные устройства и станции на перспективных линиях электротранспорта. Далее, в следующем слое учитываются естественные преграды и рельеф территории города, при расчете изохрон.

В слое застройки анализируется интенсивное или экстенсивное использование окружающей застройки, а также плотностные характеристики,

которые зависят от пассажиропотока той или иной электротранспортной сети. В слое функционального наполнения анализируются такие характеристики, как интенсивность функций, емкость, FAR, OSR. Все эти характеристики протраиваются в виде графиков и диаграмм на звеньях графовой модели.

3.2.1. Линейные участки общественного электротранспорта в городе Красноярске

В рамках моделирования обеспеченности общественным транспортом было необходимо определиться с количеством, местом и значением различных элементов в структуре городского транспорта в целом.

Линейные участки включает в себя следующие параметры: протяженность сетей, тип транспорта, количество маршрутов, проходящих по тому или иному линейному объекту и максимальную скорость на определенных участках.

Далее, по выстроенным слоям в линейных участках производится следующий анализ и расчетное сценарное развитие:

1. Анализ интеграции сети общественного электротранспорта

Этот анализ проводится с помощью программного обеспечения «Space Syntax».

В Красноярске на данный момент интегрирована железнодорожная ветвь от станции Енисей до станции Октябрьская. В первую очередь это связано с пассажиропотоками, крупными объектами приложения труда (ОАО «Красцветмет», АО «КЖБМК», крупные точки оптовой и розничной торговли). Маршруты троллейбуса являются наиболее интегрированными на участке от проспекта Свободного до улицы Калинина. В жилых микрорайонах «Покровка», «Солнечный» и «Ветлужанка» отсутствует интеграция с сетью общественного транспорта.

Далее, на основе проанализированных данных существующей ситуации, проводится анализ возможных сценариев развития электротранспортной сети города.

Согласно принципу мульти модальности, необходимо равномерное развитие всех видов транспорта в сети для обеспечения наилучшей интеграции. Для интеграции электротранспорта необходимо провести пешеходные связи на участках узла «Красноярск – Северный», станции «Бугач», станции «Студенческая». Для того, чтобы интегрировать жилые районы «Покровка», «Солнечный» и «Ветлужанка» необходимы челночные виды электротранспорта, следующие от городских станций внутригородского железнодорожного транспорта.

Согласно развитию транспортной инфраструктуры по генеральному плану развития, интеграция осуществляется за счет добавления новых участков скоростных линий на Октябрьском мосту и на проспекте Мира, а также строительства дополнительного моста для соединения жилых районов «Зеленой рощи» и Ленинского района.

Но данная структура себя не оправдывает из-за отсутствия связи с другими видами транспорта. Каждый вид электротранспорта – скоростной трамвай, городская электричка, троллейбус развиваются по отдельности, а не в комплексе. При таком варианте интегрированной частью является большая часть правого берега и Центральный, Октябрьский и Северный районы города. Здесь не решаются все существующие проблемы интеграции.

В данном варианте интеграция достигается за счет развития кольцевого (опоясывающего) движения: 1 кольцо – легко рельсовый транспорт, 2 кольцо (внутри границ 1 кольца) – скоростной трамвай.

2. Анализ эффективности маршрутной сети

На линейных участках анализируется скорость движения подвижного состава и пропускная способность. В данной работе этот параметр оценивается с точки зрения частоты совершаемых рейсов для остановок общественного

транспорта и ТПУ. В свою очередь, параметр частоты рейсов оказывает прямое влияние на эффективность общественного транспорта и на составное время в пути от начальной точки до конечной точки притяжения. С другой стороны, частота относится к производительности самой системы общественного транспорта, и к удобству пользования ее услугами. Данный параметр, как и параметр доступа, предлагается проецировать на городской район в целом, а именно, рассчитывать среднее значение от всех рейсов, совершенных на всех остановках или ТПУ, лежащих в пределах данного района на всех маршрутах, которые, каждая из остановок обслуживает. Для этого будет произведена обработка транспортных данных с целью формирования формата данных, пригодного для такого расчета.

В данном анализе определяется коэффициент пропускной способности. Наиболее высокий коэффициент у внутригородского железнодорожного транспорта. Он определяется, как зависимость время маршрута с учетом времени технического окна маршрута, деленное на время пути состава.

В Красноярске скорость подвижного состава можно повысить за счет интеграции с более скоростным общественным транспортом – внутригородским железнодорожным сообщением.

3. Анализ обеспеченности общественным электротранспортом

В данном анализе определяется коэффициент обеспеченности населения общественным электротранспортом.

4. Анализ доступности (мобильности)

Этот анализ строиться из расчета изохрон от остановок и ТПУ на определяющих маршрутах электротранспортной сети.

Далее, выполнив все виды анализа, проводится сравнительный анализ выбранных сценариев развития и определяется наиболее оптимальный. Исходя из сравнения, определяется потенциал для определения наиболее приоритетных элементов электротранспортной сети, планируемых к вводу в эксплуатацию.

3.2.2. Транспортные мультимодальные узлы в системе общественного электротранспорта города Красноярска

В планировке транспортно-пересадочных узлов выделяют три основных зоны:

- Зона транспортного ядра - операционная (технологическая);
- Зона развития - дополнительное обслуживание (общественная зона);
- Зона влияния;

Эти зоны помогают определить размеры:

- транспортного ядра и его наполнение, в зависимости от размера;
- зоны развития каждого вида транспорта и их пересечения между собой.

Это позволяет разместить наиболее стратегически важные объекты в зонах пересечения видов транспорта, а также оптимально трассировать пешеходные пути и разместить остановочные пункты;

- зоны влияния, где возможно расположение основных точек притяжения;

Транспортно-пересадочные узлы являются вершинами звеньев графовой модели. Они анализируются во взаимосвязи с многослойной моделью линейных участков.

По выстроенным слоям в узловых участках производится следующий анализ и расчетное сценарное развитие:

1. Анализ доступности

Транспортная сеть Красноярска имеет покрытие большей части города радиусами доступности остановок общественного транспорта. Но выполнение условия наибольшего покрытия городской территории системой общественного транспорта не всегда означает его максимальную привлекательность для горожан.

В связи с этим требуется разработка и использование дополнительных стратегических подходов при анализе эффективности транспортных услуг. Существует ряд методик по оценке параметра доступности, таких как

изохронный подход [12]. В данной модели используется анализ с использованием расчета изохрон от ТПУ и остановок общественного транспорта.

2. Анализ эффективности (интенсивность, функциональный анализ)

В этом разделе анализируются технико-экономические показатели существующих территорий узлов, а также, выявляются территории, имеющие потенциал для развития.

Как и с линейными участками, здесь проводится сравнительный анализ выбранных сценариев развития и определяется наиболее оптимальный.

3.3 Область применения и функционирование модели общественного электротранспорта города Красноярска

Модель также может быть использована для простого тестирования улучшений сети как добавления новых линий. В работе предложен метод моделирования систем общественного транспорта в виде мультиплексных сетей, который позволяет либо получить более подробную информацию об их свойствах сети, либо извлечь новые выводы, имеющие практическую ценность.

Транспортное моделирование помогает оценить и выбрать оптимальную с точки зрения транспортных затрат инфраструктуру, на которую потом «нанализуются» объемно-планировочные и конструктивные решения. В общем случае модель позволяет оценить функциональность проекта задолго до того, как он будет воплощен – посмотреть и количественно оценить тот или иной транспортный объект (развязку или линию общественного транспорта) [12].

Анализ и систематизация данных позволяют выявить ключевые тенденции развития и обобщить их в виде универсальной модели. Предложенная модель может быть применима в качестве основы развития транспортной стратегии города. ГИС - технологии позволяют создавать и

внедрять готовые решения для поддержки работы транспортной системы города на муниципальном уровне.

Доступность и открытость модели для специалистов в сфере градостроительства и горожан предполагается обеспечить:

1. Созданием сайта городского общественного транспорта, обновляющегося в режиме реального времени;
2. Площадки для интерактивного участия в городском планировании (путем регистрации на сайте и использования инструментов планирования для населения;
3. Наглядной визуализации маршрутов электротранспорта и пересадки в ТПУ.

Дальнейшее развитие модели предполагает создание платформы для общественного доступа. Для полноценной работы, модель необходимо дополнить соответствующими закрытыми данными из разных ведомств.

Выводы по 3 главе:

- 1) Для Красноярска необходима интегрированная электротранспортная система. Ее внедрение удобнее выполнять с помощью модели, которая позволит делать прогнозы развития и оптимизации электротранспортной сети на этапе планирования.
- 2) Модель развития позволяет создать открытую базу данных с систематизированной информацией об электротранспортной системе Красноярска. Для ее совершенствования и более точной технической реализации анализа и моделирования транспортной сети необходимы дополнительные закрытые городские данные.
- 3) Моделирование возможных сценариев дает основание полагать, что интеграция красноярской электротранспортной сети достигается за счет внедрения кругового движения легко рельсового транспорта и

скоростного трамвая, а также, развития городских транспортно-пересадочных узлов.

- 4) Функционирование модели даст возможность вовлекать горожан в транспортное планирование города.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования удалось достичь основной поставленной цели – была разработана информационная модель развития электрического транспорта для Красноярска.

В ходе работы над диссертационным исследованием по результатам трех глав можно сделать следующие выводы:

1. Изучение и анализ теоретических источников литературы позволили классифицировать разные виды общественного электротранспорта и определить роль в транспортном планировании города.
2. Для анализа и управления транспортными системами следует рассматривать все виды средств передвижения в городе. В настоящее время, электротранспорт в Красноярске представлен тремя типами: внутригородской железнодорожный транспорт, трамвай и троллейбус. В городе существует сложившееся кольцо железной дороги, которое позволяет достигать больших расстояний без пробок и существенных временных затрат, он является перспективным, но недостаточно оцененным видом транспортной системы. В стратегическом планировании должны учитываться все виды электротранспорта в равной степени.
3. Результатом выполненной диссертационной работы следует считать многослойную геоинформационную модель развития электротранспорта, на основе открытых данных, которая выгружена на сервер для общественного доступа.
4. Модель развития электротранспорта является универсальным инструментом, который дает возможность делать прогнозы на этапе планирования или реконструкции транспортной сети города, а также, осуществлять мониторинг ее работы в системе города.

5. Дальнейшее развитие темы диссертации в создании универсальной платформы для внедрения и использования электротранспортных технологий в городской среде. Для реализации и эффективной работы модели развития электротранспорта необходимы дополнительные объективные данные разных уровней департаментов и служб города из градостроительной, транспортной, геоинформационной, инженерной и информационно-технологической (ИТ) сфер и других.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Килина Е.Ф., Кукина И.В., Липовка А.Ю. Принципы создания модели развития системы электрического транспорта в городской среде (на примере города Красноярск) / Е.Ф. Килина, И.В. Кукина, А.Ю. Липовка // Известия КГАСУ. – 2019. – №1(47) – С. – 109-120.
2. Kilina E. Influence of the electric transport system on the development of the morphology of the city of Krasnoyarsk. Analysis using open big data and GIS. / E. Kilina, I. Kukina, A.Lipovka // Book of Abstract, 25th ISUF International Conference: Urban Form and Social Context: from traditions to newest demands. – Krasnoyarsk: Sib. Feder. University, 2018. – 100 p.
3. Kilina E. Influence of the electric transport system on the development of the morphology of the city of Krasnoyarsk. Analysis using open big data and GIS. / E. Kilina, I. Kukina, A.Lipovka // Urban Form and Social Context: from Traditions to Newest Demands: Proceedings of the XXV ISUF International Conference, Krasnoyarsk, July 5–9, 2018. – Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2019 – 471– 418 p.
4. Килина Е.Ф., Петросян Е.Х. УМНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНО-ПЕШЕХОДНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ГИС И ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ / Е.Ф. Килина, Е.Х. Петросян // Строительство — формирование среды жизнедеятельности: XXI Международная научная конференция [Электронный ресурс]: Сборник материалов семинара «Молодежные инновации» (г. Москва, 25–27 апреля 2018 г.). – 2018.– С. – 41-45. – Режим доступа: http://mgsu.ru/resources/izdatelskayad_eyatelnost/izdaniya

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Big Data and Transport Understanding and assessing options. Corporate Partnership Board Report. 2015. P. 64-66
2. Big data in transport planning [Электронный ресурс] – М., 2017. – Режим доступа: <http://www2.geoconcept.com/blog-en/big-data-in-transport-planning>
3. CACTUS Models and Methods for the Evaluation and the Optimal Application of Battery Charging and Switching Technologies for Electric Buses. Project Deliverable 1.1-5.1. 2012-2015. Available at: <http://www.cactus-emobility.eu/publications.html>
4. Electric transport in the Netherlands [Электронный ресурс] – М., 2016. – Режим доступа: file:///C:/Users/Пользователь/Desktop/магистерская%20диссертация/статистика/Highlights-2016-Electric-transport-in-the-Netherlands-RVO.nl_.pdf
5. Eurostat: Statistical books. Energy, transport and environment indicators. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2015. P. 119-120.
6. GREEN TRANSPORTATION. The Outlook for Electric Vehicles in Latin America Estefania Marchán and Lisa Viscidi// Journal of Transport energy working. – 2015. – №22. – P. 6-15
7. Jose' Mari'a Cavanillas, Edward Curry, Wolfgang WahlsterNew/ Horizons for a Data-Driven Economy A Roadmap for Usage and Exploitation of Big Data in Europe/ J.M. Cavanillas, E. Curry, W. WahlsterNew. – Galway, Ireland: National University of Ireland Galway, 2015.
8. Ryszard Janecki, URBAN PUBLIC TRANSPORT WITH THE USE OF ELECTRIC BUSES –DEVELOPMENT TENDENCIES/ R. Janecki // Journal of Transport problems. – 2016. – №47. – P. 37-44
9. Антонов Д.В. Основные принципы развития транспортных систем городов. / Д.В. Антонов // Вестник АГТА – 2014. – №8. – С. 149-156.

10. Башкаев Т.И. Место транспортно-пересадочных узлов в новой градостроительной парадигме/ Т.И. Башкаев // МАРХИ/ ARCHITECTURE AND MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES. – 2015. – №33. – С. 1-9.
11. Бекмагамбетов. М.М. Анализ современных программных средств транспортного моделирования. –2012. –№6(77) Исследования, конституции, технологии. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.aae-press.ru/f/77/25.pdf>
12. Власов Д.Н. Методика формирования системы транспортно-пересадочных узлов в пригородной зоне агломерации. / Д.Н. Власов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» России. – 2013. – №.4 – С. 1-10
13. Власов Д.Н. Развитие интермодальных пересадочных узлов в городах Российской Федерации. / Д.Н. Власов, С.М.Леоненко, Н.В.Широкая // Academia. Архитектура и строительство. России. – 2016. – №.3 – С. 1-10
14. Власов Д.Н. «Транспортно-пересадочные узлы крупнейшего города (на примере Москвы)» Монография – М: Изд-во АСВ. – 2009. – С. 1-6.
15. Городской общественный электротранспорт: электробусы и градостроительство. – 2016. [Электронный ресурс] / Статья (Россия). – М.: – Режим доступа: <https://trainfanat.livejournal.com/222281.htm>
16. Городской электротранспорт России и РСФСР. – 2017. [Электронный ресурс] / Статистика. Aftershock/ Информационный центр (Россия). – М.: – Режим доступа: <https://aftershock.news/?q=node/556353>

17. Дудаков Д.С. Проблемы транспортного планирования в условиях развития современного градостроительства/ Д.С. Дудаков // МАРХИ/ ARCHITECTURE AND MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES. – 2016. – №37. – С. 205-217.
18. Зарубежный опыт построения инфраструктуры для ультрабыстрой зарядки электробусов и его использование применительно к условиям Москвы [Электронный ресурс] / Презентация (Москва - Россия). – М.: АБС Электро, 2017. – Режим доступа: http://www.mosgortrans.ru/fileadmin/projects/electrobus/НТС_08.09.2017/ABS-Electro.pdf
19. Иванова И. В. Транспортная система Сингапура: Этапы развития, достижения и экологический эффект. / И. В. Иванова, И. В. Ивашкина // Градостроительное регулирование – 2013. – №4. – С. 56-64.
20. Ключин В.В. Пути развития «умной транспортной мобильности» в рамках формирования концепции умного города(на примере г.Волгоград) . / В.В. Ключин, О. А. Баулина// Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ»– 2016. – №2. – С. 310-316.
21. Ковалева, Н.А. Пространственно-технологическое развитие городских систем пассажирских транспортных систем: дис. на соиск. уч. ст. канд. тех. наук: 05.22.01 /Ковалева Наталья Александровна. – М., 2015. – с.
22. Левашев, А.Г. Принципы выделения специальных расчетных транспортных районов в городском транспортном планировании / А.Г. Левашев // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2016. – №3. – С. 126-128.
23. Мегалополис: люди, автомобили, поезда. Часть 2. [Электронный ресурс] – М., 2011. – 1-4 с. – Режим доступа: <https://archi.ru/russia/36795/megapolis-lyudi-avtomobili-poezda-chast-2>

24. Мир электротранспорта: год 2016. Страны и города эксплуатирующие трамваи и троллейбусы. – 2016. [Электронный ресурс] / Статья Климов К.А. (Россия). – М.: – Режим доступа: <http://www.gruzovikpress.ru/article/10933-analiz-stran-i-gorodov-ekspluatiruyushchih-tramvai-i-trolleybusy-mir-elektrotransporta-god-2016/>
25. Оглы, И.Б. Функционально-пространственное развитие общественно- транспортных узлов крупнейшего города (на примере Новосибирска)[Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. арх. (18.00.04)/ Оглы Ирина Борисовна; ЛИСИ – Ленинград, 1991, - 29 с
26. Опыт эксплуатации городского электротранспорта с подзарядкой на маршруте. Рекомендации по реализации контракта жизненного цикла. [Электронный ресурс] / Презентация (Москва - Россия). – М.: Drive Electro, 2017. – Режим доступа: http://www.mosgortrans.ru/fileadmin/projects/electrobus/НТС_08.09.2017/Drive_Electro.pdf
27. Парлюк Е.Г. Имитационное моделирование пассажиропотоков в системе «Железная дорога – городской общественный транспорт» / Т.И. Башкаев // Вестник РГУПС . – 2014. – №3. – С. 78-82.
28. Персианов В.А. Проблемные вопросы развития железнодорожного транспорта. / В.А. Персианов // Вестник Транспорта– 2002. – №7. – С. 2-9.
29. Покровская О. Д. Эволюционно-функциональный подход к классификации транспортных узлов/ О. Д. Покровская, О. Б. Маликов// Известия ПГУПС. Проблематика транспортных систем . – 2017. – №3. – С. 406-419.
30. Понин А. С. Современные аспекты формирования транспортной системы крупного российского мегаполиса [Электронный ресурс] // Вестник Московской международной высшей школы бизнеса

(МИРБИС). – 2017. №3(11). С. 26- 30. — Режим доступа:
<http://cs.journal-mirbis.ru/-/uB1dbFIaZrLZ1vrNR75-zQ/sv/document/c2/68/8a/521295/178/26-30.pdf?1508940113>

31. Постников, В.П., Дорошенко Р.О. Обоснование необходимости развития пассажирского электротранспорта в крупном городе с точки зрения экологической эффективности/ А.В. Бокова // Экология и промышленность России. – 2014. – №. – 2-6 С.
32. Почему электробус «Намибус» с быстрой зарядкой качественно поднимет уровень общественного транспорта и сократит затраты города: ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ В МОСКВЕ – 2017. [Электронный ресурс] / Презентация (Москва - Россия). – М.: Намибус, 2017. – Режим доступа:
http://www.mosgortrans.ru/fileadmin/projects/electrobus/НТС_08.09.2017/NAMIBUS.pdf
33. Проект транспортно-пересадочного узла «Павелецкая» [Электронный ресурс] – М., 2015. – Режим доступа:
<https://archi.ru/projects/russia/9223/proekt-transportno-peresadochnogo-uzla-paveleckaya>
34. Радионова Е. Ю. Анализ опыта высокоскоростного железнодорожного транспорта: перспективы развития в России/ Е.Ю. Радионова // Архитектура, градостроительство и дизайн. – 2016. – №10. – С. 8-13.
35. Развитие и модернизация городского электротранспорта в современных условиях России. 2015. [Электронный ресурс] / Экономика (Россия). – М.: – Режим доступа:
https://studwood.ru/698024/ekonomika/razvitie_modernizatsiya_gorodskogo_elektrotransporta_sovremennyh_usloviyah_rossii

36. Сафаров. Э.А. Транспортные системы городов и регионов: учебное пособие / Э.А. Сафаров. – Москва: Издательства АСБ, - М., 2007. – 61-66 с., 254-257 с.
37. Смурага Ю.С. Мультимодальные транспортные узлы. / Ю.С. Смурага // Молодежь и наука: сборник материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2014. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/directions.html>
38. Статистика электротранспорта: в XXI веке троллейбус проигрывает трамваям и электробусам. 2017. [Электронный ресурс] /Статья Вельможко А. (Россия). – М.: – Режим доступа: <http://traffic.od.ua/news/worldtrans/1188322>
39. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. — № 1734-р. – Режим доступа: <http://rosavtodor.ru>
40. Транспортный центр в Стамбуле [Текст] // Железные дороги мира. - 2012. - № 12. - С. 4 . - ISSN 0321-1495
41. Фисенко Д.А. ТРАНСПОРТ МОСКВЫ – ДАЁШЬ ЭВОЛЮЦИЮ! [Электронный ресурс] / Градостроительство. Архитектурный вестник (Москва - Россия), 2012. – Режим доступа: <http://archvestnik.ru/2012/02/08/transport-moskvy-daesh-evolyuciyu-paket-predlozheniy/>
42. Черноплечая, А. Н. ИНТЕРМОДАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ УЗЛЫ // Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых

ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2013. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/section039.html>

43. Черноплечая А. Н. К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ ИНТЕРМОДАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ// Город пригодный для жизни. Материалы 2 международной научно-практической конференции «Современные проблемы архитектуры, градостроительства, дизайна» [Электронный ресурс]. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2015. — Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/5484217/>

44. Электробусы и технология Smart energy для электротранспорта. [Электронный ресурс] / Презентация (Москва - Россия). — М.: Daimler, 2017. — Режим доступа: http://www.mosgortrans.ru/fileadmin/projects/electrobus/HTC_08.09.2017/Daimler_AG.pdf

ПРИЛОЖЕНИЕ А

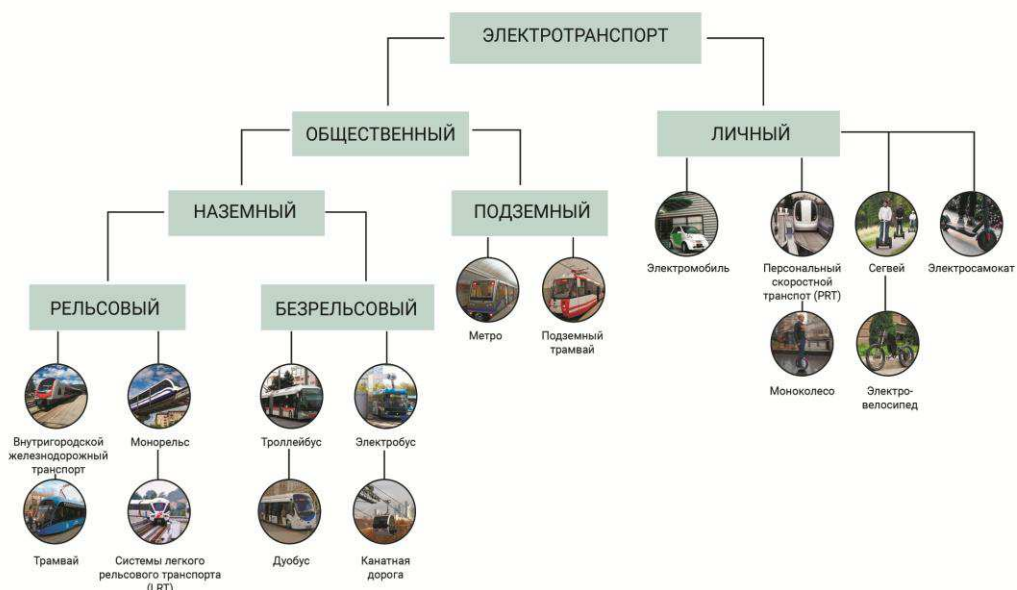


Схема классификация видов общественного и личного электротранспорта

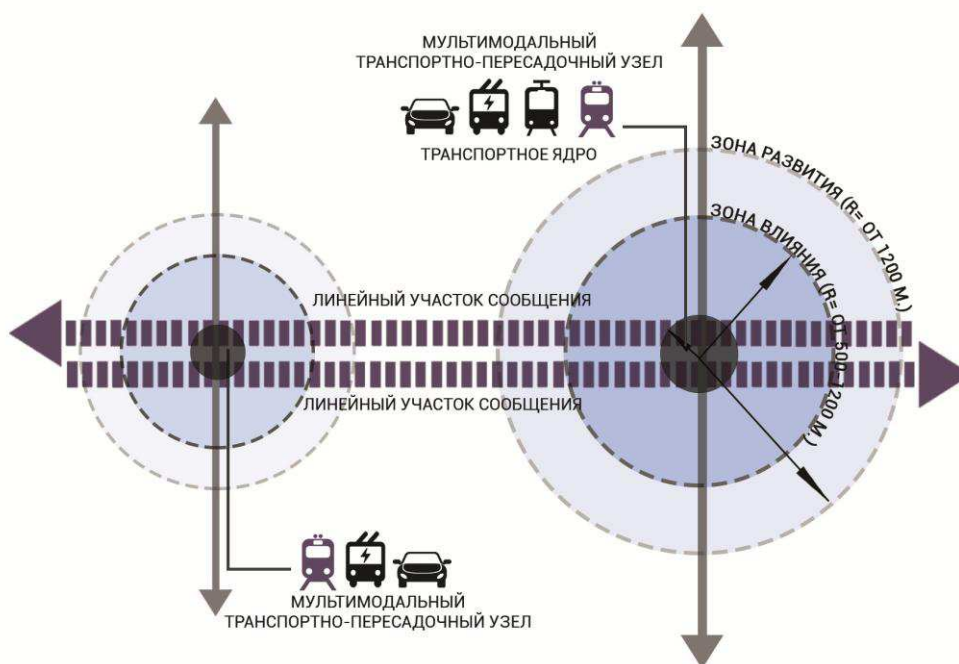


Схема пространственной структуры электротранспорта

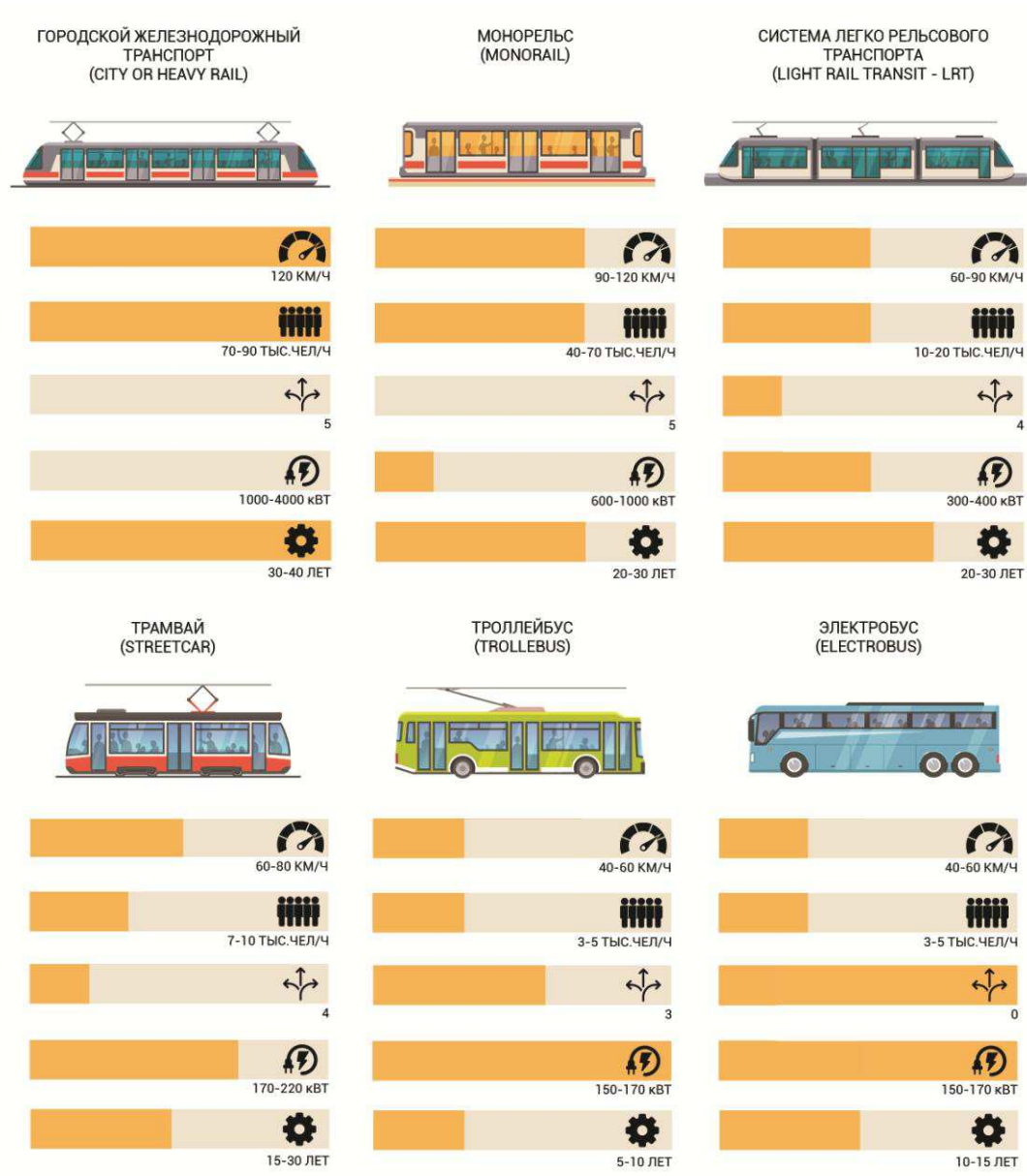


Схема оценки критериев электротранспорта

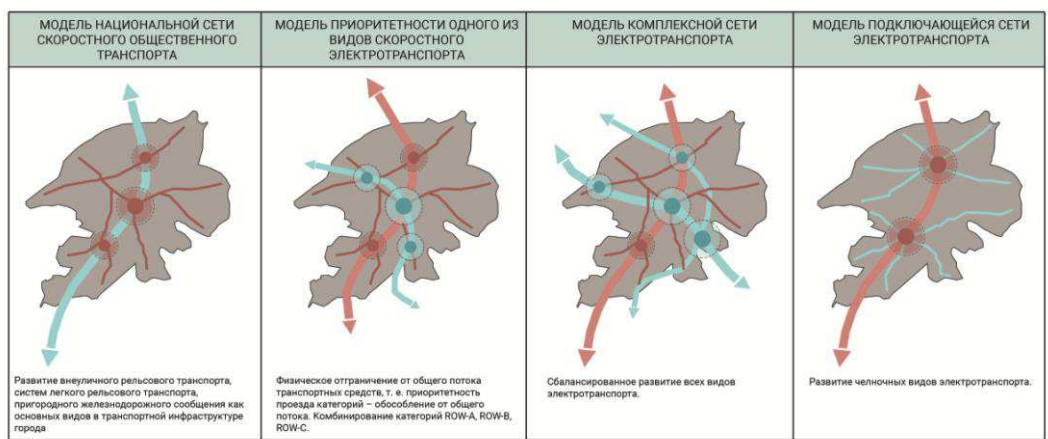
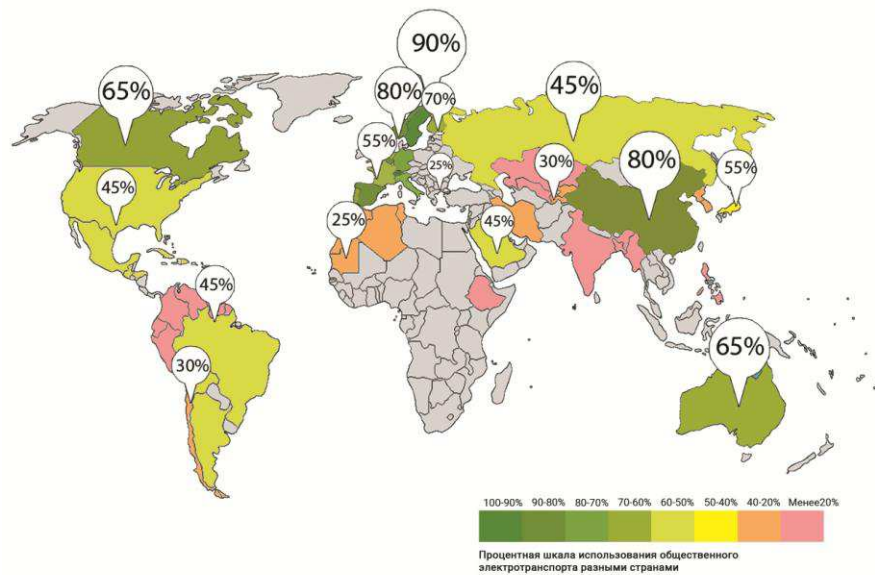
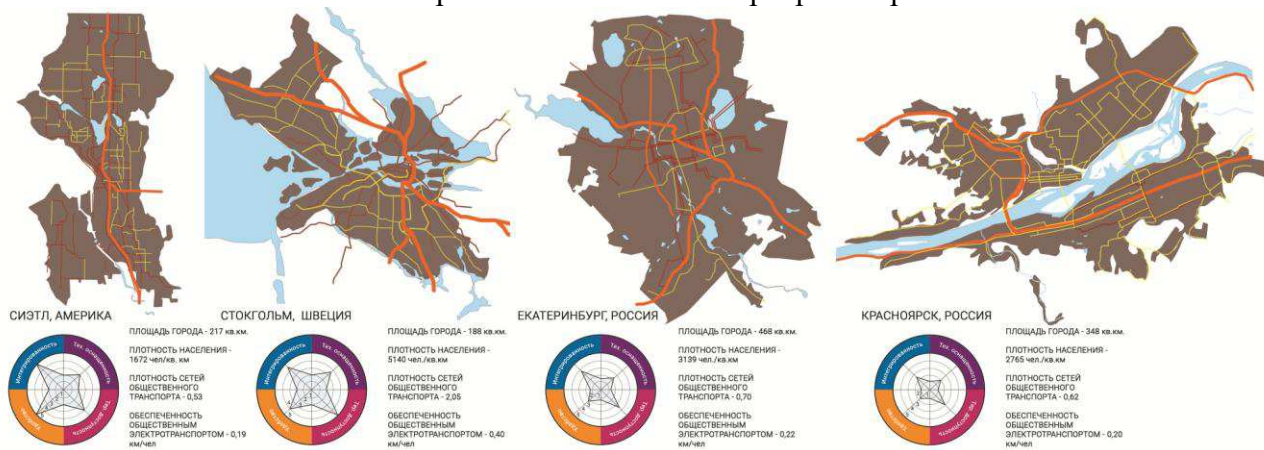


Схема интегрированных моделей электротранспорта



Мировая статистика электротранспорта



Сравнительный анализ по городам

ОБЩЕСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ ВО ФРАНКФУРТЕ

Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV)



МЕТРО (U-BAHN)
5 веток 69 км
Длина маршрутной сети

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ (S-BAHN)
9 веток 449 км
Длина маршрутной сети

ТРАМВАЙ (STRAßENBAHN)
11 маршрутов 64 км
Длина маршрутной сети

ОСОБЕННОСТИ:
• В центральных районах акцент сделан на рельсовых видах транспорта (приоритет проезда категорий ROW-B и ROW-A)
• Трамвайные и автобусные маршруты подведены ко всем пешеходным зонам и торговым моллам
• Координация транспортного планирования с планированием землепользования

ОБЩЕСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ В ДЮССЕЛЬДОРФЕ

Rheinbahn AG



РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ (RHINE-RUHR S-BAHN)
14 линий 761 км
Длина маршрутной сети

МЕТРОТРАМ (STADTBAHN И U-BAHN)
12 веток 204 км
Длина маршрутной сети



ОСОБЕННОСТИ:
• Использование гибридного вида городского транспорта – метроtram
• Сочетание надземно-подземных линий легкой железной дороги с маршрутами городских автобусов
• Формирование региональной транспортной системы, обслуживающей все города региона

Опыт использования электротранспорта в Германии

ОБЩЕСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ В ЛИОНЕ

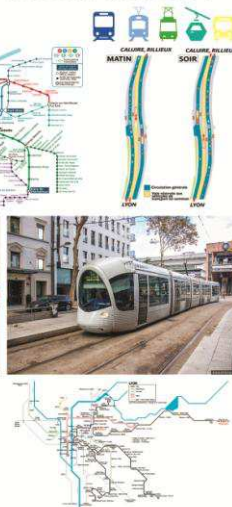
Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV)



МЕТРО (U-BAHN)
4 ветки 32 км
Длина маршрутной сети

ТРОЛЛЕЙБУС
8 маршрутов 49 км
Длина маршрутной сети

ТРАМВАЙ («LRT» LIGHT RAIL TRANSIT)
5 линий 77,3 км
Длина маршрутной сети



ОСОБЕННОСТИ:
• Интегрированная сеть метро-трамвай-троллейбус
• Координация транспортного планирования с планированием землепользования
• Система снабжена датчиками распознавания и быстрого реагирования

ОБЩЕСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ В НАНТЕ

Rheinbahn AG



ЭЛЕКТРОБУС
16 линий 84 км
Длина маршрутной сети

ТРАМВАЙ (ЛИНИЯ LRT)
4 линии 44 км
Длина маршрутной сети

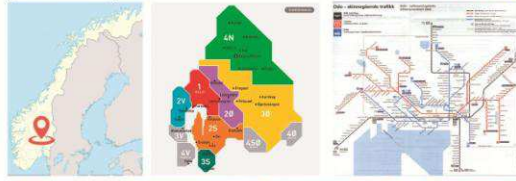


ОСОБЕННОСТИ:
• Новая линия LRT (Light rail transit) в центре города. Система автобусных маршрутов была сориентирована на выполнение подвозящих функций.
• В результате всех изменений, объем перевозок общественным транспортом увеличился на 25%.

Опыт использования электротранспорта во Франции

ОБЩЕСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ В ОСЛО, НОРВЕГИЯ

(T-banen i Oslo)



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

4 веток
161 км
Длина маршрутной сети

СИСТЕМА LRT (LIGHT RAIL TRANSIT)/ МЕТРО

6 веток
85 км
Длина маршрутной сети

ТРАМВАЙ (STRASBENVANN)

6 маршрутов
131,4 км
Длина маршрутной сети



ОСОБЕННОСТИ:

- Использована координированная стратегия, направленная на стимулирование пользования общественным транспортом и дестимулирования автомобильных поездок.
- Выделены обособленные полосы для трамвайных и автобусных маршрутов.

ОБЩЕСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ В ГЁТЕБОРГ, ШВЕЦИЯ

Rheinbahn AG



РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

3 линии
82 км
Длина маршрутной сети

СИСТЕМА LRT (LIGHT RAIL TRANSIT)

12 маршрутов
161 км
Длина маршрутной сети



ОСОБЕННОСТИ:

- Исторический центр разделили на пять транспортных ячеек с тотальным запретом на пересечение автомобильным трафиком всех улиц. По ячейкам проложены линии LRT. Автомобильные сообщения между ячейками осуществляется по кольцевой дороге, окружающей центр города. Вдоль этой дороги размещены паркинги.

Опыт использования электротранспорта в Швеции, Норвегии

ОБЩЕСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ В ЧИКАГО

(Metra and Pace)



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

3 ветки
59,4 км
Длина маршрутной сети

СИСТЕМА LRT (LIGHT RAIL TRANSIT)/ МЕТРО

8 веток
170,8 км
Длина маршрутной сети

ЭЛЕКТРОБУС/ АВТОБУС

128 маршрутов
3658 км
Длина маршрутной сети



ОСОБЕННОСТИ:

- Сеть метро и LRT связывают городские районы с аэропортом и пригородами.
- Автобус на пригородных участках функционирует как автобус на дизельном двигателе, в центральной части города - на электрической тяге (электробус)
- Выделены обособленные полосы для трамвайных и автобусных маршрутов.

ОБЩЕСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ В САН-ФРАНЦИСКО

Muni



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ (BART ИЛИ CALTRAIN)

2 ветки
167 км
Длина маршрутной сети

МЕТРО

6 веток
166,9 км
Длина маршрутной сети

ТРАМВАЙ

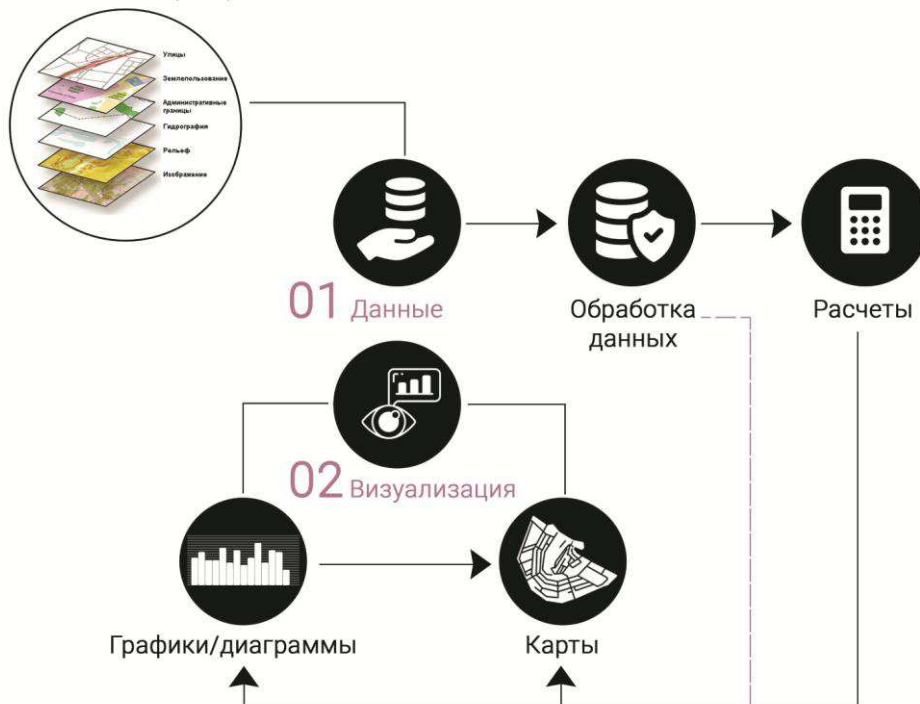
3 линии
120 км
Длина маршрутной сети

ОСОБЕННОСТИ:

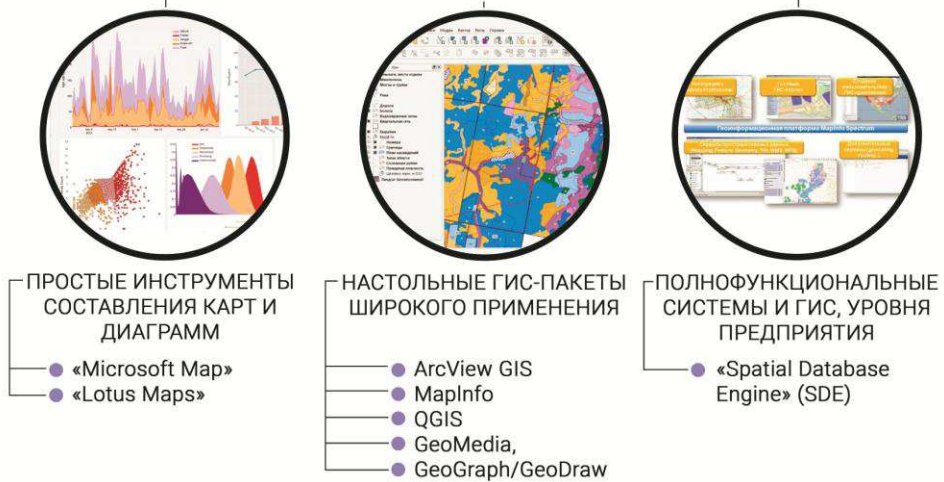
- Исторический центр разделили на пять транспортных ячеек с тотальным запретом на пересечение автомобильным трафиком всех улиц. По ячейкам проложены линии LRT. Автомобильные сообщения между ячейками осуществляется по кольцевой дороге, окружающей центр города. Вдоль этой дороги размещены паркинги.

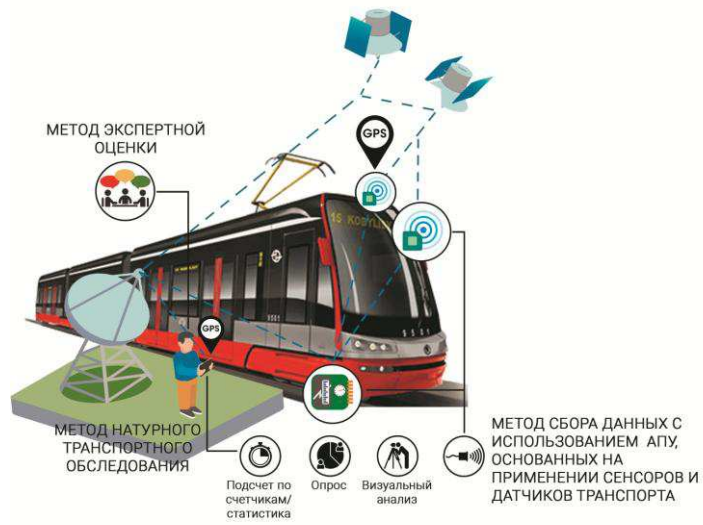
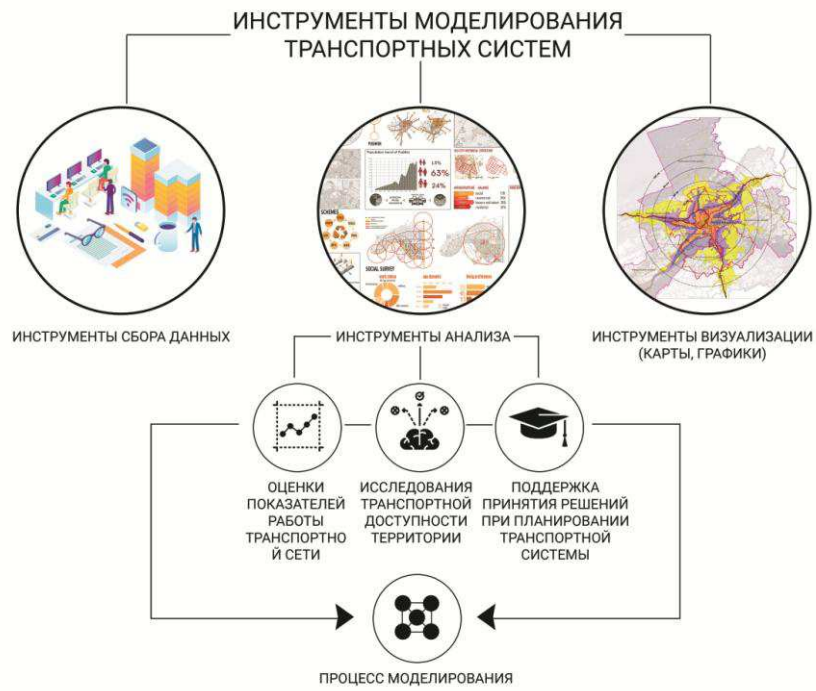
Опыт использования электротранспорта в Америке

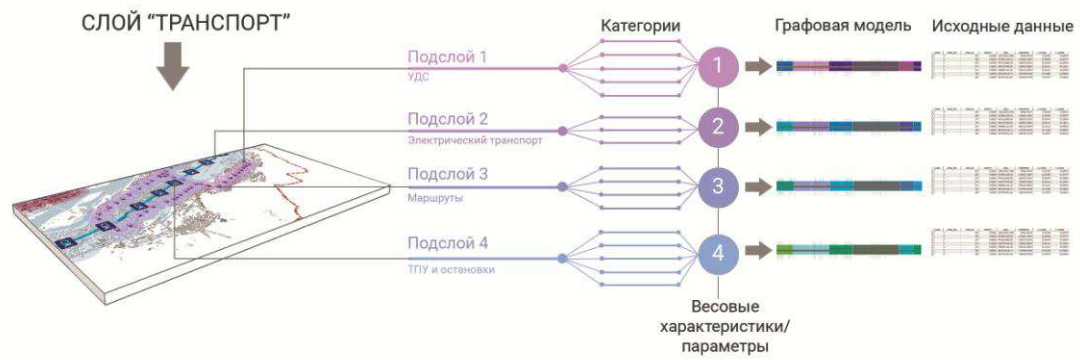
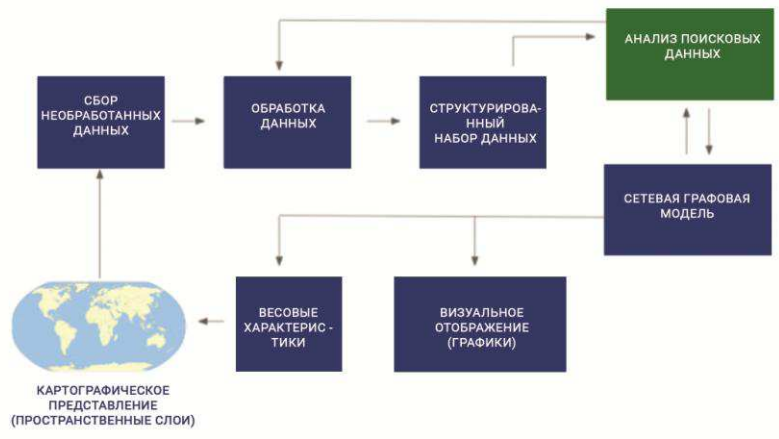
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ (ГИС)

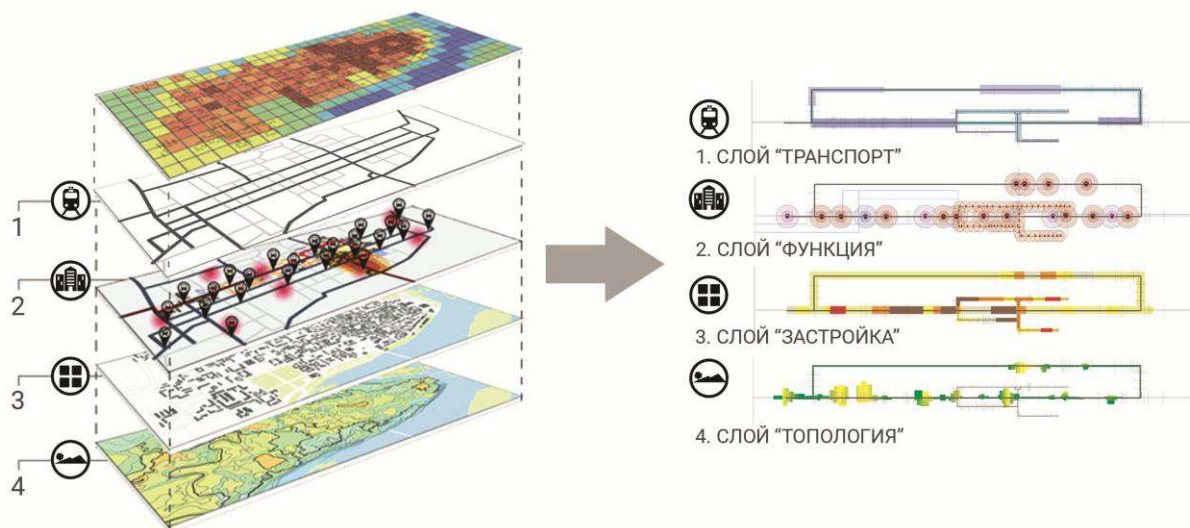


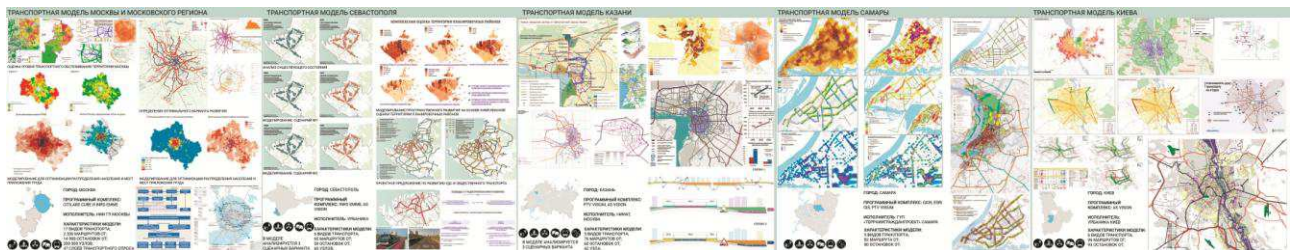
СТАНДАРТНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ГИС-ТЕХНОЛОГИЯХ











Формирование системы общественного электротранспорта в городе Красноярск

ГЛАВА 1. СИСТЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

1.1 СТРУКТУРА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА И ЕГО ЭЛЕМЕНТЫ

1.2 АНАЛИЗ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ РОССИИ И ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

1.3 РОЛЬ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА В ТРАНСПОРТНОМ ПЛАНИРОВАНИИ ГОРОДА

ГЛАВА 2. ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ И АНАЛИЗУ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГС

2.1 ИНСТРУМЕНТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

2.2 ОТКРЫТЫЕ ДАННЫЕ И БОЛЬШИЕ ОТКРЫТЫЕ ДАННЫЕ В МОДЕЛЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

2.3 МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ОБЩЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

3.1 СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА В КРАСНОЯРСКЕ

3.1.1 АНАЛИЗ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ КЛЮЧЕВЫХ ЧАСТЕЙ ОБЩЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА В ГОРОДЕ КРАСНОЯРСКЕ

3.1.2 ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ НАХОЖДЕНИЯ ГИС-ДАННЫХ И ИДЕНТИФИКАЦИИ КЛЮЧЕВЫХ ЧАСТЕЙ ОБЩЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА ГОРОДА КРАСНОЯРСКЕ

3.2 АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ЧАСТЕЙ ОБЩЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА В ГОРОДЕ КРАСНОЯРСКЕ

3.2.1 АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ЧАСТЕЙ ОБЩЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА В ГОРОДЕ КРАСНОЯРСКЕ

3.2.2 АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ПАЗИЦИОННЫХ УСЛОВИЙ В СИСТЕМЕ ОБЩЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА ГОРОДА КРАСНОЯРСКЕ

3.2.3 АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ПАЗИЦИОННЫХ УСЛОВИЙ В СИСТЕМЕ ОБЩЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА ГОРОДА КРАСНОЯРСКЕ

3.4 СОЗДАНИЕ СИТУАЦИОННОЙ КАРТЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА КРАСНОЯРСКА

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт архитектуры и дизайна
кафедра «Градостроительство»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Кукина И.В.

«19» июля 2019 г.


МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**«Формирование системы общественного электротранспорта в городе
Красноярске»**

07.04.04 «Градостроительство»

07.04.04.03 «Визуальные коммуникации (Цифровое искусство)»
Visual Communications (Digital Art)

Научный
руководитель


подпись, дата

кандидат
архитектуры,
доцент, профессор
кафедры
«Градостроительств
о»

И.В. Кукина

Выпускник


подпись, дата

Е.Ф.Килина

Рецензент


подпись, дата

кандидат техн. наук,
доцент кафедры АД
и ГС ИСИ СФУ

В.О.
Егорушкин

Нормоконтролер


подпись, дата


(фамилия и.,о.)

Красноярск 2019