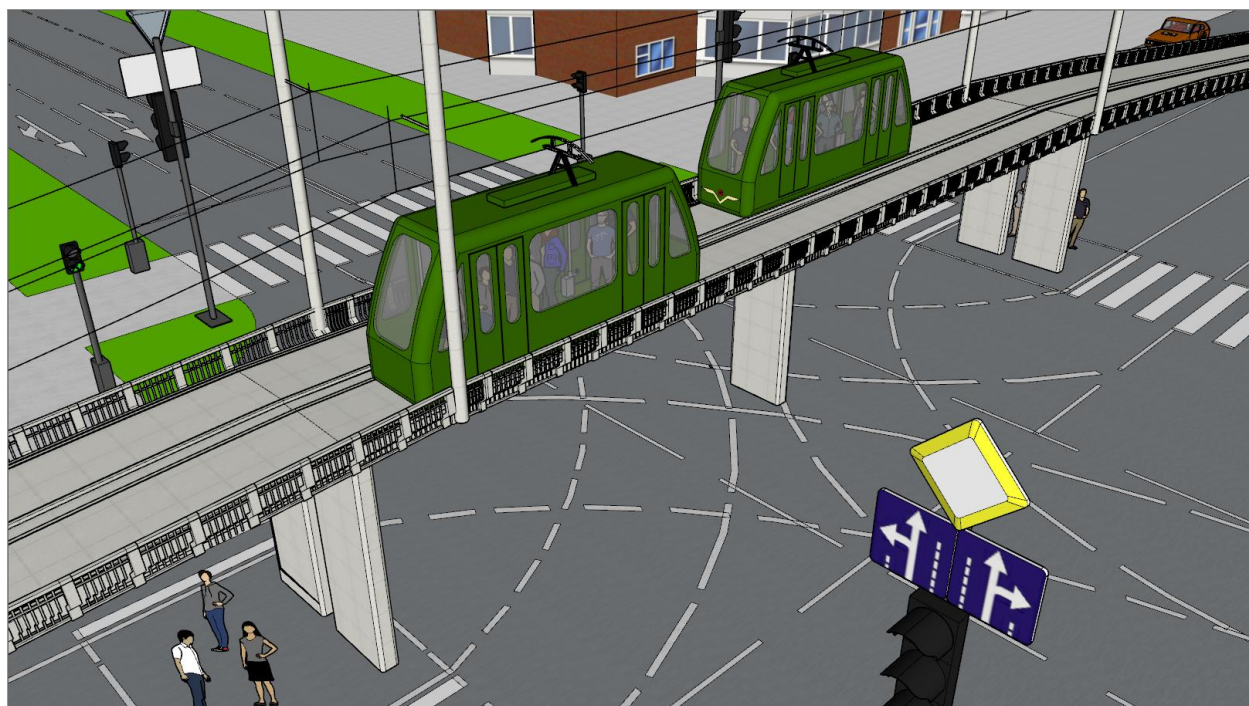


В. Н. ШУТЬ, Е. В. ШВЕЦОВА

**КАССЕТНО-КОНВЕЙЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СКОРОСТНЫХ
СИСТЕМ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК**

**CASSETTE-CONVEYOR TECHNOLOGY OF HIGH-SPEED
SYSTEMS OF CITY PASSENGER TRANSPORTATION**



Брест 2023

УДК 656
ББК 39
Ш97

Рецензенты: *В. П. Иванов*, профессор кафедры автомобильного транспорта УО «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», доктор технических наук
М. Р. Якимов, директор Института транспортного планирования Российской академии транспорта, доктор технических наук

Ш97 Шуть, В. Н. Кассетно-конвейерная технология скоростных систем городских пассажирских перевозок : монография / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова. – Брест : БрГТУ, 2023. – 208 с.

ISBN 978-985-493-614-7

С начала прошлого столетия с появлением таких городских транспортных средств перевозки, как автобус, трамвай, троллейбус и метро встал вопрос эффективного их использования. Каждое отдельное транспортное средство включено в транспортную систему города и управляется диспетчерскими службами. Технологию управления транспортной системой города назовем «классической», чтобы отделить и отграничить ее от кассетно- конвейерной технологии скоростных перевозок, предлагаемой в этой книге. За прошедшие 120 лет были исчерпаны все возможные мероприятия по повышению эффективности управления транспортными средствами в рамках «классической» технологии.

Следует отметить, что у классической технологии рычагов воздействия на транспортную систему города совсем немного. Это выбор типоразмера транспортного средства, выходящего на маршрут, выбор времени выхода на маршрут, скорости движения по маршруту и т. д. Известно, что ограниченность управляющих воздействий на управляемый объект не может привести даже к хорошему результату, не говоря уже об оптимальном.

Разработанные методы и алгоритмы позволяют создать оригинальную систему массовой конвейерной, скоростной внутригородской перевозки пассажиров, сравнимую по производительности с метро. Книга будет способствовать дальнейшему развитию интеллектуальных транспортных систем.

Рассчитана на научных и научно-технических работников транспортных предприятий, специалистов в области информационной и электронной техники и систем автоматизированного управления, а также может быть полезна аспирантам и студентам соответствующих специальностей.

Табл.12, илл.134, библиогр.: 127 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета УО «Брестский государственный технический университет»

УДК 656
ББК 39

ISBN 978-985-493-614-7

© Коллектив авторов, 2023
© Издательство БрГТУ, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ.....	3
ПРЕДИСЛОВИЕ ОТ АВТОРОВ.....	5
РАЗДЕЛ I ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГОРОДСКИХ СКОРОСТНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК	9
ГЛАВА 1 ТЕХНОЛОГИЯ, СИСТЕМА, АЛГОРИТМ, УПРАВЛЕНИЕ	9
1.1 Технология.....	9
1.2 Система	10
1.3 Алгоритм.....	13
1.4 Управление	15
Выводы.....	17
ГЛАВА 2 ТРАНСПОРТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА.....	17
2.1 Транспортная технология.....	17
2.2 Транспортная система	18
2.3 Информационные системы и информационные технологии на транспорте.....	19
2.4 Информационно-транспортные системы	21
Выводы.....	22
ГЛАВА 3. КЛАССИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК	23
3.1. Классическая технология организации перевозочного процесса	23
3.2. Классическая городская пассажирская транспортная система.....	29
3.3. Комбинированная перевозка в классической транспортной системе	29
Выводы.....	31
ГЛАВА 4 КАСЕТНО-КОНВЕЙЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗОК	32
4.1 Беспилотный транспорт с разделяющимися частями	32
4.2 Информационно-транспортная система кассетно-конвейерного типа	39
4.3 Технология перевозки в ИТС кассетно-конвейерного типа.....	43
4.4 Организация перевозок.....	45
4.5 Алгоритмы организации скоростных перевозок	47
4.6 Составление графиков движения	64
4.7 Оценка эффективности перевозочного процесса	69
4.8 Балансовая модель интересов	74
Выводы.....	79
ГЛАВА 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КАСЕТНО- КОНВЕЙЕРНОЙ ПЕРЕВОЗКИ	80
5.1 Система моделирования спроса на перевозку	80
5.2 Экспериментальные результаты.....	90
5.3 Сравнение классической и кассетно-конвейерной технологий перевозки.....	100
Выводы.....	103

РАЗДЕЛ II ГОРОДСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ СКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ОСНОВЕ КАССЕТНО-КОНВЕЙЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ 104

ГЛАВА 6 ТРАМВАЙ НА БАЗЕ КАССЕТНО-КОНВЕЙЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ГОРОДСКИХ СКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗОК	104
6.1 Трамвай	104
6.6 Суперскоростной трамвай.....	116
6.7 Провозная способность суперскоростного трамвая.....	123
Выводы	130
ГЛАВА 7 МЕТРОПОЛИТЕН. МЕТРО ЩЕЛЕВОГО ТИПА	131
7.1 Метрополитен.....	131
7.2 Пределные возможности метрополитена как транспортной системы	135
7.3 Метро щелевого типа «Кротовые норы»	139
Выводы	148
ГЛАВА 8 СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАРШРУТНЫМИ ТАКСИ С ЭЛЕМЕНТАМИ КАССЕТНО-КОНВЕЙЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ	148
8.1 Предпосылки создания системы управления маршрутными такси... 148	
8.2 Общее описание системы.....	150
8.3 Математическая модель системы.....	152
8.4 Принципы взаимодействия пользователей с системой.....	156
8.5 Описание компонентов системы	162
8.6 Перспективы развития системы	175
Выводы	179
ГЛАВА 9 ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ АНАЛОГОВ.....	180
9.1 Многоуровневая транспортная структура	180
9.2 Транспортный проект TUMCREATE.....	181
9.3 Сравнительная характеристика двух технологий скоростных городских перевозок	192
ПОСЛЕСЛОВИЕ.....	194
ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ	196

ПРЕДИСЛОВИЕ ОТ АВТОРОВ

Вначале было слово...

Городской пассажирский общественный транспорт оказывает важнейшее влияние на мобильность населения и является одним из основных способов его перемещений к местам приложения труда и отдыха.

С начала прошлого столетия с появлением таких городских транспортных средств перевозки, как автобус, трамвай, троллейбус и метро, встал вопрос эффективного их использования. Каждое отдельное транспортное средство включено в транспортную систему города и управляется диспетчерскими службами. Технологию управления транспортной системой города назовем «классической», чтобы отделить и отграничить ее от кассетно-конвейерной технологии скоростных перевозок, предлагаемой в этой книге. За прошедшие 120 лет были исчерпаны все возможные мероприятия по повышению эффективности управления транспортными средствами в рамках классической технологии.

Следует отметить, что у классической технологии рычагов воздействия на транспортную систему города совсем немного. Это выбор типоразмера транспортного средства, выходящего на маршрут, выбор времени выхода на маршрут, скорости движения по маршруту и т. д. (в разделе 1 подробно рассмотрены все механизмы подобного воздействия). Известно, что ограниченность управляющих воздействий на управляемый объект не может привести даже к хорошему результату, не говоря уже об оптимальном.

В сложившихся условиях значительное количество мероприятий, направленных на совершенствование городских пассажирских перевозок, может удовлетворять или общественным интересам, или ведомственным. Например, чем больше транспортных средств работает на маршрутах города, тем меньше приходится ожидать посадки на остановочных пунктах, тем свободнее салоны транспортных средств и удобнее поездка. В то же время чем больше транспортных средств на маршрутах, тем больше убытки транспортных предприятий и хуже их финансовое положение.

Как разрешить эту дилемму? Как найти золотую середину между интересами пассажира и интересами транспортного предприятия? Так вот! В старой парадигме «классических» (это тех транспортных систем городов, которым 120 лет) эта задача не имеет решения. Пользуются приближенными решениями, как правило, далекими от оптимального.

В практике перевозок для характеристики потребностей городского населения в перевозках и систематического анализа условий перевозки пассажиров используется такая категория, как пассажиропоток, который характеризуется интенсивностью (среднее количество пассажиров, перевозимых в единицу времени). Данные об интенсивности пассажиропотока используются для выбора транспорта необходимой вместимости и определения требуемого для перевозки количества транспортных средств.

На каждом маршруте могут быть использованы транспортные средства различной вместимости. Выбор и обоснование необходимой вместимости транспортного средства для качественного обслуживания пассажиров является сложной управленческой задачей, особенно в условиях неполной, а зачастую недостоверной информации о текущем пассажиропотоке.

Вместимость транспортного средства устанавливается по данным распределения интенсивности пассажиропотока и характеру его неравномерности во времени, по длине маршрута и направлениям следования. Информация носит вероятностный характер. Базируется на статистических данных предыдущих дней, месяцев перевозок.

Таким образом, современное состояние «классических» пассажирских перевозок имеет следующие неустраняемые недостатки:

- отсутствие точной, объективной информации в режиме реального времени об интенсивности пассажиропотока на маршруте, которое препятствует принятию оптимальных решений по времени выпуска транспортных средств на маршрут и объему этих транспортных средств, что ведет к экономическим потерям;

- присутствие человеческого фактора в принятии ответственных решений по выбору объема транспортного средства, которое необходимо отправить на данный маршрут и в данное время суток;

- малая номенклатура транспортных средств различной вместимости для более точного покрытия меняющегося пассажиропотока. Данный недостаток в рамках современного технического обеспечения городских пассажирских перевозок транспортными средствами преодолеть невозможно, так как промышленность не в состоянии изготовить, положим, двадцать типов автобусов различной вместимости.

Большие экономические потери транспорт несет на остановки и разгон от остановочных пунктов. Это утверждается в книге «Оптимизация городских автобусных перевозок» М. Е. Антоношвили: «Напротив, скоростной и еще в большей степени экспрессный режимы движения, когда автобусы не останавливаются на некоторых остановочных пунктах маршрута, позволяют получить существенный выигрыш в скорости движения и во времени движения, в расходе топлива и в сохранности подвижного состава».

Технология кассетно-конвейерной перевозки пассажиров преимущественно переводит перевозку в экспрессный режим движения. В некоторых случаях режим движения скоростной (с одной либо двумя, но не более, остановками на маршруте). Скорость сообщения и энергоэкономичность перевозки резко возрастает.

Наиболее значимыми в практической деятельности критериями оценки качества транспортного обслуживания населения являются общие затраты времени жителей на передвижение и стоимость проезда. «Классическая» система городских перевозок не в состоянии существенно сократить эти затраты. Необходим переход на совершенно новый уровень городских пассажирских перевозок. Необходима новая технология таких перевозок. И такой принципиально новой технологией является кассетно-конвейерная технология скоростных городских перевозок.

Век XXI требует неординарных решений в области общественного транспорта. Общественный транспорт должен получить новые качества, присущие личному транспорту, чтобы человек с личного автомобиля пересел в общественный. В краткосрочной и среднесрочной перспективе все эти соображения ставят вопрос о том, каким должен быть транспорт будущего в городах.

Кроме того, в первой половине XXI века автомобильная промышленность претерпевает серьезные технологические изменения. Со временем автомобили станут частично или полностью автономными. Варианты их использования будут становиться разнообразнее, а новые формы мобильности, технологии и функции будут расширять спектр возможностей.

Частично элементами таких технологий будущего является кассетно-конвейерная технология скоростных городских перевозок. Транспортные системы, построенные на основе этой технологии, отличаются высокой скоростью сообщения, т. к. довозят пассажира, как в личном транспорте, из пункта А в пункт В, без промежуточных остановок. В среднем пассажир в транспортном средстве будет находиться не более 3-х минут, а маршрут в 10 км будет преодолен за 6 минут.

Время ожидания транспорта в такой системе минимальное (до 5 минут), так как транспорт подается пассажиру не по расписанию, а по запросу пассажира.

Книга состоит из двух разделов:

Раздел 1. Транспортные технологии городских скоростных пассажирских перевозок.

Раздел 2. Городские транспортные системы скоростных перевозок на основе кассетно-конвейерной технологии.

В первом разделе подробно рассмотрена «классическая» технология городских пассажирских перевозок. Перечислены составляющие ее элементы, указаны её слабые стороны. Далее приведена кассетно-конвейерная технология скоростных городских перевозок и информационно-транспортная система ее реализующая. Предложена концепция «транспорта с разделяющимися частями», базирующаяся на использовании беспилотного транспортного модуля малой вместимости, называемого «инфобусом», благодаря которой становится возможным формирование в любой момент времени транспортного средства нужной вместимости. Описаны алгоритмы организации скоростной кассетно-конвейерной перевозки. Рассмотрена технология комбинированной перевозки на основе предложенных скоростных алгоритмов и классического подхода. Предложена система оценки эффективности перевозки, учитывающая как интересы транспортного предприятия, так и пассажиров. Приведена система имитации спроса на перевозку, благодаря которой возможно пространственно-временное моделирование процесса поступления в транспортную систему заявок на перевозку и их обработка управляющим слоем транспортной системы, в результате чего формируются планы перевозки и оценки эффективности перевозки. Представлены полученные на основе применения системы имитации спроса на перевозку результаты испытаний. Выполнено сравнение обеих технологий.

Во втором разделе рассмотрены две рельсовые транспортные системы (трамвай и метро), построенные на базе кассетно-конвейерной технологии перевозки.

Использование этой технологии для трамвайной системы позволяет из скоростного трамвая сделать суперскоростной. В отличие от скоростного трамвая, скорость сообщения которого составляет 30 км/час, суперскоростной имеет скорость 90 и выше км/час. За счет этого провозная способность такого трамвая резко возросла и приближена к провозной способности метро.

Кассетно-конвейерная технология городских скоростных перевозок позволила предложить метро щелевого типа. Стоимость строительства такого метро на порядок ниже обычного метро. Также и время строительства щелевого метро на порядок ниже.

Потенциальными потребителями данной разработки, помимо уже рассмотренных средних городов, являются города-миллионники России. Например, Красноярск, Ростов-на-Дону, Краснодар и др., которые имеют очень острые городские транспортные проблемы и высокую загруженность дорог, но не имеют достаточных средств для построения метро в его современном виде.

Таким образом, с развитием информационно-коммуникационных технологий стало возможным создание новых типов транспортных систем с характеристиками недостижимыми в парадигме старых транспортных систем. Автоматическая интеллектуальная информационно-транспортная система, способна самостоятельно, без участия или с минимальным участием человека, адаптироваться к динамике пассажиропотока, выводя на линию требуемые объемы транспортных средств для городской перевозки пассажиров. Транспорт большой провозной способности, полностью автоматический, высокоэкономичный, работающий в автономном режиме 24 часа в сутки. Для населения в городской среде такой же незаметный, как и лифт в многоэтажном доме, удовлетворяющий запрос за минимальное время от момента заказа.

РАЗДЕЛ I ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГОРОДСКИХ СКОРСТНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

ГЛАВА 1 ТЕХНОЛОГИЯ, СИСТЕМА, АЛГОРИТМ, УПРАВЛЕНИЕ

1.1 Технология

Этимология слова «технология» состоит из древнегреческих слов τέχνη, что означает «искусство, мастерство, умение» и λόγος - «слово; мысль, смысл, понятие». Для древних греков «технология» была словом об искусстве, мастерстве, умении.

Как термин слово «технология» стало использоваться с 1772 года благодаря немецкому ученому Иоганну Бекману, который впервые стал писать о технологии как о научном предмете и преподавать его в университете. Для Бекмана технология была «наукой о ремесле». А уже в 1882 году в Санкт-Петербургской Императорской академии наук было выделено 10 разделов технологии: металлы, минералы, дерево, бумага и т. д. Сегодня о технологии можно говорить как о применении научного знания для решения практических задач.

В общенаучном смысле технология, являясь мастерством получения того или иного востребованного результата, есть совокупность представлений, действий, инструментов, которая направлена на достижение определенных целей.

Причиной развития технологий является преобладание потребностей общества над возможностью их удовлетворения существующими способами. Источником развития технологии являются достижения человеческой мысли и полученные знания, которые находят свое применение в удовлетворении нужд человека.

Любая технология преследует определенную цель либо несколько целей. Цели могут быть как материальными, так и нематериальными. Технологии с материальными целями в преобладающем большинстве своем используют различные механизмы, технические устройства, приспособления, которые выполняют функции посредников между человеком, исполнителем технологии, и предметом труда.

Технологии, преследующие нематериальные цели, производят нематериальный продукт: знания, навыки, опыт, впечатления, ощущения и т. д. К нематериальным технологиям можно отнести образовательный процесс, научную и литературную деятельность, театральное искусство, программирование и т. д.

Классифицироваться технологии могут либо по определенной области применения, либо по объекту воздействия, способу получения. Например, к отраслевым технологиям относится технология горных работ, технология машиностроения, технология строительства. По объекту воздействия можно выделить технологии работы с металлами, технологии волокнистых веществ, технологии тканей и т. д.

1.2 Система

На сегодняшний день сформулировано не одно определение термина «система», используемое в зависимости от контекста. Так в теоретико-познавательном смысле система есть способ мышления, позволяющий выявить и описать проблему. В научно-исследовательском понимании система есть методология исследования процессов и явлений в определенной области человеческих знаний. В инженерном смысле система понимается как взаимосвязанный набор объектов и способов их использования для решения определенных задач.

Основное отличие в приводимых определениях сводится к тому, что одни из них представляют систему через ее свойства и проявления (дескриптивные определения), а другие – через цели и строение (конструктивные определения).

Дескриптивные определения характерны для раннего периода изучения человеком феномена системы, определение которого сводилось к описанию только элементов и связей между ними. Далее приведены два примера дескриптивных определений понятия «система».

«Система — множество взаимосвязанных элементов, обособленное от среды и взаимодействующее с ней, как целое» [1].

«Система есть множество элементов, находящихся в связях друг с другом, образующих определенную целостность, единство» [2].

Постепенно в процессе развития представлений о системе, стали учитываться не только элементы, связи, свойства системы, но также ее цели, функции, взаимодействие с внешней средой.

«Система — совокупность интегрированных и регулярно взаимодействующих или взаимозависимых элементов, созданная для достижения определенных целей, причем отношения между элементами определены и устойчивы, а общая производительность или функциональность системы лучше, чем у простой суммы элементов» [3].

Таким образом, современное представление о системе подразумевает наличие совокупности элементов, находящихся друг с другом в определенных отношениях, дифференцированной от внешней среды, направленной на достижение определенной цели.

Система может входить как элемент в другую систему, более высокого порядка и включать в себя системы более низкого порядка (подсистемы).

На рисунке 1.1 представлена структурно-функциональная схема системы. Сама система на ней изображена в виде функционального блока с «входами» и «выходами» (стрелки слева и справа). «Входы» подвергаются воздействию системы и в процессе воздействия преобразовываются в «выходы», являющиеся результатом функционирования системы. На систему оказывает управляющее воздействие внешняя среда (стрелка сверху). Для своего функционирования система может использовать вспомогательные ресурсы (стрелка снизу).

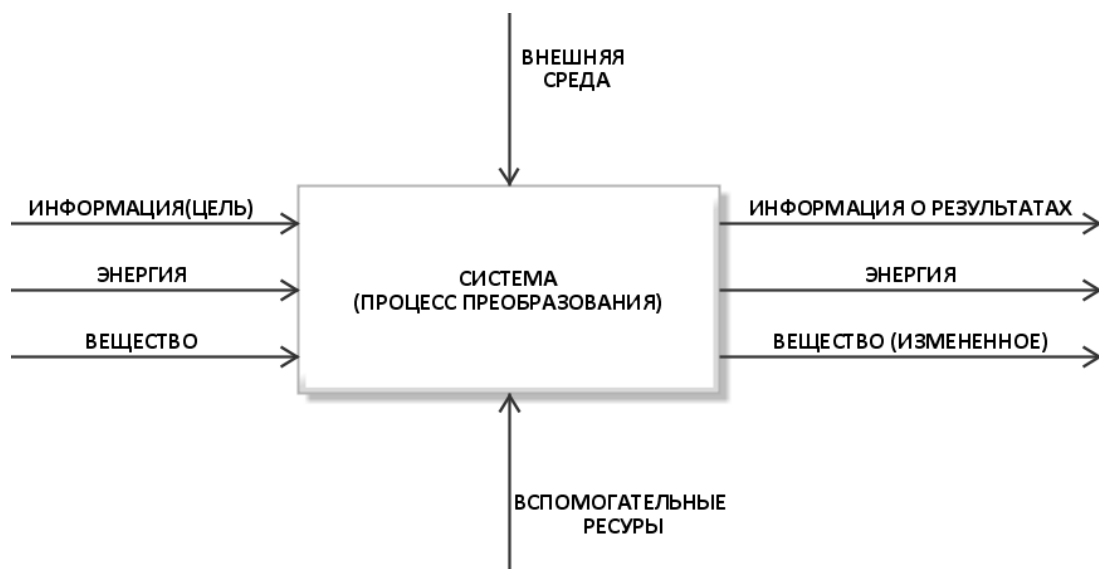


Рисунок 1.1 – Структурно-функциональная схема системы

1.2.1 Понятийный аппарат системы. В процессе формирования представлений о системе были выделены следующие понятия, характеризующие ее:

– *элемент* – это наименьшая структурная часть системы, являющаяся неделимой с точки зрения решения конкретной задачи, поставленной цели;

– *компонент, подсистема* – это относительно независимая часть системы, которая сама обладает свойствами системы;

– *внешняя среда* – это совокупность факторов, влияющих на систему, но находящихся вне ее;

– *связь, отношение* – это ограничение степени свободы элементов: элементы, вступая во взаимодействие (связь) друг с другом, утрачивают часть свойств или степеней свободы, которыми они потенциально обладали, сама же система как целое при этом приобретает новые свойства;

– *структура* – это устойчивая во времени организация составляющих системы (элементов, компонент, подсистем) и связей между ними, которые мало меняются при функционировании системы и обеспечивают существование системы и ее основных свойств;

– *цель* – это конечный результат, ради которого существует и функционирует система (система может иметь несколько целей, часто не согласующихся между собой). В систему включается только ограниченное количество элементов, которое необходимо для функционирования системы и достижения ею поставленной цели.

Функционирование системы характеризуется такими понятиями, как:

– *состояние* – это «мгновенный снимок» или фиксация параметров системы на определенный момент времени;

– *поведение* – это закономерности изменения состояний, развернутые во времени, в ответ на взаимодействие с внешней средой, а также определяемые целями самой системы;

– *трансформация* – это изменение системы во времени, при котором может меняться не только её состояние, но и физическая природа, структура, поведение и даже цель;

– *равновесие* – это способность системы сохранять свое состояние при отсутствии внешних воздействий или при постоянных воздействиях;

– *устойчивость* – это способность системы возвращаться в состояние равновесия после выведения ее из этого состояния под воздействием внешних возмущающих воздействий;

– *развитие* – это процессы в системе, приводящие к необратимому увеличению сложности системы, появлению новых возможностей, к более эффективному достижению цели и т. д.

1.2.2 Свойства системы. Изучением систем занимается прикладное направление теории систем, называемое системным анализом. Системный анализ выделяет следующие свойства систем:

– *целостность*: какова бы ни была природа системы, она представляет собою совокупность объектов, образующих некоторое единство, обладающее общими свойствами и поведением;

– *делимость*: несмотря на то, что система – это целостный объект, он всегда состоит из элементов;

– *изолированность*: совокупность объектов и связей между ними, составляющих систему, можно отграничить от окружения и рассматривать изолированно;

– *относительность изолированности*: изолированность системы относительна, т. к. система постоянно находится во взаимодействии через свои элементы с внешней средой;

– *разнообразие*: каждый элемент системы обладает собственным поведением и свойствами, отличными от поведения и свойств других элементов системы;

– *наблюдаемость*: все входы и выходы системы можно контролировать и наблюдать;

– *неопределенность*: получаемая информация об отношениях элементов системы не является исчерпывающей.

1.2.3 Жизненный цикл системы. Жизненный цикл системы – это этапы существования системы от момента ее возникновения и заканчивая её исчезновением. Описано множество концепций структуры жизненного цикла системы, но в самом универсальном представлении она может состоять из этапа возникновения, этапа существования и этапа исчезновения.

1.2.4 Общесистемные закономерности. Под общесистемной закономерностью понимается некоторое свойство, причинно-следственная связь или зависимость, присущая системе. К таковым относят:

– *отграниченность от внешней среды*: система является отдельным от окружающей ее среды образованием, ценность и сила связей между составляющими которого выше, чем ценность связей с внешней средой;

– *холизм*: система обладает свойствами, не присущими ее элементам, и ее производительность и функциональность превосходят сумму возможностей ее составляющих;

– *иерархичность*: одни части системы являются главенствующими над другими ее частями. Именно данный принцип построения систем обеспечивает эффективность жизнедеятельности системы.

Рассмотренные понятия входят в основы понятийного аппарата системного анализа [4–7].

1.3 Алгоритм

Слово «алгоритм» происходит от имени персидского математика аль-Хорезми, написавшего трактат «Китаб аль-джебр ва-ль-мукабала» или «Краткая книга о восполнении и противопоставлении», в котором была систематизирована десятичная система счисления, используемая индийскими математиками, правила вычислений в ней и решение квадратичного уравнения. В начале XI века работа аль-Хорезми попала в Европу, где ей в переводе было дано название «*Algoritmi de numero Indorum*» или «Алгоритмы о счете индийском». Первое слово в названии книги представляло латинизированное имя аль-Хорезми, которое в последствии стало нарицательным, и вошло в историю человечества как название термина, означающего порядок действий по достижению необходимого результата за конечное число шагов.

Сейчас имеются десятки определений понятия «алгоритм», которое применяется в различных областях человеческой деятельности [8–11]. Но, в общем случае алгоритм – это конечная последовательность действий, которую можно четко описать и разделить на простые шаги, и которая приводит к достижению заданной цели.

Например, следующим образом может выглядеть простейший алгоритм покупки в магазине:

Шаг 1. Прийти в магазин.

Шаг 2. Выбрать товары.

Шаг 3. Произвести оплату.

Шаг 4. Получить документ купли-продажи.

Шаг 5. Покинуть магазин.

Все процессы происходят в соответствии с заданными человеком или природой алгоритмам: смена времен года, вегетация растений, развитие организмов, нахождение корней квадратного уравнения, сравнение чисел, поиск информации и т. д.

1.3.1 Общие свойства алгоритмов. Любому алгоритму присущи следующие свойства:

– *дискретность*: алгоритм представляет упорядоченную последовательность отдельных друг от друга элементарных шагов. При этом для выполнения каждого шага алгоритма требуется конечный отрезок времени. Таким образом, алгоритм состоит из конечного числа дискретных этапов;

– *детерминированность* (определенность): каждый следующий шаг работы однозначно определяется состоянием системы, в котором она находится до начала его выполнения. Таким образом, каждый следующий шаг алгоритма определяется (детерминируется) предыдущим состоянием, в котором пребывала система;

– *понятность*: алгоритм должен включать только те команды, которые доступны исполнителю и входят в его систему команд;

– *завершаемость* (конечность): при правильно заданных начальных данных алгоритм должен завершать работу и выдавать результат за определенное число шагов.

– *массовость* (универсальность): алгоритм должен быть применим к разным наборам начальных данных.

– *область применения*: областью применения алгоритма называется такая наибольшая область начальных данных, на которой алгоритм результативен;

– *результативность*: любой алгоритм должен иметь завершение с определенными результатами.

1.3.2. Виды алгоритмов. Алгоритм не всегда задает последовательность действий в строго заданном и единственном порядке. В алгоритме могут присутствовать выполнение той или иной последовательности действий в зависимости от выбранного условия, повторение одного и того же шага строго заданное число раз (или число раз, определяемое выполнением определенного условия) и т. д. В зависимости от этого выделяют следующие виды алгоритмов:

– *линейные*: это самые простые виды алгоритмов, в которых действия идут последовательно друг за другом, каждое начинается после того, как закончится предыдущее. Они не повторяются, выполняются без условий;

– *ветвящиеся*: в этом виде алгоритмов выбирается та или иная последовательность действий в зависимости от выполнения условия, т. е. происходит ветвление процесса. Например, алгоритм может предписывать одну последовательность действий, когда выполняется условие, другую последовательность действий, когда это условие не выполняется и третью последовательность действий, когда невозможно определить выполнение и невыполнение условия;

– *циклические*: в циклических алгоритмах происходит выполнение одной и той же последовательности действий (итерации) нужное число раз. Это число может быть фиксированным или определяться выполнением какого-то условия. Таким образом построенный повторяющийся процесс называется циклом. В некоторых случаях цикл может быть бесконечным;

– *рекурсивные*: рекурсивные алгоритмы вызывают самих себя внутри себя. Рекурсия позволяет изящно решать такие задачи как нахождение чисел Фибоначчи, факториал числа и т. д.;

– *вероятностные*: работа таких алгоритмов зависит не только от предыдущего текущему шагу состояния системы, но и от некоторой случайной величины;

– *основные и вспомогательные*: основной алгоритм решает непосредственную задачу, вспомогательный решает подзадачу и может использоваться внутри основного.

1.3.3 Средства описания алгоритмов. Для формализации алгоритма используется алгоритмическая нотация – набор символов и правил представления и истолкования конструкций алгоритма. Алгоритмическая нотация должна быть обязательно понятной для исполнителя алгоритма: человека, машины и т. д.

Основными средствами описания алгоритма являются следующие способы записи:

– *словесный*: данный способ основывается на словесном (без формул и таблиц) описании последовательности действий;

– *формульно-словесный*: данный способ предполагает описание алгоритма с использованием математических символов и выражений в сочетании со словесными пояснениями;

– *графический*: данный способ имеет наибольшее распространение, т.к. позволяет достаточно наглядно и точно описать алгоритм. Может быть представлен блок-схемой, в которой используются символы, отражающие шаги и проверки условий алгоритма, и символы, отражающие связи шагов алгоритма друг с другом;

– *псевдокод*: данный способ позволяет изобразить логику алгоритма, через систему естественного языка и операторов определенного языка программирования, что означает переход от псевдокода к записи алгоритма на языке программирования;

– *табличный*: данный способ представляет описание алгоритма с помощью таблиц и расчетных формул;

– *операторный*: данный способ предполагает представление алгоритма в виде последовательности операторов некоторого языка программирования. Соответственно, используется в основном для описания алгоритмов программ.

1.4 Управление

Нет смысла говорить об управлении чем-либо, на что нет никакой возможности повлиять. Это значит, что управление всегда предполагает возможность воздействия на объект управления. Причем воздействие должно преследовать некоторую цель и быть спланировано, т. е. построено на основе некоторой заранее заданной программы действий. Также программа действий может вырабатываться в ходе процесса воздействия. Для того, чтобы воздействие достигло цели, его программа должна быть построена на основе информации об объекте воздействия: о структуре объекта, его поведении т. д.

Следующее определение было дано термину «управление» в книге «Кибернетика» ведущего советского кибернетика Леонида Павловича Крайзера: «Управление есть осуществление совокупности воздействий на объект, выбранных из множества возможных воздействий на основании программы управления и информации о поведении объекта и состоянии внешней среды и направленных на поддержание или улучшение функционирования объекта для достижения заданной цели...» или «...иными словами, управление есть функция системы, направленная либо на сохранение ее основного качества (т. е. совокупность свойств, утеря которых приводит к разрушению системы), либо на выполнение некоторой программы, обеспечивающей устойчивость функционирования и достижение определенной цели».

Систему, в которой протекают процессы управления, называют системой управления. Она включает как минимум две составляющие: управляющую систему и объект управления.

Изменение состояния управляемого объекта в заданном направлении осуществляется путем управляющих воздействий, которые представляют сигналы, несущие информацию о запуске требуемых процессов со стороны управляемого объекта. Т. е. управляющее воздействие играет роль «спускового крючка», освобождающего энергию процессов, которые будут протекать в объекте управления. Можно также сказать, что процессы протекают в объекте управления за счет основного источника энергии, но под воздействием управляющей системы. Управляющие воздействия осуществляются по каналам управляющих связей. При этом характерно одностороннее действие со стороны управляющей системы в направлении объекта управления, т. к. сила обратной реакции настолько мала, что ею можно пренебречь.

Наряду с управляющим воздействием объект управления может испытывать и так называемые возмущающие воздействия, которые нарушают заданные зависимости в объекте управления. Возмущающие воздействия по отношению к объекту управления могут быть как внешними, так и внутренними.

В процессе управления управляющие воздействия должны иметь такой характер, чтобы с учетом возмущающих воздействий обеспечивалось оптимальное функционирование объекта.

«Совокупность правил, по которым на основании переработки информации о цели управления, о состоянии объекта управления, внешней среды, о возмущающих воздействиях вырабатывается управляющая информация о необходимости совокупности управляющих воздействий, называется алгоритмом управления» [12]. На основании разработанных алгоритмов управления создается детализированная программа управления объектом управления.

Для результативного управления необходима обратная связь с объектом, благодаря которой система управления получает информацию о текущем состоянии объекта и может корректировать управляющее воздействие на объект [13–17]. Хотя следует отметить, что не всегда обратная связь существует между управляющей системой и объектом управления. Системы управления с обратной связью называются замкнутыми системами управления, а без обратной связи, соответственно, разомкнутыми.

На рисунке 1.2 представлена общая схема управления, характерная для различных систем.

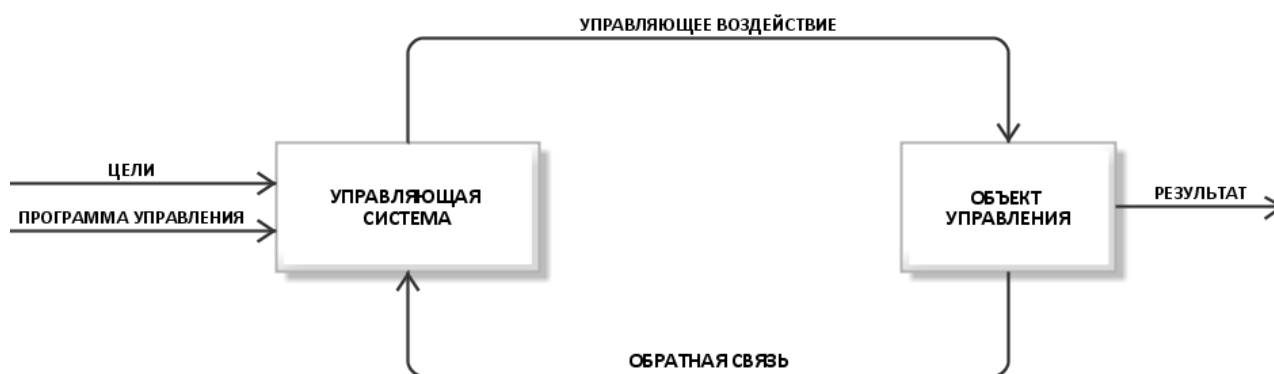


Рисунок 1.2 – Общая схема управления

Выводы

1. Технология, система, алгоритм, управление – понятия, тесно связанные. Технология предполагает наличие некоторой системы, реализующей ее. Появление новой, прогрессивной технологии автоматически ведет к появлению систем с более высокими техническими характеристиками, свойствами и возможностями.

2. Управление всегда присуще системе и является ее функцией. Например, транспортная система реализует управление подвижным составом, перевозящим пассажиров. Чем совершеннее система, тем более эффективно она осуществляет управление. Эффективность количественно может быть измерена целевой функцией.

3. С управлением тесно связано понятие алгоритма. В сложных многоуровневых системах для управления процессом функционирования системы используется большая библиотека алгоритмов, которые выбираются в большинстве случаев автоматически под конкретную ситуацию функционирования системы.

4. Транспортные системы, реализующие кассетно-конвейерную технологию обладают большой библиотекой сложных алгоритмов, чего нельзя сказать о старой, классической технологии развозки пассажиров, в которой алгоритмы просты и немногочисленны.

ГЛАВА 2 ТРАНСПОРТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА

2.1 Транспортная технология

Транспортная технология относится к числу нематериальных технологий, т. к. не связана с изменением свойств материи и представляет собой совокупность приемов организации перевозочного (транспортного) процесса с целью физического перемещения человека и/или материальных благ с использованием транспортных средств.

Как правило, перевозочный процесс включает последовательность таких этапов, как подготовка грузов (пассажиров) к перевозке, подача подвижного состава, погрузка грузов (пассажиров), перемещение, выгрузка (при необходимости сдачу грузополучателю) грузов (пассажиров), рисунок 2.1.

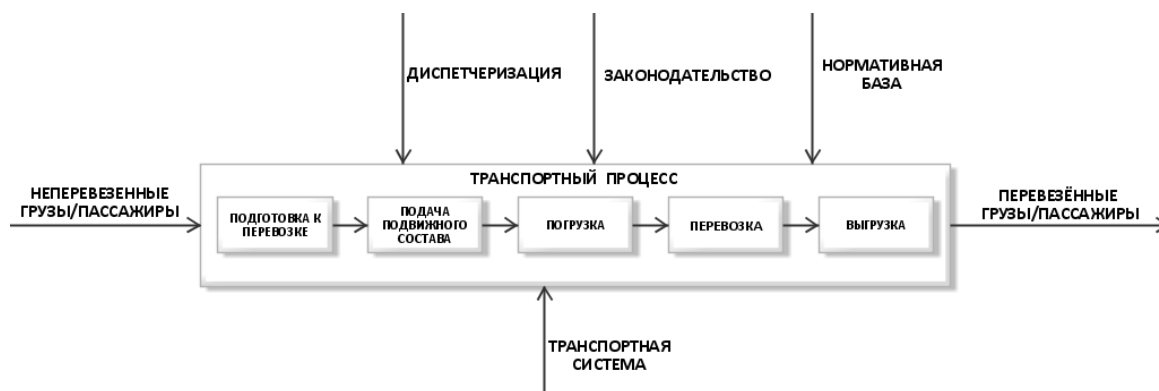


Рисунок 2.1 – Структурно – функциональная схема перевозочного процесса

Перевозочный процесс (транспортный процесс) является востребованным технологическим процессом. Выполняется регулярно транспортной системой под управляющим воздействием человека, нормативной и законодательной базы.

2.2 Транспортная система

Транспортная система – это совокупность материальных и нематериальных ресурсов (транспортные средства, транспортная инфраструктура, кадры, используемая информация и знания, финансы и т. д.), направленная на удовлетворение потребности в перевозке грузов и/или пассажиров.

Деятельность любой системы, в том числе и транспортной, должна быть целесообразной. Наличие цели у транспортной системы выступает в качестве системообразующего фактора, объединяющего в единое целое составляющие транспортной системы: перевозчиков, инфраструктуру, производителей подвижного состава, технические устройства инфраструктуры, организацию технической эксплуатации подвижного состава и инфраструктуры.

Конечной целью любой транспортной системы является удовлетворение спроса на перевозку грузов или пассажиров через реализацию перевозочного (транспортного) процесса. Это подтверждают и многие специализированные источники [18–29], например, [30]: «Транспортная система – это интегрированная совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих между собой функциональных элементов, образующих единое целое, обеспечивающее выполнение перевозочного процесса и потребности в перевозках».

К функциональным элементам транспортной системы относятся любые подсистемы, технологические модули либо прочие объекты, входящие в состав транспортной системы, и выполняющие в ней определенные задачи как самостоятельно, так и в совокупности с другими элементами транспортной системы. На сегодняшний день большинство транспортных систем включают следующие функциональные элементы:

- *маршрутную сеть*, представляющую определенную в установленном порядке совокупность путей следования транспортных средств для осуществления перевозок;

- *остановочные пункты* (пункты погрузки/разгрузки) – места остановки транспортных средств для высадки и посадки пассажиров (погрузки/ разгрузки грузов), а также для служебных нужд перевозчика;

- *расписание движения* транспортных средств – план организации перевозочного процесса, описанный через аналитику «местоположение – время»;

- *диспетчеризацию перевозок* – комплекс мероприятий, направленных на обеспечение оперативного контроля и координацию перевозочного процесса;

- *подвижной состав* (транспортные средства) – технические устройства, предназначенные для перевозки пассажиров, грузов и оборудования, установленного на нем.

На рисунке 2.2 представлен типичный вариант взаимосвязей между функциональными элементами в пассажирских транспортных системах.

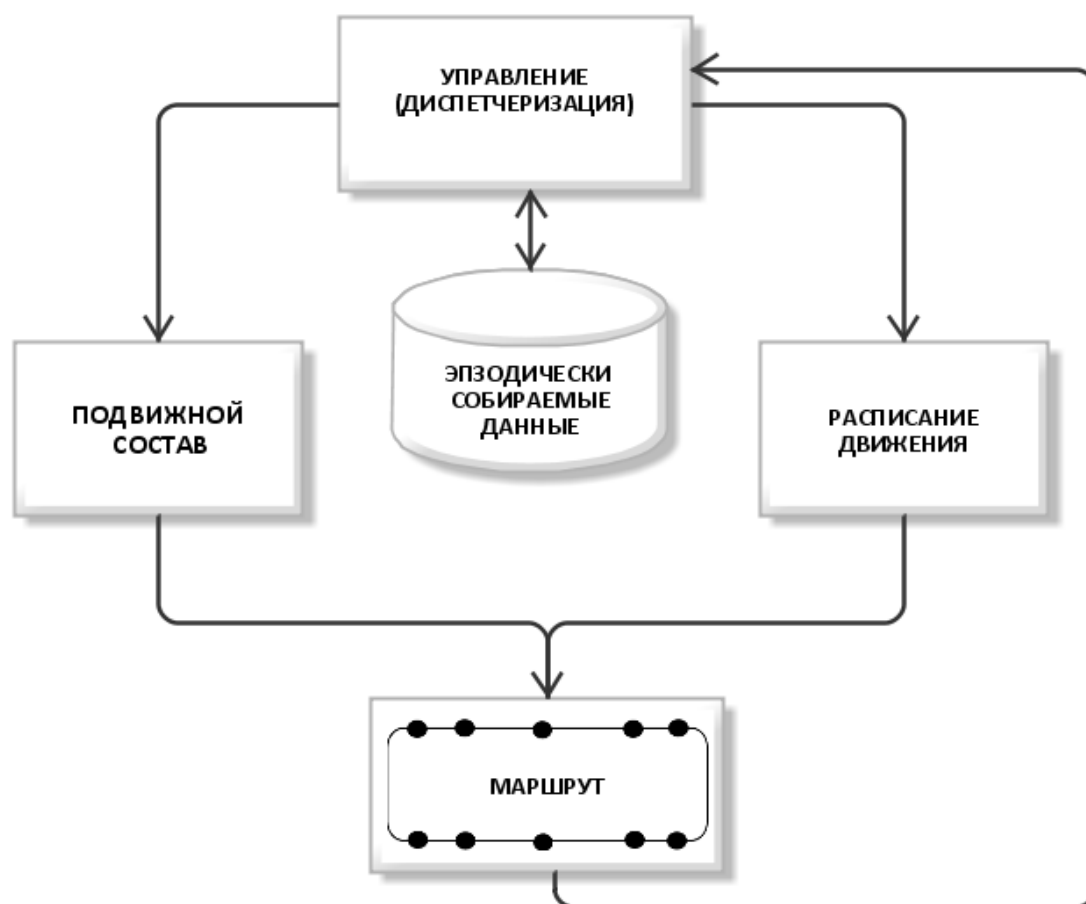


Рисунок 2.2 – Схема взаимосвязей функциональных элементов в пассажирских транспортных системах

Перевозочный (транспортный) процесс осуществляется транспортной системой в соответствии с транспортной технологией, которая представляет совокупность алгоритмов, приемов и т. д., направленных на достижение поставленных задач.

2.3 Информационные системы и информационные технологии на транспорте

Термин «Информационная система» тесно связан с такими понятиями, как «данные» и «информация», которые часто воспринимаются как синонимы, но на самом деле они представляют по сути два разных явления.

Термин «данные» толковый словарь русского языка под ред. Д. Н. Ушакова определяет так: «Данные — сведения, обстоятельства, служащие для какого-нибудь вывода, решения». Это совокупность зафиксированных значений свойств (или характеристик) некоторого объекта или явления, полученных в результате измерений или выполнения логико-математических операций, и при этом представленных в форме, пригодной для хранения и последующей обработки. Иными словами, данные – это просто фиксация неких фактов об объекте или явлении, представленных в требуемой форме. Данные – это «сырой материал», потенциально способный стать в последующем источником самой различной (в том числе и противоречивой) информации.

Слово «информация» происходит от латинского слова «*informātiō*», что означает «разъяснение, представление, понятие о чем-либо». Информация – это результат обработки и интерпретации данных, т. е. результат «попадания» данных в некоторый смысловой контекст. Например, измеренная температура воздуха – это данные. Но, когда эти данные рассматриваются через сезонность, то одна и та же температура воздуха может означать холод, например, летом и тепло зимой. То есть зафиксированные данные температуры воздуха через их интерпретацию приобрели контекстный смысл и породили информацию, которая может быть в дальнейшем использована.

Очевидно, что информация должна быть достоверной и актуальной, и потому должна строиться только на достоверных данных о предмете разъяснения, будучи результатом правильной их интерпретации.

Информационная технология – это совокупность приемов, способов и методов применения средств вычислительной техники при выполнении функций сбора, хранения, обработки, передачи и использования данных с целью дальнейшего получения информации.

В конце XX века человеческое общество вступило в постиндустриальный период своего развития, и информационные технологии проникли в разные сферы его деятельности. Так в науке информационные технологии используются для обработки экспериментальных данных, моделировании систем, прогнозировании процессов. В образовании стали широко применяться электронные учебники, системы дистанционного обучения. Благодаря информационным технологиям в медицине диагностика достигла очень высокого уровня. В военном деле информационные технологии активно применяются при мониторинге боевых действий, управлении беспилотными средствами. Государственное управление использует информационные ресурсы для поддержки обратной связи с обществом, информирования граждан о важных изменениях в государственном регулировании и др. Автоматизация производства позволила значительно повысить производительность труда и снизить производственные затраты.

Информационные технологии в транспортной сфере также нашли обширную область применения [31–42]: сбор и обработка данных, принятых с детекторов транспортного потока, адаптивных светофоров, средств автоматической фиксации нарушений ПДД, электронных средств оплаты проезда, паркоматов, подключенных информационных табло, систем автоматизированного управления освещением; автоматическая идентификация номерных знаков; маршрутная GPS/ГЛОНАСС – навигация и т. д.

Информационная система – это совокупность средств сбора, хранения и обработки данных, конечной целью которой является производство достоверной информации. Чтобы получить информацию, информационной системе необходимо собрать и накопить исторические данные для дальнейшей их интерпретации. Алгоритмы обработки данных воздействуют на накопленные объемы данных, преобразуя их в некоторый информационный контекст, рисунок 2.3.

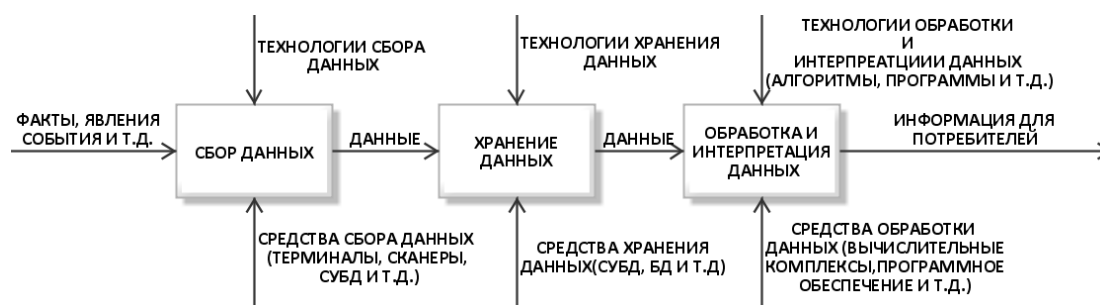


Рисунок 2.3 – Процессы в информационной системе

Информационные системы могут быть интеллектуальными (ИИС) и автоматизированными (АИС). Если при выполнении функций информационная система способна к самостоятельному (без участия человека) принятию решений, то такая система является интеллектуальной. Если человек осуществляет управляющее воздействие, то такая информационная система является автоматизированной.

2.4 Информационно-транспортные системы

Слияние информационных и транспортных технологий привело к появлению нового поколения транспортных систем, в которых, благодаря использованию телекоммуникационного оборудования, интегрированного с единой информационной системой, возможен постоянный мониторинг транспортной обстановки и сбор данных, которые в дальнейшем подвергаются анализу с целью оптимизации управления транспортной системой [43–50]. Такие системы получили название информационно-транспортные системы (далее ИТС).

В целях дальнейших рассуждений транспортные системы (которые повсеместно функционировали на протяжении последних десятилетий и функционируют по сей день), использующие автомобильный транспорт, управляемый человеком, и диспетчеризацию, выполняемую человеком, будут называться *классическими пассажирскими транспортными системами*.

Как и в классических пассажирских транспортных системах, в ИТС также выполняется перевозочный процесс. Но в отличие от первых перевозка информационно-транспортной системой осуществляется еще и под воздействием информационных и телекоммуникационных технологий. При этом используются ресурсы как транспортной и информационной систем, так и систем телекоммуникаций, рисунок 2.4.

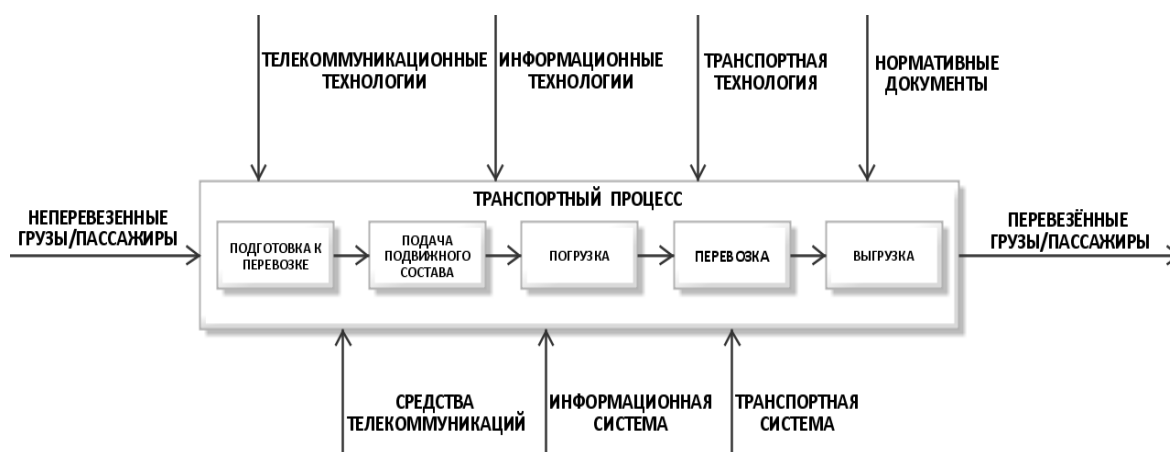


Рисунок 2.4 – Структура транспортного процесса в ИТС

Главным отличием ИТС от классических транспортных систем является управление: процессы в ИТС протекают с минимальным участием человека (либо без него), т. к. его управляющие функции на себя берут информационные технологии и интеллектуальные алгоритмы (рисунок 2.5).

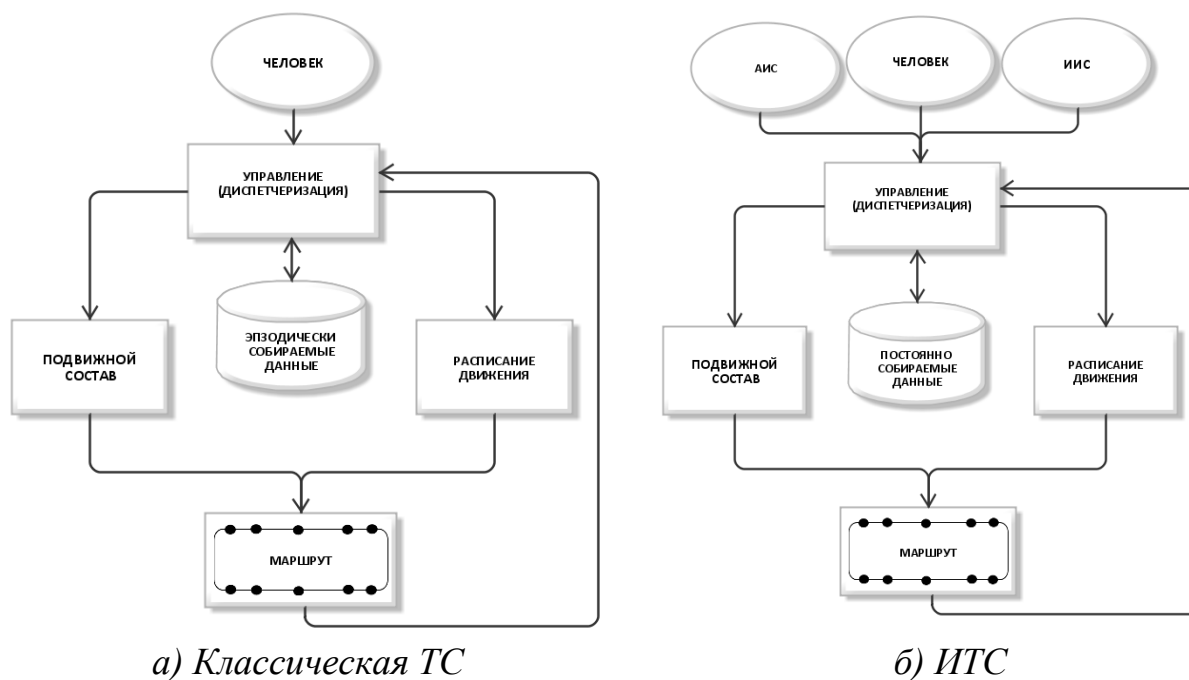


Рисунок 2.5 – Взаимосвязи функциональных элементов в классической пассажирской транспортной системе и ИТС

Выводы

1. Транспортная технология порождает транспортную систему, которая в свою очередь реализует транспортную технологию.
2. Внедрение информационных и телекоммуникационных технологий в транспортную сферу привело к появлению нового типа транспортной системы – ИТС (информационно-транспортные системы).
3. Основное отличие ИТС от классических транспортных систем заключается в особенностях управления. Управление в ИТС выполняется в автоматизированном либо автоматическом режиме на основе постоянно используемой информационной технологии (сбор, хранение и анализ данных), тогда как в классических системах управление (диспетчеризация) выполняется человеком на основе эпизодически собираемых данных.

ГЛАВА 3. КЛАССИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

3.1. Классическая технология организации перевозочного процесса

Под технологией автомобильных городских пассажирских перевозок понимается совокупность методик организации перевозки городского населения с помощью автомобильного транспорта, которые могут быть как разовыми, так и маршрутными [51-53].

Технология разовых перевозок, как правило, заказных и нерегулярных, основана на организации отдельных рейсов по разовым маршрутам. Например, такси – перевозка.

Маршрутная перевозка используется при устойчивом пассажиропотоке и, как правило, осуществляется такими видами транспорта, как автобус, троллейбус, трамвай, метро. Технология маршрутной городской перевозки нацелена на удовлетворение спроса на перевозку при рациональном использовании ресурсов перевозчика: подвижного состава, числа рейсов на маршруте и пр [54-62]. Перечисленные, а также другие задачи и их решения выявляются на основе собранной информации о потребности в перевозке, а также «технических, экономических, эксплуатационных, организационных и других закономерностей перевозочного процесса с целью полного и своевременного удовлетворения потребностей в перевозках при соблюдении законодательных норм...» [30].

Устоявшаяся технология маршрутной пассажирской перевозки в городах, которая в дальнейшем будет называться классической представлена на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Этапы классической технологии маршрутной городской пассажирской перевозки

В нее входят такие этапы, как: обследование транспортной потребности населения; нормирование скоростей движения; определение потребности в подвижном составе; распределение подвижного состава по маршрутам; составление расписаний (маршрутного, диспетчерского, для транспортного средства); непосред-

ственное выполнение перевозочного процесса транспортными средствами; текущий контроль перевозочного процесса; текущая корректировка перевозочного процесса (по необходимости).

Данная совокупность этапов является типовой и используется повсеместно при организации перевозочного процесса в классических пассажирских транспортных системах.

3.1.1. Обследование транспортной потребности населения. Согласно [63] обследование транспортной потребности населения является «...единственным источником информации, достаточно полно характеризующими параметры транспортного спроса и условия его удовлетворения в рамках действующей системы...». Тем же источником выделяется две группы обследований: обследования транспортных потребностей населения и обследование транспортного обслуживания населения. «Перый класс обследований направлен изучение особенностей транспортного спроса и включает в себя: обследование расселения, обследование подвижности населения, обследование посещаемости заведений культурно-бытового назначения, обследование причин перемены мест работы и жительства, обследование бюджета времени» [63].

Обследование транспортного обслуживания населения направлено на выявление уровня удовлетворенности транспортного спроса при функционирующей системе транспортного обслуживания. С помощью полученной при обследовании информации решается целый ряд как градостроительных, так и производственно-эксплуатационных задач транспортного предприятия. Обследование транспортного обслуживания включает в себя обследование поездок, обследование пассажиропотоков, обследование наполнения подвижного состава.

Основными методами обследований являются анкетирование, талонный метод, табличный, визуальный (глазомерный) метод.

При анкетировании составляются опросные анкеты, которые заполняются анкетиремым либо специальным учетчиком по месту работы, жительства, на остановочных пунктах, во время поездки на общественном транспорте. Данный метод позволяет получать наиболее подробную информацию о пассажиропотоках, социальной структуре пассажиров, степени удовлетворения спроса населения на транспортные услуги, оценки качества транспортного обслуживания пассажиров, затратах населения на транспорт и пр. Основными недостатками анкетного метода является большая трудозатратность, высокая себестоимость и ошибки человеческого фактора.

Талонный метод выполняется через выдачу специальных учетных талонов, которые выдаются каждому пассажиру при входе в транспортное средство, а при выходе сдаются им учетчику. В учетном талоне указывается пункт посадки пассажира. При сдаче талона учетчик отмечает на нем пункт выхода. При обследовании пересадочности в талоне указывается еще и информация о возможных пересадках. Достоинством талонного метода является возможность получения достаточно полных данных о корреспонденциях пассажиров. К недостаткам можно отнести трудоемкость, большие временные и финансовые затраты, требуемые на сбор и обработку данных.

Табличный метод выполняется специальными учетчиками, находящимися внутри салона транспортного средства или на остановочных пунктах путем опроса пассажиров и занесением данных в специально составленные таблицы. По сравнению с анкетным и талонным методами табличный метод является менее трудоемким и более дешевым.

Визуальный или глазомерный метод применяется для определения степени наполняемости подвижного состава и особенностях пассажиропотока на наиболее пассажиронапряженных участках маршрутов в разрезе часов суток и дней недели. Визуальную оценку могут осуществлять находящиеся на остановках учетчики, водители и кондукторы транспортных средств. Полученные данные используются для определения потребного числа транспортных средств на маршруте и составления маршрутных расписаний.

Выбор конкретного метода обследования зависит от цели обследования и решаемых на основе его задач с учетом местных условий. Возможно комбинированное использование нескольких методов.

3.1.2. Нормирование скоростей движения на маршрутах. Скорость движения перевозящих пассажиров транспортных средств является важным параметром, влияющим на организацию перевозочного процесса. «Скорость движения определяется отношением пройденного автобусом расстояния (пробега) ко времени нахождения автобуса в пути. Величина скорости движения является важнейшим фактором, влияющим на эффективность использования подвижного состава и затраты времени пассажиров на поездку. Уровень достигнутой скорости движения характеризует состояние организации автобусных перевозок и качество обслуживания пассажиров. Кроме того, скорость непосредственно связана с безопасностью движения» [64]. Как правило скорости движения нормируются не реже двух раз год.

Нормы времени на выполнение рейсов являются исходной информацией определения скорости движения, распределения транспортных средств на маршрутах, составления графиков движения и пр. При установлении нормы времени движения на маршруте в качестве ограничений выступают максимально допустимая производителем (конструктивная), предельно допустимая (разрешенная ПДД) и среднеходовая (без учета задержек на разгон-торможение) скорости, частота расположения остановочных пунктов, конструктивные особенности посадочных устройств (двери, высота пола и т.д.), особенности изменения пассажиропотока, ограничения скорости движения и пр.

Существуют два метода нормирования скоростей движения на маршрутах: хронометражный и расчетный [62]. Хронометражный метод основан на замерах фактических временных затрат (не менее четырех раз в одно направление на сухом дорожном полотне при использовании наименее динамичного транспортного средства) на рейс. Норма времени может определяться по формуле (3.1) [62,64]:

$$t_p = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5}, \quad (3.1)$$

где t_{\min}, t_{\max} - наименьшее и наибольшее время по хронометражу. Результаты округляются в большую сторону.

Расчетный метод определения норм времени на рейс основан на разделении маршрутов на участки с определением времени, необходимого на пробег по каждому из них. Исходные данные берутся из паспорта автобусного маршрута. Время рейса определяется суммированием времени преодоления каждого участка маршрута, а также задержек. Реальный опыт использования обоих методов продемонстрировал, что наилучшие результаты получаются при комбинированном их использовании. Определенная скорость движения является входным параметром при расчете потребности в подвижном составе на маршруте.

3.1.3. Определение потребности в подвижном составе на маршруте. Выбор подвижного состава для осуществления перевозочного процесса на маршруте напрямую определяет его эффективность. Так использование транспортных средств большой вместимости на маршрутах с малым спросом на перевозку либо с высокими его колебаниями повлечет высокую себестоимости перевозки, либо приведет к большим интервалам движения и, как следствие, к увеличению времени ожидания пассажирами на остановках. Использование транспортных средств малой вместимости на маршрутах с высоким пассажиропотоком сократит интервалы движения, но усилит потребность в подвижном составе и повысит загрузку проезжей части.

Потребное число транспортных средств на маршруте устанавливается, исходя из характера пассажиропотока, времени оборота транспортного средства (время от момента отправления с конечного пункта до времени отправления с этого же пункта для следующей перевозки) и допустимой вместимости транспортного средства (устанавливается из расчета от 3 до 5 чел. на 1 м² свободной площади пола салона транспортного средства) [64] и целесообразного интервала движения транспортных средств, который в зависимости от часового промежутка может варьироваться от 1 до 12 минут.

Требуемая вместимость автобуса может определяться соотношением (3.2):

$$q = \frac{Q_{\max} \times I}{T_{об}}, \quad (3.2)$$

где Q_{\max} - пассажиропоток на наиболее напряженном перегоне маршрута за время оборотного рейса в чел.; I – маршрутный интервал движения, мин; $T_{об}$ – время оборота автобуса на маршруте (движение по всему маршруту в прямом и обратном направлении) в мин (3.3):

$$T_{об} = 60 \frac{2l}{v} \quad (3.3)$$

l – длина маршрута, км; v - эксплуатационная скорость движения автобуса, км/ч. Требуемая вместимость рассчитывается для каждого характерного периода работы на маршруте.

Потребное число транспортных средств для работы на маршруте определяется исходя из соотношения (3.4):

$$A = \frac{Q_{\max} \times T_{об}}{q \times 60} \quad (3.4)$$

3.1.4. Составление расписаний движения. Маршрутное расписание движения составляется для организации работы транспортных средств на маршруте и устанавливает время начала и конца каждого рейса, прохождение контрольных пунктов маршрута и пр. Выписками из маршрутного расписания являются расписание движения для транспортного средства, в котором указано время определенного выхода, а также диспетчерское расписание, содержащее сведения о движении транспортных средств через контрольные пункты маршрута. При необходимости разрабатываются и другие виды расписаний. Ежегодно расписания подвергаются корректировке для учета изменения числа и состава транспортных средств, норм времени, пассажиропотока и пр. При составлении расписания используются графический, табличный, трафаретный, автоматизированный методы.

Графический метод. Основан на графическом представлении движения транспортного средства через координаты «путь-время», рисунок 3.2. Наклон линии соответствует скорости движения транспортного средства.

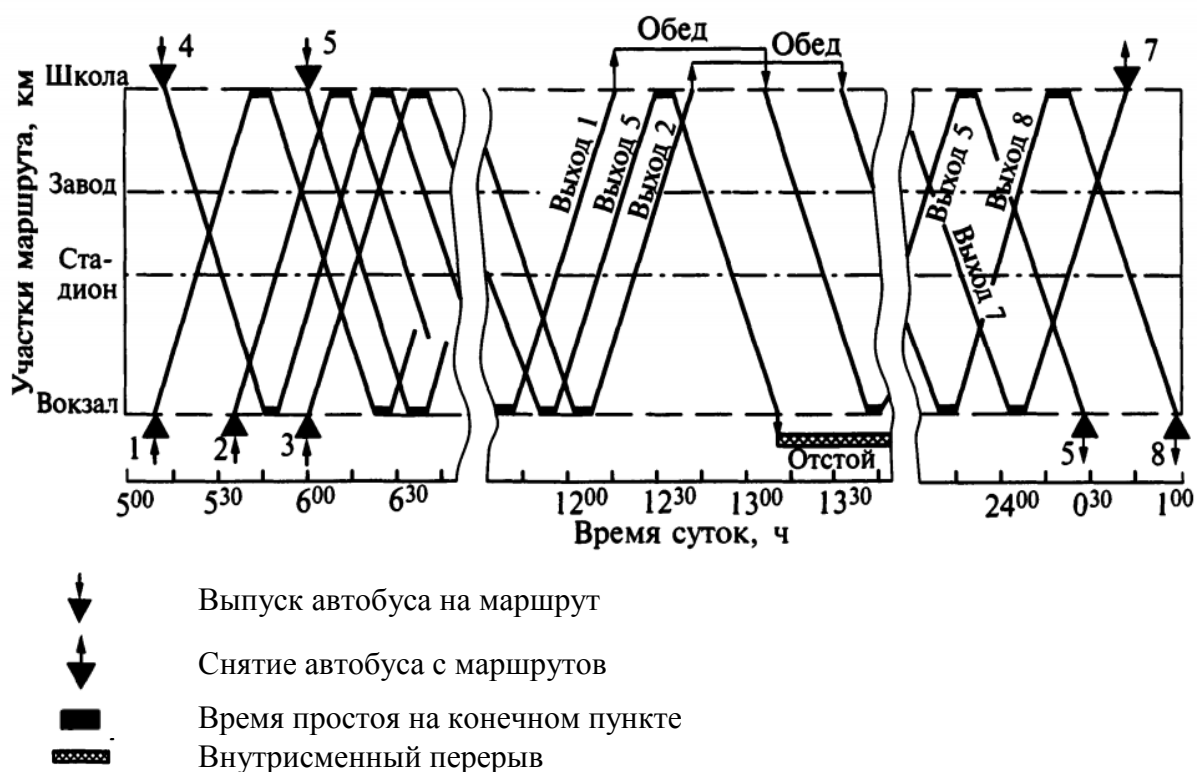


Рисунок 3.2 – Графический метод составления расписания движения

Данный метод обеспечивает наглядность и достаточно эффективен в малых городах при незначительном числе автобусов на маршрутах.

Табличный метод. На практике является основным в применении. Расписание составляется непосредственно в табличной форме. Этот метод применяют

при большом числе транспортных средств на маршруте, что имеет место в средних и больших городах. Недостатком метода считается отсутствие наглядности отслеживания интервалов движения автобусов по часам суток, потребность в высокой квалификации составителя расписания и пр.

Графаретный метод. Используется вместо табличного метода либо в комбинации с ним при сложных схемах труда водителей и большом числе транспортных средств.

Автоматизированный метод. Расписания составляются с использованием средств автоматизации. Достоинством метод является снижение нагрузки при расчетах с составителя расписания. Недостатком метода является необходимость в ручной корректировке в сложных случаях организации движения.

3.1.5. Текущий контроль, анализ и корректировка перевозочного процесса.

Решение задач контроля, анализа и корректировки перевозочного процесса основано на типовых технологических решениях, направленных на повышение эффективности перевозочного процесса: рационального использования подвижного состава при поддержании качества обслуживания пассажиров на нормативном уровне. В основе технологических решений лежит диспетчерское управление, которое направлено на выполнение разработанного ранее плана перевозки и его оперативную корректировку в соответствии с возникающими отклонениями.

Потребность в диспетчерском управлении объясняется недостаточной либо несвоевременной информацией об объекте управления, случайными колебаниями спроса на перевозку, сбоями перевозочного процесса. Если влияние первого фактора с развитием телекоммуникационных, цифровых и информационных технологий в некоторой степени снижается, то бороться со вторым и третьим гораздо сложнее.

Текущий контроль перевозочного процесса состоит в получении объективной информации о перевозках и о дорожно-климатических условиях. Анализ направлен на определение стратегий дальнейшего совершенствования перевозок и производится на основе информации, полученной при контроле с учетом плана перевозок и принятых диспетчерских решениях.

Работа органов диспетчерского управления организуется на основе типовых технологических решений [65] с использованием разработанных технологических карт, в которых определены методы решения складывающихся наиболее вероятных оперативных ситуаций. При наступлении ситуации диспетчер руководствуется приведенными в технологической карте алгоритмами. В нестандартных ситуациях диспетчер принимает решения самостоятельно. В таблице 3.1 приведены некоторые типовые ситуации и способы их разрешения.

Таблица 3.1. Типовые ситуации и способы их разрешения

Ситуация	Методы решения
Опоздание транспортного средства на конечный пункт	1.Сокращение стоянки на конечном пункте 2.Нагон опоздания в пути 3.Направление транспортного средства в укороченный рейс

Ситуация	Методы решения
Сход транспортного средства с маршрута, повышение спроса на перевозку	1. Ввод транспортных средства из резерва либо с других маршрутов 2. Равномерное увеличение интервалов движения при сходе транспортного средства с маршрута
Осложнение метеорологических условий	1. Переход на движение с увеличенными нормами времени на выполнение рейсов 2. Полное прекращение движения транспортных средств при угрозе безопасности движения

3.2. Классическая городская пассажирская транспортная система

Большинство автомобильных пассажирских транспортных систем, функционирующих в городах, включает в себя подсистему организации транспортного процесса, парк транспортных средств, подсистему обслуживания и ремонта транспортных средств, здания и сооружения и пр.

Подсистема организации транспортного процесса среди прочих задач, связанных с организацией перевозки осуществляет расчет необходимого числа транспортных средств, курсирующих на маршруте; определение интервалов движения; составление расписаний движения транспортных средств на маршруте и контроль их выполнения и т.д.

Состав парка транспортных средств должен соответствовать по эксплуатационным характеристикам специфике пассажиропотока на маршруте. Ведущая роль в обосновании состава парка транспортных средств принадлежит подсистеме организации транспортного процесса.

Подсистема обслуживания и ремонта транспортных средств относятся к вспомогательным производствам, задача которых состоит в обеспечении бесперебойного функционирования перевозочного процесса.

Эффективное функционирование транспортной системы достигается в условиях скоординированной работы всех подсистем, входящих в нее.

3.3. Комбинированная перевозка в классической транспортной системе

В зависимости от прохождения маршрутных остановок транспортными средствами выделяются следующие три режима следования транспортных средств по маршруту: обычный, скоростной и экспрессный [65].

При обычном режиме транспортные средства останавливаются на всех остановочных пунктах маршрута. При скоростном режиме лишь на некоторых. При экспрессном режиме транспортные средства следуют без остановок от начального до конечного пункта.

Обычный режим движения, обеспечивает доступность транспортных средств для всех пассажиров, пользующихся маршрутом. Однако в следствие большого числа осуществляемых остановок существенно ограничивается скорость транспортных средств, увеличивается продолжительность поездки и расход топлива [65].

Как указывается том же источнике [65]: «Анализ показывает, что скорость сообщения автобусов на городских маршрутах растет прямо пропорционально корню кубическому из длины перегона», рис. 3.3 (взято из этого же источника).

А «...увеличение расстояния между остановочными пунктами на 100 м дает увеличение скорости сообщения на 1 км/ч», «...при этом экономия времени пассажиров возрастает прямо пропорционально увеличению дальности поездок» [57].

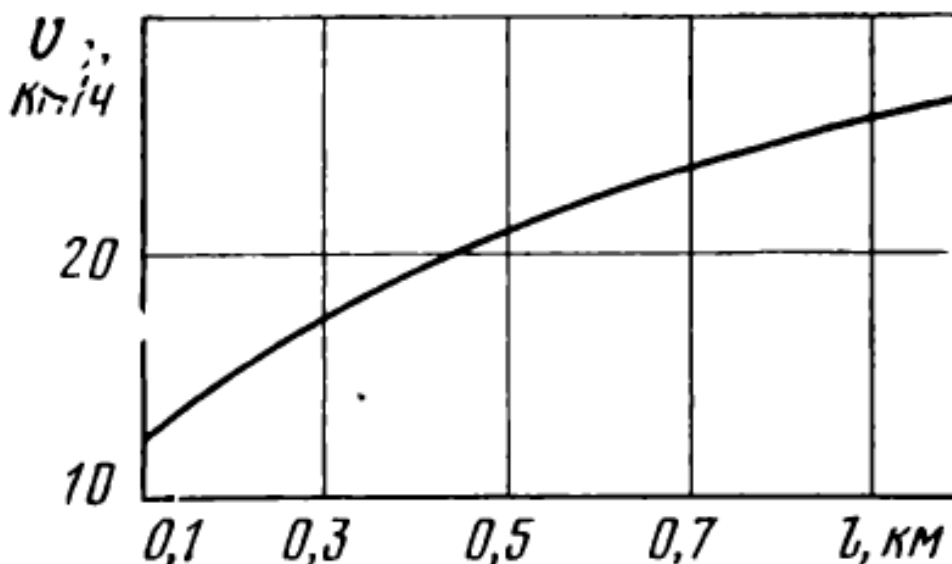


Рис. 3.3. Зависимость скорости автобуса от длины перегона

«Социологические исследования показывают, что уменьшение продолжительности поездки пассажира к месту работы на 10 мин обеспечивает повышение производительности его труда приблизительно на 4%. Таким образом, организация движения городских автобусов в скоростном и экспрессном режимах является важным резервом повышения производительности труда в народном хозяйстве» [65]. Кроме этого «скоростной и еще в большей степени экспрессный режимы движения, когда автобусы не останавливаются на некоторых остановочных пунктах маршрута, позволяют получить существенный выигрыш в скорости движения и во времени движения, в расходе топлива и в сохранности подвижного состава» [65].

Большие экономические потери транспорт несет при торможении и разгоне на остановочных пунктах [65]: «Напротив, скоростной и еще в большей степени экспрессный режимы движения, когда автобусы не останавливаются на некоторых остановочных пунктах маршрута, позволяют получить существенный выигрыш в скорости движения и во времени движения, в расходе топлива и в сохранности подвижного состава». В том же источнике также приводятся следующие данные о соотношении расхода топлива при обычном (транспортное средство останавливается на всех остановках маршрута), скоростном (транспортное средство останавливается на некоторых остановках), экспрессном (транспортное средство едет без остановок от начального к конечному пункту), рисунок 3.4 (рисунок взят из того же источника).

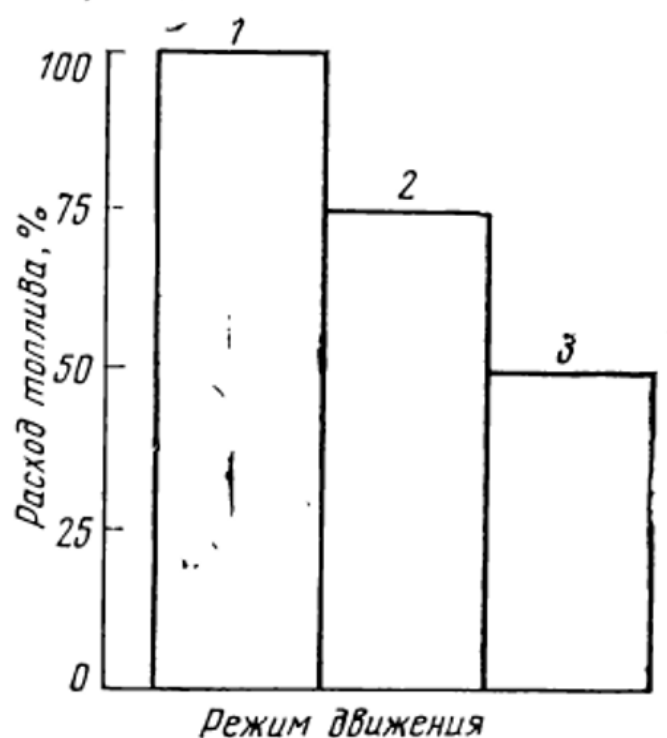


Рисунок 3.4 – Данные о соотношении расхода топлива при различных режимах движения:
1 – обычный, 2 – скоростной, 3 – экспрессный

Расход топлива при экспрессном режиме движения в два раза меньше, чем при обычном. Таким образом, если добиться такого режима движения на маршруте, при котором транспортные средства не останавливаются на «ненужных» остановках, то можно добиться существенной экономии энергоресурсов и эксплуатационных ресурсов транспортных средств.

Тот же источник делает вывод, что эффективно организовать перевозки пассажиров в городах при одном режиме движения на маршрутах, как правило, невозможно. Более эффективным является применение комбинации нескольких режимов движения на одном маршруте. «Комбинированный режим движения позволяет сочетать доступность обычного режима движения с высокой экономичностью и эффективностью скоростного и экспрессного режимов» [65].

Выводы

1. Классическая технология пассажирских перевозок обеспечивает доступную стоимость поездки для всех слоев общества, регулярность курсирования транспорта. Но при этом имеет такие существенные недостатки, как неэффективное использование пассажироместности транспортных средств, неадаптивное расписание движения; зачастую неадекватное число курсирующих транспортных средств.

2. Отсутствие своевременной и адекватной информации о спросе на перевозку препятствует принятию эффективных решений и влечет потери транспортного предприятия.

3. Преобладание обычного режима перевозки приводит к быстрому износу механизмов транспортных средств и неэффективному расходу энергоресурсов из-за частых разгонов и торможений.

Глава 4 КАССЕТНО-КОНВЕЙЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗОК

4.1 Беспилотный транспорт с разделяющимися частями

Перед предприятиями, осуществляющими городские пассажирские перевозки, стоит задача оптимизации перевозочной деятельности – достижения ситуации, когда спрос на перевозки совпадал бы с предложением при минимальных транспортных издержках. С другой стороны, требуемое повышение качества обслуживания пассажиров и вместе с тем снижение затрат на его организацию, можно достичь путем оперативного регулирования работы подвижного состава на маршрутах. Качество пассажироперевозок оценивают регулярностью движения и наполнением транспортных средств, величиной маршрутного интервала, временными затратами населения в поездках, скоростью сообщения и комфортабельностью транспортного обслуживания [54–62, 65–70].

Повышение качественных показателей транспортного обслуживания приводит к росту себестоимости пассажироперевозок. Поэтому требование максимизации качественных показателей пассажироперевозок и минимизации их себестоимости противоречат друг другу. Если к тому же учесть нерегулируемые случайные колебания пассажиропотоков во времени и по длине транспортной сети, неизбежные задержки движения маршрутного пассажирского транспорта при работе в общем потоке уличного движения и т. д., то становится очевидным, что составление оптимального плана движения представляет собой весьма сложную задачу. План движения, с одной стороны, должен быть достаточно напряженным, т. е. должен быть рассчитан на максимальный выпуск подвижного состава на линию, максимальное полезное использование продолжительности рабочей смены автобусных бригад, реализацию максимальной скорости движения и т. д. Все это будет способствовать снижению себестоимости и повышению качества пассажироперевозок. Но, с другой стороны, в плане движения должны быть заложены достаточные резервы и по выпуску подвижного состава с учетом возможных замен транспортных средств на линии, и по скорости движения с учетом необходимости запасов времени на нагон при различных сбоях движения и т. д.

Таким образом, в настоящее время основными рычагами повышения эффективности пассажирских перевозок является оптимизация городской маршрутной сети, оптимизация интервалов движения транспортных средств в различные периоды суток в зависимости от пассажиропотока. Но этого явно недостаточно. Необходимо еще иметь транспортные средства с совершенно новыми характеристиками и возможностями [71–77].

4.1.1 Расчет потерь топлива на остановки. Рассмотрим маршрут, состоящий в прямом направлении из двенадцати остановочных пунктов. Если пассажиру необходимо проехать из начального пункта в конечный, то транспортное средство сделает 10 промежуточных остановок, не нужных пассажиру, прежде чем доставит его в пункт назначения. Примем, что на каждом промежуточном остановочном пункте из транспортного средства выходит $1/10$ часть пассажиров и загружаются новые. Таким образом, при каждой остановке бесполезно гасится

кинетическая энергия, пропорциональная 9/10 массы пассажиров, которым не надо выходить на этой остановке. Также теряется энергия, относящаяся к массе транспортного средства.

Пусть средняя масса пассажира равна 71 кг, а плотность пассажиров в салоне транспортного средства составляет 5 чел./м². Тогда при следующих допущениях можно сделать расчеты для большого класса автобусов (МАЗ-103), у которого габаритные размеры 11985–2500–2838 мм; масса – 18000 кг; номинальная вместимость (5 чел./м²) – 90 чел.:

Полезная масса	$90 \times 71 \text{ кг} = 6390 \text{ кг}$
Полная масса	$90 \times 71 + 18000 \text{ кг} = 24390 \text{ кг}$
Отношение полезной к полной	$6390/24390 = 26,2 \%$

Последний показатель можно считать и коэффициентом полезного действия пассажирского транспортного средства. Следовательно, 73,8 % накопленной кинетической энергии уходит впустую при торможении на остановочных пунктах.

Аналогично делаются расчеты для среднего класса автобусов МАЗ-206, у которого габаритные размеры 8650–2550–2930 мм; масса – 13200 кг; номинальная вместимость (5 чел./м²) – 72 чел.:

Полезная масса	$72 \times 71 \text{ кг} = 5112 \text{ кг}$
Полная масса	$72 \times 71 + 13200 \text{ кг} = 18312 \text{ кг}$
Отношение полезной к полной	$5112 / 18312 = 27,9 \%$

Для малого класса автобусов МАЗ-241, у которого габаритные размеры 6800–2550–2785 мм, масса – 8775 кг, номинальная вместимость (5 чел./м²) – 36 чел.:

Полезная масса	$36 \times 71 \text{ кг} = 2556 \text{ кг}$
Полная масса	$36 \times 71 + 8775 \text{ кг} = 11331 \text{ кг}$
Отношение полезной к полной	$2556 / 11331 = 22,5 \%$

Полученные результаты сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Расчет КПД для автобусов разного типа

Автобусы					
Тип	Длина, м	Вес, кг	Полезная масса, кг.	Полная масса, кг.	Отношение полезной к полной, %
Малого класса, МАЗ-241	от 6,0 до 7,5	8775	2556	11331	22,5
Среднего класса, МАЗ-206	от 8,0 до 10,0	13200	5112	18312	27,9
Большого класса, МАЗ-103	от 10,5 до 12,0	18000	6390	24390	26,2

Из приведенных данных следует, что коэффициент полезного действия или коэффициент эффективности процесса остановки для всех типов автобусов примерно одинаков и колеблется в районе 25 %. Но этот коэффициент будет значительно ниже, если из полезной массы вычесть 9/10 массы пассажиров, которым

не надо выходить на данной остановке. Сделаем перерасчет отношений полезной массы (1/10 полной массы пассажиров в салоне транспортного средства) к полной массе транспортного средства с полностью заполненным салоном для всех типов автобусов:

Малый класс	$255,6/11331 = 2,25 \%$,
Средний класс	$511,2/18312 = 2,79 \%$,
Большой класс	$639/24390 = 2,62 \%$.

Таким образом, на остановочных пунктах теряется значительная часть кинетической энергии, и, следовательно, идет перерасход топлива и снижается эффективность пассажироперевозок.

Выходом из такого положения может послужить создание нового типа транспортных средств, позволяющего снизить кинетические потери при разгонах-торможениях во время перевозки. Таким типом пассажирского транспорта могут служить беспилотные, разделяющиеся на несколько частей, транспортные средства. В задней части таких транспортных средств собираются пассажиры, которым надо выходить на очередной по ходу следования остановке. При прохождении этой остановки задняя часть транспортного средства отделяется от состава и тормозится на остановочном пункте. Пассажиры, которым нужно ехать дальше, минуют этот остановочный пункт в передней части транспортного средства без остановки. Таким образом, 9/10 массы пассажиров проезжают транзитом.

На рисунке 4.1 [78] представлена модель транспорта с разделяющимися частями.



Рисунок 4.1 – Модель транспорта с разделяющимися частями

Для расчета потерь топлива при одной остановке транспортного средства обозначим через M_A – массу автомобиля, а через $M_{П}$ – массу пассажиров полностью заполненного салона. Скорость автомобиля при подъезде к остановочному пункту примем как $v = 30$ км/час (8 м/сек).

Полная кинетическая энергия транспортного средства при подъезде к остановке, и которая будет погашена торможением, равна

$$W_1 = \frac{M_A \cdot v^2}{2} + \frac{M_{II} \cdot v^2}{2}. \quad (4.1)$$

В случае отделения задней части транспортного средства от передней с 1/10 частью пассажиров ее кинетическая энергия будет

$$W_2 = \frac{0.5 \cdot M_A \cdot v^2}{2} + \frac{0.1 \cdot M_{II} \cdot v^2}{2}. \quad (4.2)$$

Это вынужденные потери даже при разделении частей. Вычтем из (4.1) выражение (4.2) и получим величину (4.3) сэкономленной энергии в случае системы с разделением частей

$$W_1 - W_2 = \frac{0.5 \cdot M_A \cdot v^2}{2} + \frac{0.9 \cdot M_{II} \cdot v^2}{2}. \quad (4.3)$$

Рассчитаем количество потерянного топлива эквивалентного погашенной энергии (4.3), при остановке со скорости $v = 30$ км/час и до $v = 0$ для большого класса автомобиля (МАЗ-103) с массой $M_A = 18\,000$ кг и полным салоном пассажиров $M_{II} = 6390$ кг:

$$W_1 - W_2 = \frac{0.5 \cdot M_A \cdot v^2}{2} + \frac{0.9 \cdot M_{II} \cdot v^2}{2} = \frac{0.5 \cdot 18000 \cdot 8 \cdot 8}{2} + \frac{0.9 \cdot 6390 \cdot 8 \cdot 8}{2} = 0.472 \text{ МДж.}$$

Количество топлива, затраченного на создание такого количества кинетической энергии, можно определить, поделив количество найденной энергии на удельную теплоту сгорания топлива (бензина). Удельная теплота сгорания бензина равна 47 МДж/кг.

Итак, количество потерянного топлива составляет $0,472 / 47 = 0,01$ (кг). Так как КПД двигателя внутреннего сгорания равен 25 %, то топлива потребуется в четыре раза больше, а именно, 0,04 кг или 0,06 л. Таким образом, потери значительные, а разделение транспортного средства позволит их устранить. На замкнутом городском маршруте из одиннадцати остановок (начальная и конечная совпадают) будет 10 таких разделений и, следовательно, экономия топлива составит 0,6 л. Если принять что маршрут проходится за 0,5 часа, то в течение суточной работы (18 час.) будет выполнено 36 рейсов и сэкономлено $0.6 \times 36 = 21.6$ л. топлива.

Данный вид транспортных средств функционирует при полном отсутствии управления со стороны человека и является принципиально новым видом общественного транспорта. Наиболее эффективно использование данного транспорта на рельсовом полотне. Поэтому в дальнейшем будет использован термин «вагон».

4.1.2 Функционирование пассажирского рельсового транспортного средства с разделяющимися частями. Рельсовая транспортная система для перевозки пассажиров состоит из остановочных пунктов, рельсового пути, на котором расположены вагоны. Каждый вагон снабжен компьютерным модулем организации движения 1 (рисунок 4.2). Модуль состоит из компьютера 2, к систем-

ной шине которого подключены радиомодуль 3, блок фиксации сведений о входящих и выходящих пассажирах 4, блок фиксации сведений о переходящих пассажирах 5, блок управления приводом движения 6, выход от которого подключен к входу привода движения 7.

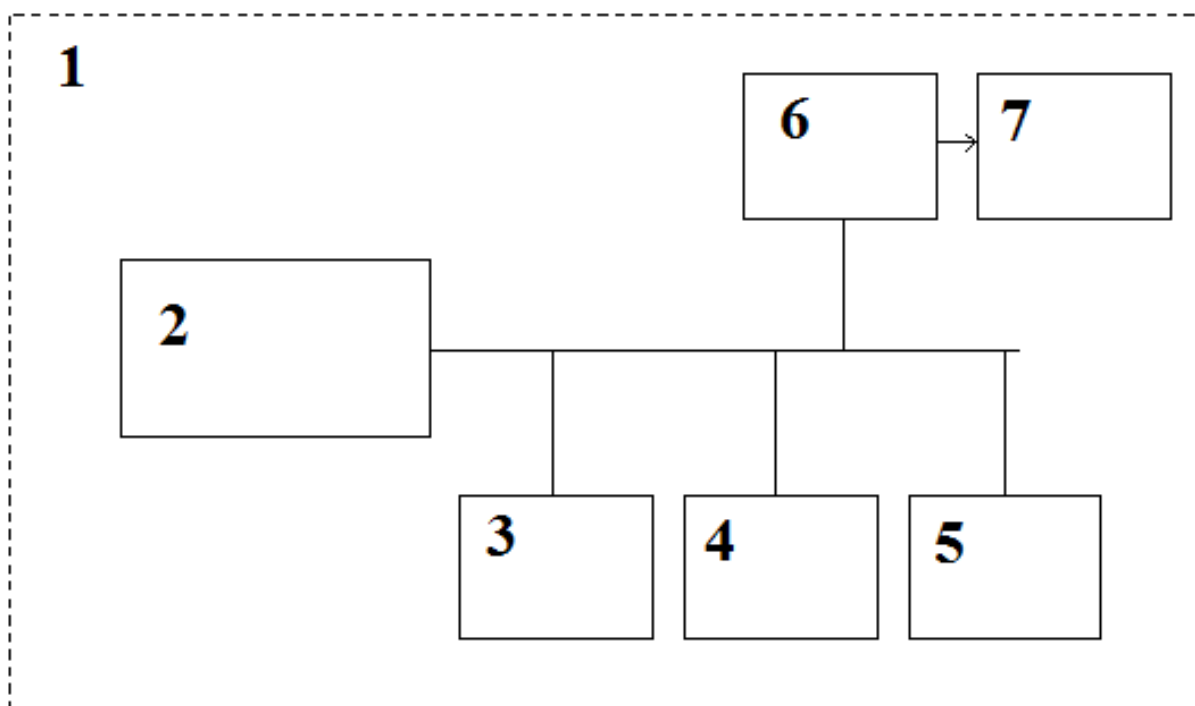


Рисунок 4.2 – Схема устройств беспилотного вагона

Вагон полностью автономен в плане самостоятельных активных действий. Его компьютерный модуль 1 обеспечивает управление всеми функциями вагона и «общение» с другими вагонами, входящими в систему.

На рисунке 4.3 изображена схема состояний транспортной системы, отражающая рабочие режимы в разные моменты времени. Для удобства рассмотрения вагоны, находящиеся в состоянии покоя, изображены без стрелок, а в состоянии движения – со стрелками.

Подвижной состав из двух вагонов $B2B1$ (состояние $S_0(t)$) в момент времени t_0 начинает движение с остановочного пункта 1 ($Oct.1$). Двигаясь равномерно со скоростью v , в момент времени t_2 вагоны выполняют свою расстыковку (состояние $S_1(t)$). Вагон $B1$ продолжает дальнейшее движение с постоянной скоростью v . В нем находятся пассажиры, которым не надо сходить на остановке 2 ($Oct.2$). Пассажиры, которым необходима остановка 2, находятся во втором вагоне, который в момент времени t_3 делает остановку на $Oct.2$. Этому событию соответствует состояние $S_2(t)$.

В момент остановки второго вагона $B2$ на $Oct.2$ с остановочного пункта 1 ($Oct.1$) выезжает следующий состав $B2^1B1^1$, который также в момент времени t_2 осуществляет расстыковку (состояние $S_3(t)$). Первый вагон $B1^1$ продолжает равномерное движение с прежней скоростью v . Вагон $B2^1$, двигаясь равнозамедленно, останавливается на $Oct.2$. В это же время находящийся на остановке $Oct.2$ вагон $B2$ покидает эту остановку.

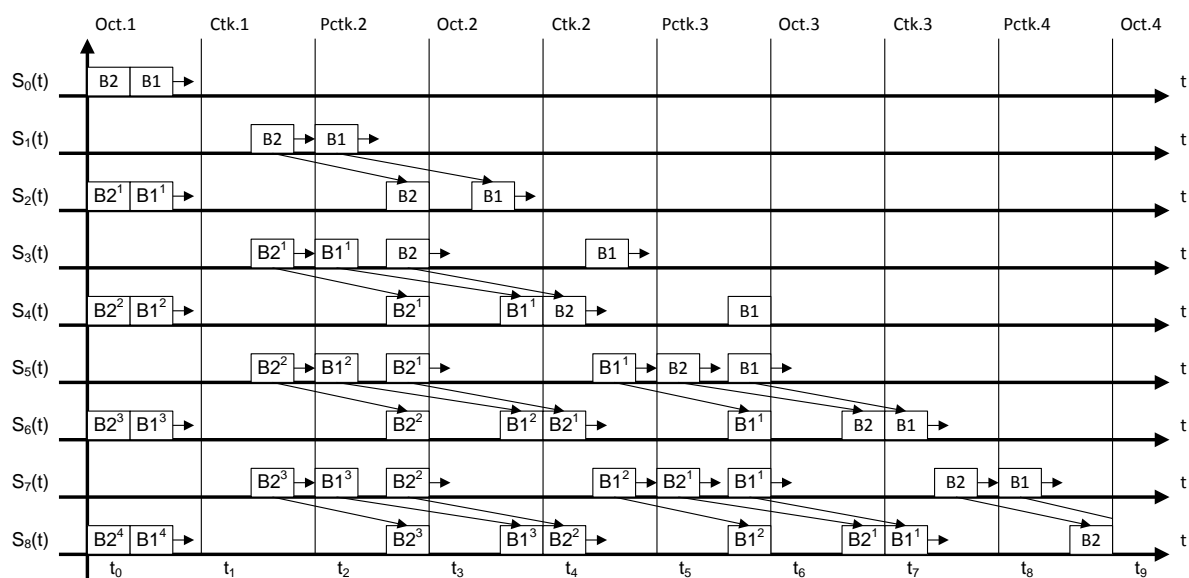


Рисунок 4.3 – Схема состояний транспортной системы

Отъезд вагона $B2$ от остановки начинается в момент расстыковки тандема $B2^1 B1^1$. Вагон $B2$ равноускорено набирает скорость до величины v и в точке $Ctk.2$ происходит его стыковка с вагоном $B1^1$ (состояние $S_4(t)$), который догоняет вагон $B2$. После этого они следуют совместно. Открываются торцевые двери этих вагонов и пассажиры, которым надо сойти на следующей остановке, переходят из вагона $B2$ в вагон $B1^1$, а те пассажиры, которые следуют дальше, переходят в обратном порядке (из вагона $B1^1$ в $B2$).

Процесс перехода пассажиров отслеживает видеочкамаера блока фиксации сведений о переходящих пассажирах 5 (рисунок 4.2). Переход должен быть выполнен за время промежутка от момента t_4 стыковки вагонов и до момента расстыковки t_5 . То есть за время $t_{перехода} = t_5 - t_4$.

Блок фиксации сведений о переходящих пассажирах 5 через промежуток времени $\frac{3}{4} \cdot t_{перехода}$ от начала перехода проверяет наличие пассажиров в зоне перехода.

И если такие обнаруживаются, то компьютер 2 (рис.4.2) принимает решение о снижении скорости состава. По системной шине компьютера 2 в блок управления приводом движения 6 поступает команда, которая исполняется приводом движения 7. Скорость состава снижается, чем увеличивается время перехода. Впередстоящему под посадкой на остановке $Oct.3$ вагону $B1$ через радиомодуль 3 блоком фиксации сведений о переходящих пассажирах 5 сообщается о задержке прибытия состава в точку расстыковки $P_{ctk.3}$. Отсюда впередстоящий на $Oct.3$ вагон будет отходить от остановки с задержкой. В точку расстыковки $P_{ctk.3}$ состав $B1^1 B2$ приедет с опозданием. Тем не менее, после расстыковки передний вагон $B2$ набирает скорость v к точке стыковки $Ctk.3$ и догоняет вагон $B1$, что соответствует состоянию транспортной системы $S_6(t)$. Отстыкованный вагон $B1^1$ остаётся на $Oct.3$ для высадки и посадки пассажиров. Следует отметить, что задержка, которая имела место при переходе, нивелировалась уже в точке $P_{ctk.3}$.

Рассмотрим второй тип возможной задержки. Это задержка при посадке и посадке пассажиров. Положим, видеокамеры блока 4 фиксации сведений о входящих и выходящих пассажирах вагона (например, $B2$), находящегося на остановке $Oct.2$ (состояние $S_2(t)$), через время $\frac{3}{4} \cdot t_{посадки}$ ($t_{посадки}$ – время посадки) установили, что не все пассажиры вошли в вагон. В этом случае компьютер принимает решение на увеличение времени посадки. Через радиомодуль 3, приближающемуся к точке расстыковки $Pctk.2$ составу $B2^1 B1^1$ сообщается об увеличении времени посадки впереди стоящим на остановке вагоном $B2$. Тогда состав $B1^1 B2^1$ снижает скорость и приходит в точку расстыковки с задержкой, равной времени посадки.

В каждом нечетном состоянии на вход системы ($Oct.1$) подается состав из двух вагонов. В установившемся режиме в транспортной системе, состоящей из k остановок, постоянно находится в состоянии покоя k вагонов (загрузка пассажиров) и $2k$ в движении. При этом следует отметить, что на нечетных остановках останавливается первый вагон состава, а на четных – второй (например, $Oct.2$ и $Oct.3$).

Переход между состояниями осуществляется через зону переформирования. На рисунке 4.3 отражается стрелками. Зона переформирования – это временной интервал от момента расстыковки $Pctk.$ через $Oct.$ и до момента стыковки $Стк.$. В небольшом временном интервале выполняются операции по расформированию одного состава, установки $\frac{1}{2}$ состава (вагон) под посадку и формирование нового состава.

Между зонами переформирования расположена относительно продолжительная зона стационарности (от $Стк.i$ до $Pctk.(i+1)$). В этой зоне отсутствуют какие-либо события, и состав движется равномерно, например, от $Стк.2$ до $Pctk.3$. Единственным возмущающим систему событием может быть снижение скорости, рассмотренное выше.

Введем следующие временные характеристики τ_f , τ_c , τ_z :

– τ_f – длительность зоны переформирования;

– τ_c – длительность зоны стационарности;

– τ_z – длительность загрузки пассажиров в вагонах.

Соотношения между этими длительностями следующие:

$$\begin{cases} \tau_{fj} \ll \tau_{cj}, \forall j \in \overline{1, k} \\ \tau_{zj} = \tau_{c(j-1)} \end{cases} \quad (4.4)$$

То есть, длительность зоны переформирования намного меньше зоны стационарности. Время загрузки τ_{zj} пассажиров на j -ой остановке равно длительности $\tau_{c(j-1)}$ зоны стационарности $(j-1)$ -перегона. Так для третьей остановки $\tau_{zj} = \tau_{c(j-1)} = t_5 - t_4$. Длительность τ_{zj} является переменной величиной $j = \overline{1, n}$, которая зависит от длины перегона между остановками (в то время как $\tau_{fj} = const$).

Также расстояние от точки расстыковки $Pctk.$ до остановки $Oct.$ равно расстоянию от остановки $Oct.$ до точки стыковки $Стк.$ для любой остановки, т. е.

$L(P_{ctk,j}, O_{ct,j}) = L(O_{ct,j}, C_{tk,(j+1)})$, $j = \overline{1, n}$. Отсюда равные времена τ_t на торможение вагона от момента расстыковки до остановки и разгона τ_p и от остановки до места стыковки, то есть они составляют $\tau_t = \tau_p = 0.5 \tau_f$.

Важной технической характеристикой системы является время τ_v движения между двумя остановками:

$$\tau_v = \tau_t + \tau_p + \tau_c = \tau_f + \tau_c. \quad (4.5)$$

Введем также такую временную характеристику системы как полное время τ_n одного перегона, составляющее сумму времени загрузки τ_{zj} пассажиров на j -остановке и времени движения по j -перегону, тогда:

$$\tau_{nj} = \tau_{zj} + \tau_{cj} = \tau_{c(j-1)} + \tau_{cj}. \quad (4.6)$$

Таким образом, при использовании транспорта с разделяющимися частями пассажир может без задержек доехать от любой остановки транспортной системы до любой другой, но для этого ему придется делать переходы со второго вагона в первый по ходу движения состава. Если он не хочет этого делать, то он может оставаться в вагоне и доехать до своей остановки с числом остановок в 2 раза меньшим, чем на обычном общественном транспорте.

4.2 Информационно-транспортная система кассетно-конвейерного типа

Развитие информационных технологий позволяет пересмотреть подходы к современным городским перевозкам, сместив акцент в получении информации о транспортной потребности населения и управлении перевозкой на информационные системы [79–92]. При этом все разнообразие парка пассажирских транспортных средств сводится к одной транспортной единице номинальной вместимости – инфобусу. Инфобус представляет из себя беспилотный электрокар небольшой вместимости (до тридцати пассажиров), осуществляющий движение по выделенному пути, рисунок 4.4. Путь может быть и рельсовым.

Инфобусы движутся последовательно без обгонов, что значительно снижает аварийность перевозки. Перекрестки пересекаются либо по эстакадам, либо по подземным туннелям (рисунок 4.5), что делает их транспортом с высшим приоритетом следования.



Рисунок 4.4 – Инфобус и кассета инфобусов на выделенной линии

Каждый инфобус оснащен собственной бортовой системой управления, получающей управляющие сигналы из единого информационного сервера через

средства телекоммуникаций. При необходимости инфобусы могут объединяться в кассету. Соединения между инфобусами в кассете виртуальные: полной стыковки не происходит, а минимально безопасное расстояние между инфобусами обеспечивает электроника.

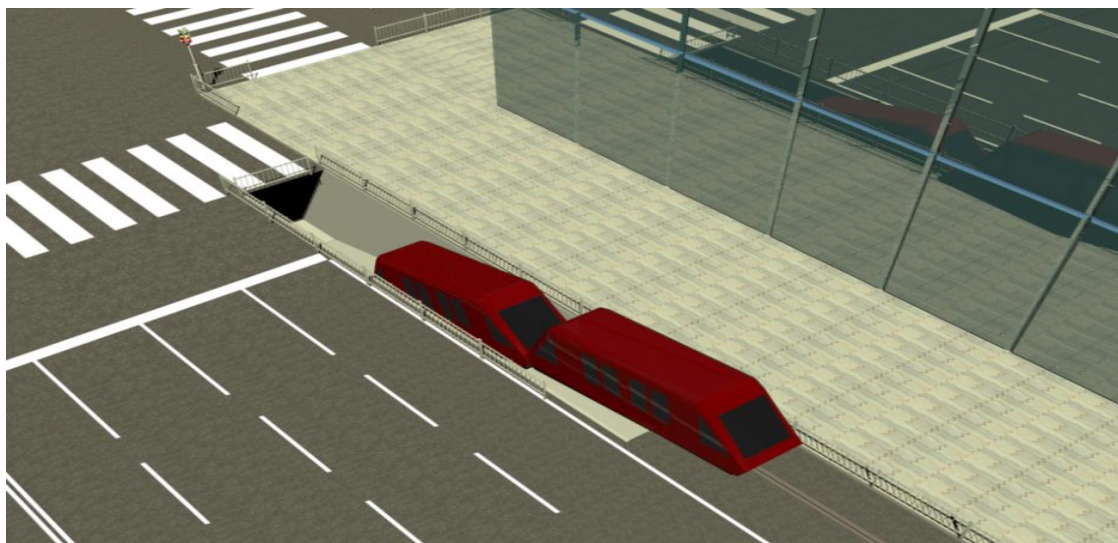


Рисунок 4.5 – Движение инфобусов по подземному туннелю

В кассету может быть собрано необходимое число инфобусов: один, два и т. д. Таким образом может быть скомплектовано транспортное средство любой вместимости. Решение о формировании кассеты принимаются на уровне информационного сервера в зависимости от актуального спроса на перевозку. Таким образом, возможно собрать транспортное средство любой вместимости, требуемое на маршруте сейчас, быстро и без затрат, так как механические соединения в кассете отсутствуют.

Инфобусы движутся по регулярному маршруту, включающему в себя k остановок, начинающемуся и заканчивающемуся Накопителями, в которых транспортные средства заряжаются и получают от сервера планы перевозки для исполнения (рисунок 4.6).

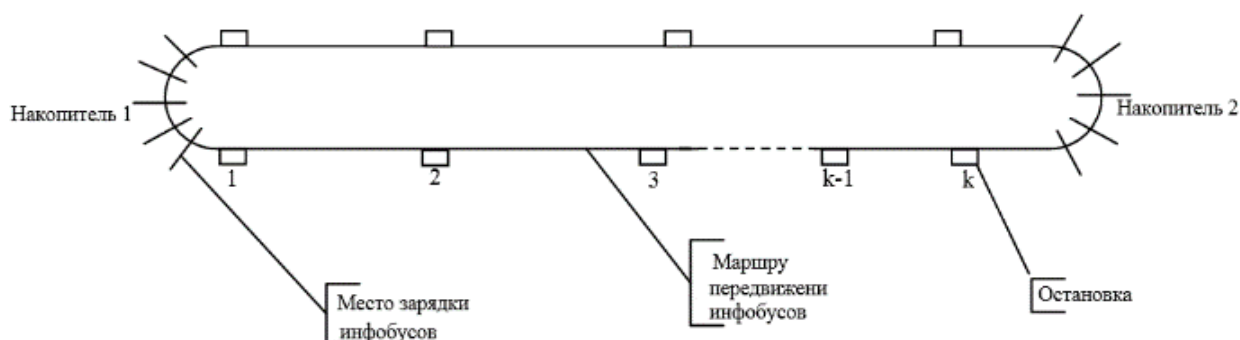


Рисунок 4.6 – Маршрут перевозки

Для организации транспортного процесса постоянно осуществляется сбор заявок на перевозку от пассажиров. Заявки пассажиры могут делать через стационарное устройство на остановочном пункте (турникет, цифровой терминал и т. д., рисунок 4.7) либо через мобильное приложение (рисунок 4.8).

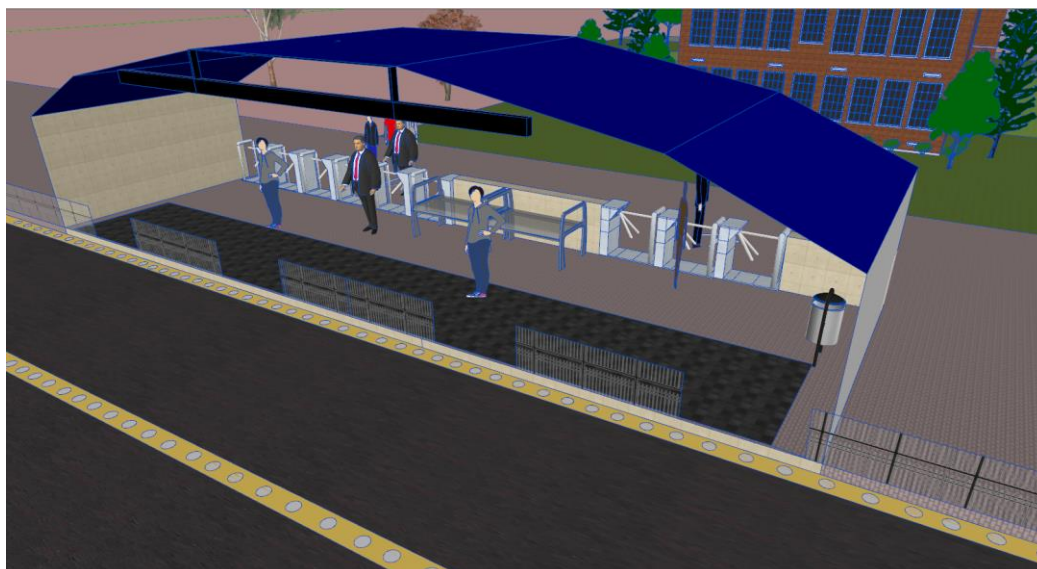


Рисунок 4.7 – Терминалы на остановках

В заявке указываются пункты отправления и назначения, количество мест. Через средства телекоммуникаций заявка поступает в управляющую систему ИТС – информационный сервер (ИС ИТС).

ИС ИТС – это программно-аппаратный комплекс, отвечающим за сбор, анализ заявок пассажиров и управление перевозкой. Постоянно сканируя накопленный массив необслуженных заявок, информационный сервер отслеживает выполнение *условий достаточного накопления заявок на перевозку* (п. 4.4.4) для начала составления плана перевозки. Условия могут заключаться либо в достаточном накоплении заявок пассажиров (при достаточной интенсивности пассажиропотока), либо в истечении заданного интервала времени при небольшом спросе на перевозку (при слабом пассажиропотоке).

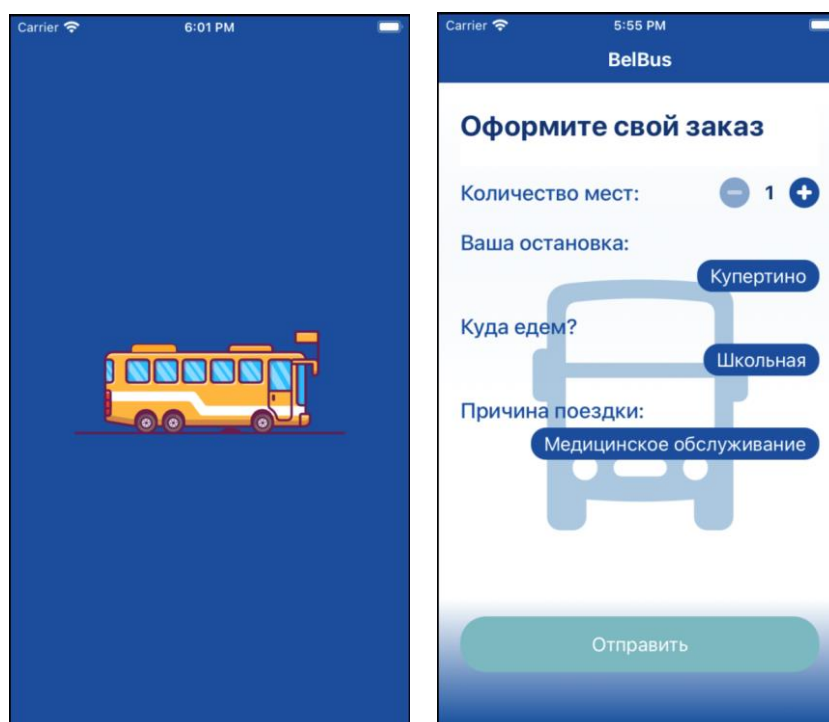


Рисунок 4.8 – Заявка на перевозку через мобильное приложение

При возникновении одного из проверяемых условий информационный сервер формирует матрицу корреспонденций M (рисунок 4.9), являющуюся ключевым компонентом организации перевозочного процесса и основой для составления плана перевозки, а также выбирает алгоритм ее обработки.

Матрица корреспонденций – это квадратная матрица размерности $k \times k$, где k число остановок одного направления маршрута. Каждый элемент $m_{ij}, i = \overline{1, k-1}, j = \overline{2, k}$ матрицы несет в себе информацию о запросах на перевозку по корреспонденций ij в текущий момент времени, т. к. определяет количество пассажиров, желающих ехать с остановки $i, i = \overline{1, k-1}$ на остановку $j, j = \overline{2, k}$. Очевидно, что элементы матрицы на главной диагонали и под главной диагональю равны нулю, т. к. предполагается, что пассажир не может выйти на остановке, на которой сел, и не может ехать назад [82–84, 86].

Результатом обработки матрицы корреспонденций является план перевозки, который включает в себя сведения о составе кассеты, участвующей в его реализации; разработанный в режиме реального времени график ее движения; набор остановок посадки – высадки пассажиров для каждого инфобуса кассеты (в большинстве случаев каждое транспортное средство выполняет скоростную перевозку, останавливаясь не на всех остановочных пунктах маршрута).

$$M_Z = \begin{pmatrix} 0 & m_{12} & m_{13} & \dots & \dots & m_{1j} & \dots & m_{1k} \\ 0 & 0 & m_{23} & \dots & \dots & m_{2j} & \dots & m_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & m_{ii+1} & \dots & m_{ij} & \dots & m_{ik} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & m_{k-1k} \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Рисунок 4.9 – Матрица корреспонденций

Разработанный план перевозки рассылается бортовым системам транспортных средств, которые ожидают в одном из Накопителей. Получив план перевозки, инфобус выполняет его, прибывая в Накопитель, находящийся в противоположном конце маршрута. В Накопителе инфобус осуществляет зарядку и получает новый план перевозки. После завершения перевозки производится оценка ее эффективности.

На рисунке 4.10 представлены функциональные компоненты технологии городской пассажирской перевозки на базе беспилотного транспорта.



Рисунок 4.10 – Функциональные компоненты технологии городской пассажирской перевозки на базе беспилотного транспорта.

Последовательное, без обгонов движение транспортных средств по выделенному пути с возможными объединениями их в кассету и, при необходимости, рассоединениям, называется *кассетно-конвейерной технологией перевозки*. Технология кассетно-конвейерной перевозки породила транспортную систему кассетно-конвейерного типа. Такая технология перевозки предполагает минимальное участие человека, является адаптивной к пассажиропотоку, т. к. позволяет перевозчику на основе анализа накопленных исторических данных, а также алгоритмов анализа матрицы корреспонденций, сформированного на момент начала составления плана перевозки, своевременно подстраиваться под актуальные изменения пассажиропотока в режиме реального времени, при этом транспортные средства не будут курсировать полупустыми или чрезмерно переполненными.

4.3 Технология перевозки в ИТС кассетно-конвейерного типа

4.3.1 Управление в ИТС. Процессы, протекающие в пассажирской информационно-транспортной системе кассетно-конвейерного типа на базе беспилотных электрокаров, управляются информационным сервером ИТС [93–95] (далее ИС ИТС), который осуществляет:

- сбор и анализ поступающих в систему данных;
- выбор воздействия на процессы перевозки (выбор алгоритма составления плана перевозки);
- оценку эффективности перевозочного процесса.

Структурно ИС ИТС состоит из трех подсистем, являющихся в свою очередь самостоятельными системами: системы сбора заявок (ССЗ), системы анализа данных (САД) и системы организации перевозок (СОП), рисунок 4.11.



Рисунок 4.11 – Структура ИС ИТС

4.3.2 Система сбора заявок. Основным назначением системы сбора заявок (ССЗ) является накопление и хранение данных о спросе на перевозку. Все заявки, сделанные через терминалы и мобильные приложения, регистрируются в ССЗ.

В качестве архитектурного решения для хранения и обработки данных может выступать система управления базами данных (СУБД), поскольку большинство современных СУБД обладают всей необходимой функциональностью для обслуживания высоконагруженных систем. На рисунке 4.12 представлена возможная структура таблицы (СУБД PostgreSQL) для хранения заявок, поступивших с остановочных терминалов и от мобильных приложений, на основе которых формируется матрица корреспонденций.

ID integer	Origin integer	Destination integer	SeatsNumber integer	TimeRequest timestamp without time zone
109122	3	7	1	2021-06-16 00:07:57.07
109130	8	10	1	2021-06-16 00:08:11.08
109131	2	7	1	2021-09-02 10:18:09.18
109135	4	7	1	2021-09-02 10:18:18.18
109137	4	10	1	2021-09-02 10:18:23.18
109141	1	5	1	2021-09-02 10:40:51.4
109142	8	9	1	2021-09-02 10:40:55.4

Рисунок 4.12 – Структура таблицы для хранения заявок на перевозку

В структуре таблицы поле *ID* предназначено для хранения идентификатора заявки, поле *Origin* – для хранения идентификатора остановки отправления, поле *Destination* хранит идентификатор остановки назначения, поле *SeatsNumber* – число посадочных мест, поле *TimeRequest* – время регистрации заявки.

Таблица регулярно проверяется системой анализа данных (САД) на выполнение условий достаточности накопления заявок на перевозку, фиксирует матрицу корреспонденций для начала составления плана перевозки. После фиксации матрицы корреспонденций заявки, вошедшие в план перевозки, рассматриваются как обслуженные, и их записи отправляются в архив, а матрица передается в систему организации перевозок (СОП).

4.3.3 Система анализа данных. Основными задачами системы анализа данных (САД) являются: определение момента начала составления плана перевозки, выбор алгоритма составления плана перевозки и оценка эффективности перевозки согласно разработанному плану.

Через заданный временной интервал САД сканирует записи накопленных в ССЗ заявок и, при выполнении условий достаточности накопления заявок на перевозку, определяет алгоритм, который будет использован для формирования плана. Далее САД фиксирует матрицу корреспонденций и пересылает ее в СОП вместе с вызовом процедуры алгоритма обработки матрицы. После составления в СОП планов перевозки САД осуществляет оценку их эффективности.

4.3.4 Система организации перевозки. Назначение системы организации перевозок (СОП) заключается в составлении плана перевозки на основании определенного в САД алгоритма и пересланной матрицы корреспонденций и передаче этого плана транспортным средствам.

План перевозки включает в себя: идентификаторы инфобусов, которые будут составлять кассету и выполнять перевозку; множество остановок посадки –

высадки пассажиров для всех инфобусов кассеты; графики движения. Сформированные планы рассылаются бортовым системам инфобусов, после чего САД осуществляет расчет эффективности перевозки.

4.4 Организация перевозок

Как отмечалось в п. 3.3, в зависимости от количества сделанных в пути остановок транспортным средством, перевозка пассажиров может осуществляться в обычном режиме, скоростном или экспрессном.

Исследования показали, что пропуск некоторых остановок при движении на маршруте влечет за собой прямые экономические выгоды как для перевозчика, так и для пассажиров, но при этом не гарантирует удовлетворение всех заявок на перевозку. В то же время перевозка с посещением всех остановок маршрута лишена данного недостатка, но влечет существенное увеличение времени поездки пассажиров, а также расходов транспортного предприятия. Комбинирование способов перевозки позволяет удовлетворить все заявки на перевозку и добиться снижения потерь как транспортной организации, так и пассажиров.

Пассажирская перевозка в ИТС построена на использовании комбинированного режима. Задачей управляющего сервера ИТС является рациональное применение алгоритмов организации перевозки [87, 98–104].

4.4.1 Алгоритм перевозки на основе критического элемента матрицы корреспонденций («по критическому элементу»). Алгоритм перевозки «по критическому элементу» [104] рассчитан на массовый безостановочный провоз пассажиров (например, более 80 % от объема салона транспортного средства) от остановки i до остановки j маршрута. Очевидно, что чем длиннее перегон ij , тем большую скорость может развить транспортное средство на этом участке и тем выше провозная способность и производительность перевозки пассажиров. Также для максимизации экономического эффекта от перевозки на подъезде от Накопителя к остановке i и при отъезде от остановки j к противоположному Накопителю возможен дополнительный подвоз пассажиров.

Перевозка на основе алгоритма «по критическому элементу» является скоростной, т. к. остановки маршрута посещаются выборочно, в соответствии с логикой алгоритма, что является достоинством данного вида перевозки. Пассажиры делают минимальное число ненужных им остановок, а транспортное средство не осуществляет лишние торможения и разгоны. Недостатком этого вида перевозки является то, что обслуживаются не все остановки маршрута.

4.4.2 Алгоритм перевозки на основе строки матрицы корреспонденций («по строке»). Алгоритм перевозки «по строке» [87] рассчитан на развоз пассажиров с некоторой остановки маршрута, на которой накопилось достаточно пассажиров (например, более 80 % от объема салона транспортного средства). Алгоритм предполагает формирование кассеты инфобусов для развоза всех пассажиров с остановки. Причем каждый инфобус везет своих пассажиров лишь на несколько соседних остановок. Таким образом соблюдается скоростной режим перевозки. Достоинства и недостатки у данного вида перевозки те же, что и у предыдущего алгоритма.

4.4.3 Алгоритм обычной перевозки «по наиболее пассажиронапряженному перегону». Транспортная система не может обслуживать только «выгодные» остановки маршрута и игнорировать интересы прочих. Поэтому в перевозку должны включаться и алгоритмы, гарантирующие удовлетворение заявок пассажиров, не попавших в «скоростные» алгоритмы. Алгоритм «по наиболее пассажиронапряженному перегону» позволяет рассчитать объем транспортного средства (кассеты), высылаемого для перевозки, на основе данных матрицы корреспонденций о числе пассажиров, которые будут ехать в транспортном средстве на наиболее загруженном (пассажиронапряженном) перегоне (участке маршрута между двумя соседними остановками). Таким образом, на маршрут будет выслано транспортное средство минимально необходимой вместимости.

4.4.4 Условия достаточного накопления заявок на перевозку. Условие достаточного накопления заявок на перевозку – это критерий, определяющий начало составления плана перевозки. Всякий раз, сканируя массив необслуженных заявок, система анализа данных ИС ИТС проверяет его на выполнение одного из активированных условий достаточного накопления заявок на перевозку (в порядке их приоритета для данного маршрута). Таким образом избегается конфликт нескольких условий, выполняющихся одновременно. В зависимости от «сработавшего» условия достаточного накопления заявок на перевозку информационным сервером вызывается определенный алгоритм организации перевозки.

В перечень условий достаточного накопления заявок на перевозку входят:

- *превышение порога ожидания* – это условие выполняется, если разность между моментом сканирования необслуженных заявок и моментом регистрации самой ранней необслуженной заявки превысила определенное значение (например, 5 мин.);

- *наличие в матрице корреспонденций критического элемента* – некоторый элемент матрицы корреспонденций превысил определенное значение: элемент $m_{ij} \geq a * V, i = \overline{1, k-1}, j = \overline{2, k}, a \in [0.5; 1)$. Наличие критического элемента указывает на накопившийся достаточный объем заявок по корреспонденции ij для скоростной перевозки;

- *наличие в матрице корреспонденций критической строки* – сумма элементов некоторой строки матриц корреспонденций превысила заданное значение ($\sum_{j=i+1}^k m_{ij} \geq a * V, i = \overline{1, k-1}, a \in [0.5; 1)$). Наличие критической строки указывает на накопившийся достаточный объем пассажиров на соответствующей остановке, по которой возможна скоростная перевозка;

- *наличие в матрице корреспонденций критического столбца* – сумма элементов некоторого столбца матриц корреспонденций превысила заданное значение ($\sum_{i=1}^{j-1} m_{ij} \geq a * V, j = \overline{2, k}, a \in [0.5; 1)$). Наличие критического столбца матрицы корреспонденций указывает на накопившийся достаточный объем пассажиров на предыдущих остановках остановке, соответствующей критическому столбцу.

В зависимости от характера пассажиропотока на маршруте может использоваться тот или иной набор активированных условий. Если при сканировании ни одно из активированных условий не выполняется, то ИС ИТС переходит в состояние ожидания без выполнения каких-либо действий.

4.5 Алгоритмы организации скоростных перевозок

4.5.1 План и граф корреспонденций перевозки. Управление перевозочным процессом в ИТС строится на основе вычислительной обработки матрицы корреспонденций выбранным алгоритмом. Результатами вычислений является план перевозки, которому соответствует некоторый граф корреспонденций.

План перевозки, составленный в результате обработки алгоритмом матрицы корреспонденций, определяет: число и идентификационные номера транспортных средств, выполняющих данный план; остановки для каждого транспортного средства, на которых должна быть осуществлена посадка – высадка пассажиров; график движения для каждого транспортного средства. План перевозки является «программой действий» для каждого инфобуса.

Граф корреспонденций перевозки представляет наглядную схему перемещения пассажиров транспортными средствами в результате выполнения плана перевозки.

В целях дальнейших рассуждений будут использованы следующие термины из теории графов:

– *ориентированный взвешенный граф* $G(V,E)$ – это топологическая модель, состоящая из множества V однородных объектов, называемых вершинами графа, и множества E направленных связей между ними, называемых ориентированными ребрами (или дугами) графа, каждому из которых присвоено определенное значение, называемое «весом ребра». Вес также могут иметь и вершины графа;

– *подграф* – это часть графа, в которую входит некоторое подмножество вершин и ребер графа;

– *степень вершины графа* - это количество инцидентных ей ребер, т. е. ребер, для которых данная вершина является концом;

– *полустепень исхода вершины ориентированного графа* - это число исходящих из данной вершины ребер, называемых дугами (т. е. вершина является началом для дуги);

– *полустепень захода вершины ориентированного графа* – число входящих ребер в данную вершину, называемых дугами (т. е. вершина является концом для дуги);

– *источник* – вершина ориентированного графа с нулевой полустепенью захода;

– *сток* – вершина в ориентированном графе с нулевой степенью исхода.

Маршрутная перевозка в одном направлении рассматривается как ориентированный взвешенный граф $G(V,E)$. В самом деле, в качестве вершин графа выступают последовательно пронумерованные остановки маршрута. Дуги графа – это корреспонденции между остановками маршрута. Дуга графа всегда строится от источника к стоку: от остановки с меньшим к остановке с большим порядковым номером. Число перевозимых в рамках корреспонденции пассажиров является весом ребра. Число пассажиров, накопившихся на остановке $i, i = \overline{1, k-1}$ и

ожидающих перевозки – это вес вершины i , которая является источником корреспонденции (а также источником дуги графа $G(V,E)$). Число пассажиров, ожидающих перевозку на некоторую остановку $j, j = \overline{2, k} - j$.

При этом матрица корреспонденций M выступает как матрица смежности графа корреспонденций. Каждый элемент $m_{ij}, i = \overline{1, k-1}, j = \overline{2, k}$ матрицы представляет собой вес ориентированного ребра графа $G(V,E)$.

Вес любого источника любой дуги графа $G(V,E)$ удовлетворяет соотношению (4.7), а стока, соответственно, соотношению (4.8):

$$m_i = \sum_{j=i+1}^k m_{ij}, i = \overline{1, k-1}, \quad (4.7)$$

$$m_j = \sum_{i=1}^{j-1} m_{ij}, j = \overline{2, k}. \quad (4.8)$$

Граф корреспонденций может быть истокового типа $G_i^+(V,E), i = \overline{1, k-1}$ («+» указывает на истоковую структуру графа). В этом случае в граф входят дуги с ненулевым весом, имеющие только один общий исток (остановку i) и один или более стоков, в качестве которых выступают последующие остановки за остановкой i , рисунок 4.13. Причем вес истока i удовлетворяет соотношению (4.7).

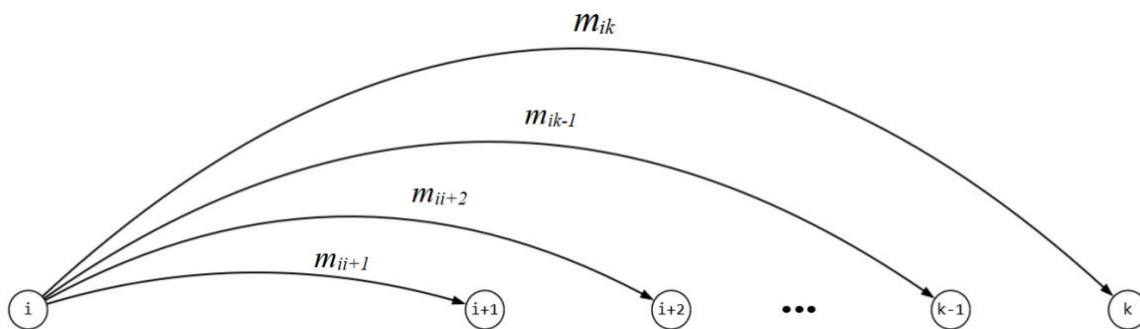


Рисунок 4.13 – Истоковый граф корреспонденций $G_i^+(V, E)$

Истоковый граф корреспонденций $G_i^+(V,E), i = \overline{1, k-1}$ соответствует ситуации, когда на i -ой остановке маршрута, $i = \overline{1, k-1}$, выступающей источником перевозки, накопились пассажиры, каждый из которых едет на какую-то одну последующую остановку $i+1, i+2, \dots, k-1, k$. В матрице корреспонденций графу $G_i^+(V,E), i = \overline{1, k-1}$ будет соответствовать i -ая строка, а каждый элемент $m_{ij}, j = \overline{i+1, k}$ - это объем исходящей из остановки i корреспонденции, а также вес соответствующей дуги.

Стоковый граф $G_j^-(V,E), j = \overline{2, k}$ («-» указывает на стоковую структуру графа), состоит из ребер с ненулевым весом, и имеет только один общий сток (остановку j) и один или более истоков: предшествующие остановки $1, \dots, j-1$, рисунок 4.14. Вес стока удовлетворяет соотношению (4.8).

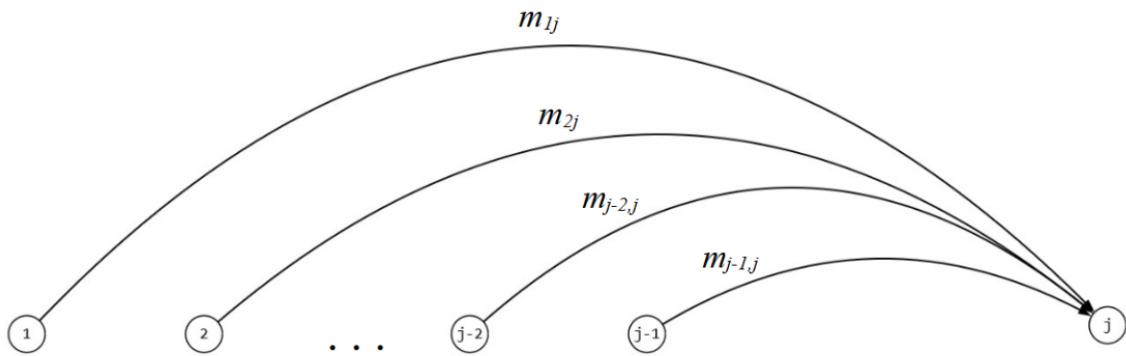


Рисунок 4.14 – Стоковый граф корреспонденций $G_j^-(V, E)$

Стокковый граф корреспонденций $G_j^-(V, E)$, $j = \overline{2, k}$, соответствует ситуации, когда на предшествующих j , $j = 2 \dots k$ остановочных пунктах маршрута накопились пассажиры, желающие ехать на остановку j , выступающую стоком перевозки. В матрице корреспонденций M данному графу будет соответствовать j -ый столбец, $j = \overline{2, k}$, а каждый элемент m_{ij} , $i = \overline{1, j-1}$ столбца – это объем корреспонденции, «стекающей» на остановку j , а также вес дуги графа.

Смешанный граф корреспонденций $G_i^\pm(V, E)$, $i = \overline{1, k}$ является комбинацией двух предыдущих типов (рисунок 4.15). Такой граф может строиться как на истоковом, так и на стоковом типе графа. Смешанный тип графа корреспонденций возникает, когда помимо основной перевозки транспортное средство осуществляет еще дополнительный промежуточный подвоз. Например, на рисунке 4.15 в дополнительный подвоз входят корреспонденции $(i+1) \rightarrow (i+2)$, $(i+1) \rightarrow (k-1)$, $(i+2) \rightarrow (k-1)$, $(k-1) \rightarrow (k)$.

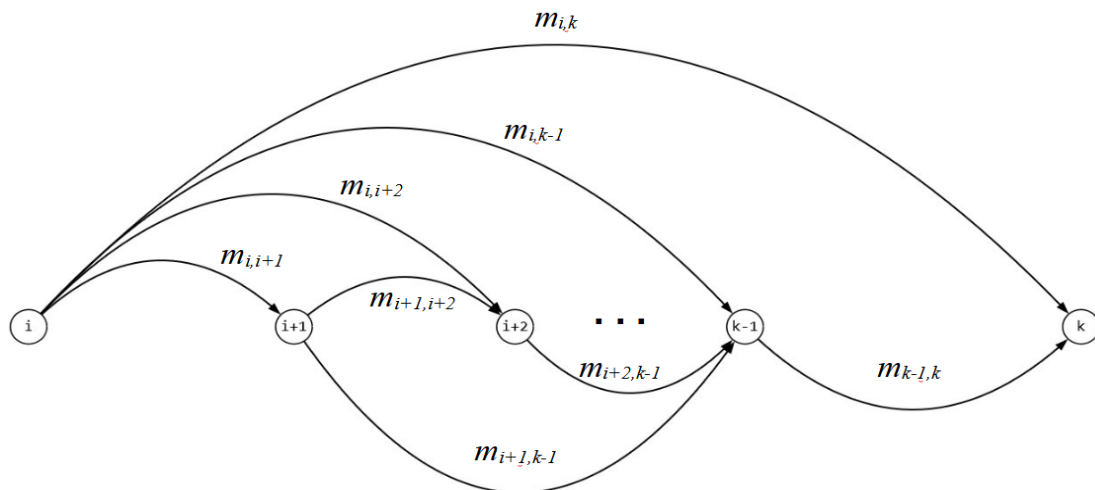


Рисунок 4.15 – Смешанный граф $G_i^\pm(V, E)$ на основе истокового графа

В данном случае стоки истокового графа становятся истоками для корреспонденций дополнительного подвоза и образуют стоковый подграф.

На рисунке 4.16 приведен пример графа корреспонденций смешанного типа, в котором сток стокового подграфа становится истоком истокового подграфа корреспонденций дальнейшей перевозки.

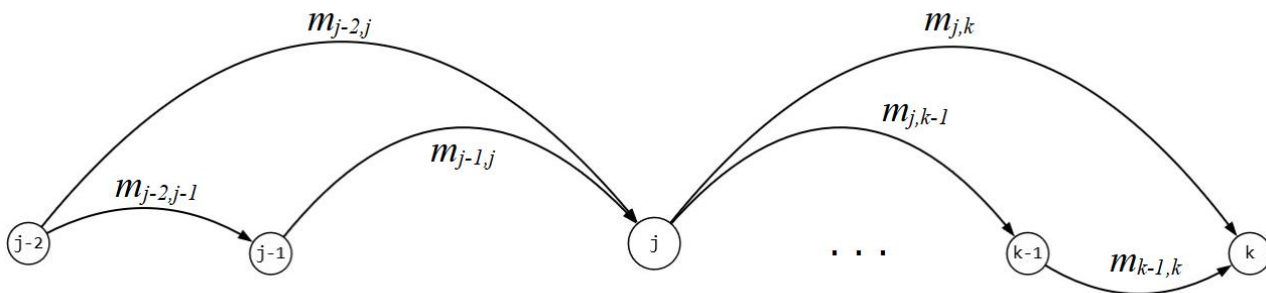


Рисунок 4.16 – Смешанный граф $G_{j-2}^{\pm}(V, E)$ включает в себя стоковый и истоковые подграфы

Любой граф корреспонденций, полученный в результате обработки алгоритмом матрицы корреспонденций, является подграфом полного ориентированного взвешенного графа корреспонденций $G(V, E)$, представляющего все потенциальные корреспонденции маршрута, на котором курсируют транспортные средства. Любая обработка матрицы корреспонденций M всегда предполагает полный либо частичный его обход.

4.5.2 Алгоритм организации перевозки на основе строки матрицы корреспонденций.

Граф корреспонденций. Алгоритм организации перевозки на основе строки матрицы корреспонденций (далее алгоритм перевозки «по строке») рассчитан на обработку ситуаций спонтанного или регулярного роста потока корреспонденций с некоторой одной (i -ой) на последующие остановки маршрута, и строится на обработке i -ой строки матрицы корреспонденций, а также некоторых элементов других строк матрицы. Итерационно используя данный алгоритм, можно обойти все строки матрицы, составив план перевозки, обеспечивающий вывоз всех пассажиров со всех остановок маршрута, заявки которых зафиксированы в матрице корреспонденций.

В результате обработки матрицы алгоритм «простраивает» смешанный граф корреспонденций (рисунок 4.17).

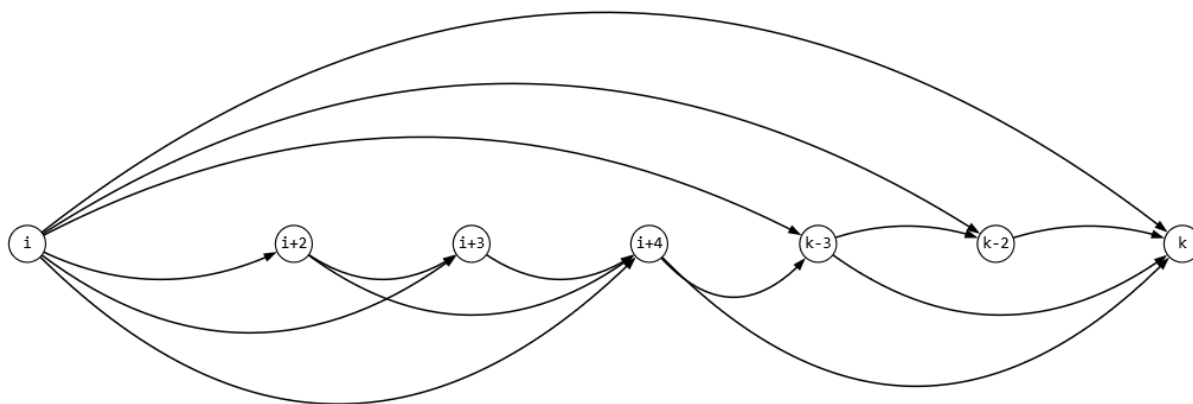


Рисунок 4.17 – Смешанный граф корреспонденций алгоритма перевозки «по строке»

Данный граф состоит из двух подграфов, каждый из которых обходится одним инфобусами (обход первого инфобуса изображается верхними дугами, второго – нижними). Согласно логике алгоритма, каждый инфобус, участвующий в перевозке с остановки i , получает кластер остановок доставки, расположенных по соседству: $\{i+2, i+3, i+4\}$ и $\{k-3, k-2, k\}$. Привезя пассажиров на остановки своего кластера (например, $\{i+2, i+3, i+4\}$), инфобус осуществляет дополнительную перевозку и между остановками кластера, пока не достигнет последней остановки кластера (в примере $i+4$). Если перевозка внутри кластера завершена (посещена последняя остановка кластера), но конец маршрута еще не достигнут, инфобус берет новую перевозку с последней остановки кластера. В примере это перевозка с остановки $i+4$ на остановки $k-3, k$. Таким образом, остановка $i+4$ становится истоком нового подграфа перевозки.

Матрица корреспонденций M является матрицей смежности графа корреспонденций маршрута $G(V, E)$. Согласно логике алгоритма, корреспонденциям с остановки i в ней соответствует i -ая строка, а также элементы строк, которые соответствуют корреспонденциям между остановками кластера доставки.

Описание алгоритма. Пусть на остановке i накопилось достаточно пассажиров, желающих ехать на последующие остановки $i+1, i+2, \dots, k-1, k$. Для их вывоза должна быть сформирована кассета инфобусов. В целях обеспечения бесконфликтности следования транспортных средств (т. е. впереди идущие инфобусы не должны задерживать последующие) их отправка будет осуществляться сначала к дальним пунктам назначения, потом к ближним. Каждый инфобус при этом получает свой идентификационный номер $n, n \in N$.

Каждый инфобус с идентификационным номером $n, n \in N$ имеет одну остановку, с которой он начинает перевозку, и собственное множество доступных ему для перевозки остановок. В целях дальнейших рассуждений оно будет именоваться *потенциальным множеством остановок* инфобуса $n, n \in N$ и обозначаться J_{i, n_p} , где i – начальная остановка перевозки. В него входят все последующие за начальной остановкой инфобуса остановочные пункты маршрута, за исключением тех остановок, на которые предыдущие транспортные средства, развозящие с этой же остановки, уже доставили пассажиров. Выполнять перевозку такой инфобус будет в пункты, составляющие *реальное множество остановок* $J_{i, n}$ (эти остановки должны быть соседними и суммарное количество пассажиров, следующих на эти остановки, не превысит объем инфобуса V), являющееся подмножеством потенциального множества остановок J_{i, n_p} , то есть $J_{i, n} \subset J_{i, n_p}$.

Например, если инфобус 1 следует с первой остановки только на две последние остановки k и $k-1$, а инфобус 2 на $k-2, k-3$ и $k-4$, то потенциальное множество остановок $J_{1,1_p}$ для первого инфобуса будет состоять из всех пунктов маршрута, начиная со второго, то есть $J_{1,1_p} = \{2, 3, \dots, k\}$, а реальное множество остановок $J_{1,1}$ первого инфобуса ограничивается только двумя остановками $J_{1,1} = \{k-1, k\}$, $J_{1,1} \subset J_{1,1_p}$ (рисунок 4.18). Для следующего за ним с этой же (первой)

остановки инфобуса 2 потенциальное множество остановок будет определяться как $J_{1,2p} = \{2, 3, \dots, k\} \setminus J_{1,1} = \{2, 3, \dots, k-2\}$, а реальное множество остановок будет $J_{1,2} = \{k-4, k-3, k-2\}$, $J_{1,2} \subset J_{1,2p}$ (рисунок 4.18).

Корреспонденции каждого инфобуса составляют подграф графа корреспонденций кассеты (рисунок 4.18). Так, корреспонденции инфобуса 1 представляют подграф $G_{1,1}^+(V, E)$, а инфобуса 2 – подграф $G_{1,2}^+(V, E)$.

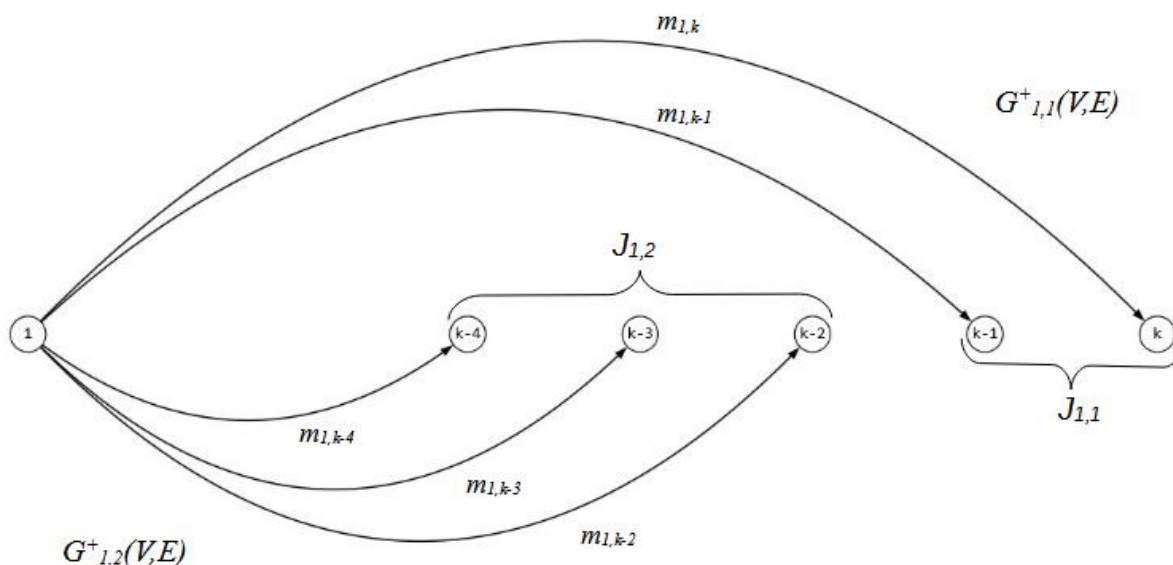


Рисунок 4.18 – Графы перевозки инфобусов 1 и 2

Реальное множество остановок, на которые инфобус 1 повезет пассажиров, определяется по первой строке матрицы корреспонденций, исходя из условий:

$$\begin{cases} m_{1k} + m_{1k-1} \leq V \\ m_{1k} + m_{1k-1} + m_{1k-2} > V \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \sum_{j=k-1}^k m_{1j} \leq V \\ \sum_{j=k-2}^k m_{1j} > V \end{cases} \quad (4.9)$$

То есть, количество пассажиров, едущих с остановки 1 на две последние остановки, меньше или равно объему инфобуса V , а вот количество пассажиров, едущих на три последние остановки, больше объема V .

Точная верхняя граница (наименьшая верхняя грань) числового множества M называется супремумом множества M и обозначается $\sup M$.

Остановка с наибольшим порядковым номером потенциального множества J_{i,n_p} остановок инфобуса n будет являться верхней границей множества J_{i,n_p} , или $\sup J_{i,n_p}$. Она всегда будет входить в реальное множество остановок инфобуса n . Будут ли в это множество входить другие остановки, зависит от объема инфобуса и количества следующих на них пассажиров.

Для инфобуса 1 выполняется следующая система отношений между потенциальным множеством $J_{1,1p}$ остановок и реальным множеством $J_{1,1}$ остановок:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{1,1p} = \{2, 3, \dots, k\} \\ \sum_{j=k-1}^k m_{1j} \leq V \\ \sum_{j=k-2}^k m_{1j} > V \\ J_{1,1} = \{j \mid k-1 \leq j \leq k\} \end{array} \right. \quad \text{или} \quad \left\{ \begin{array}{l} J_{1,1p} = \{2, 3, \dots, k\} \\ \sum_{j=\sup J_{1,1p} - |J_{1,1}| + 1}^{\sup J_{1,1p}} m_{1j} \leq V \\ \sum_{j=\sup J_{1,1p} - |J_{1,1}|}^{\sup J_{1,1p}} m_{1j} > V \\ J_{1,1} = \{j \mid \sup J_{1,1p} - |J_{1,1}| + 1 \leq j \leq \sup J_{1,1p}\} \end{array} \right. \quad (4.10)$$

Таким образом, пассажиры инфобуса 1, следующие до остановки $k-1$, достигают своего пункта назначения без остановок. После высадки пассажиров на остановке $k-1$ инфобус 1 может взять на борт пассажиров для дополнительного подвоза, едущих с этой остановки на остановку k , при наличии мест для этого:

$$m_{k-1k} \leq V - m_{1k} \quad (4.11)$$

При выполнении условия (4.11) в граф перевозки будет добавлена дуга, соединяющая вершины $k-1$ и k (рисунок 4.19). А истоковый граф $G_{1,1}^+(V, E)$ становится смешанным $G_{1,1}^\pm(V, E)$.

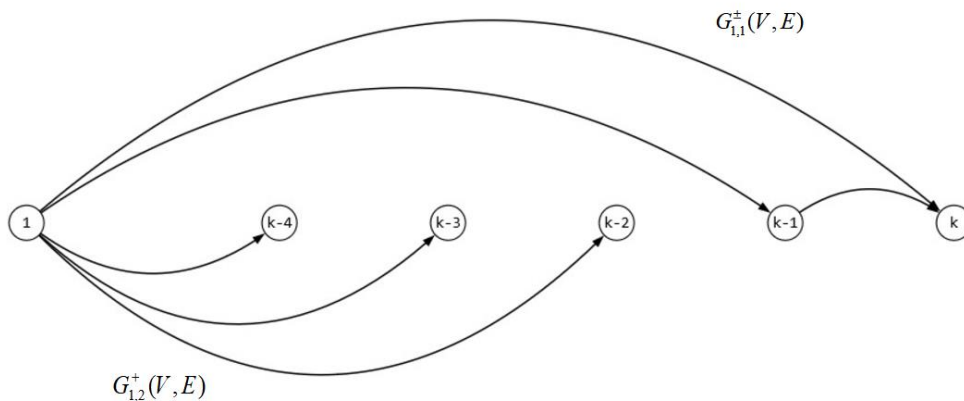


Рисунок 4.19 – Подграфы перевозки $G_{1,1}^\pm(V, E)$ и $G_{1,2}^+(V, E)$

При перевозке с остановки 1 первым инфобусом пассажиры, едущие на остановку $k-1$, не сделают ни одной промежуточной остановки, а для пассажиров последней остановки k будет сделана только одна промежуточная остановка $k-1$. Таким образом, данный способ организации перевозки позволяет осуществлять доставку пассажиров к пункту назначения с минимальным числом промежуточных остановок или без них.

Аналогичным образом определяется реальное множество остановок $J_{1,2}$ для инфобуса 2. Инфобус 2 может проследовать на все остановки маршрута, не вошедшие в множество остановок инфобуса 1. Следовательно, множество потенциальных остановок инфобуса 2 есть $J_{1,2p} = \{2, 3, \dots, k\} \setminus J_{1,1} = \{2, 3, \dots, k-2\}$. Соответственно $\sup J_{1,2p} = k-2$. Также для множества пунктов назначения инфобуса 2 выполняется требование – число пассажиров, следующих на них, не превышает

объема инфобуса:

$$\begin{cases} m_{1k-2} + m_{1k-3} + m_{k-4} \leq V \\ m_{1k-2} + m_{1k-3} + m_{k-4} + m_{k-5} > V \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \sum_{j=k-4}^{k-2} m_{1j} \leq V \\ \sum_{j=k-5}^{k-2} m_{1j} > V \end{cases}. \quad (4.12)$$

Для инфобуса 2 его потенциальное $J_{1,2p}$ и реальное $J_{1,2}$ множества остановок определяется из системы отношений:

$$\begin{cases} J_{1,2p} = \{2, 3, \dots, k-2\} \\ \sum_{j=(k-2)-2}^{k-2} m_{1j} \leq V \\ \sum_{j=(k-2)-3}^{k-2} m_{1j} > V \\ J_{1,2} = \{j | k-4 \leq j \leq k-2\} \end{cases} \quad \text{и} \quad \begin{cases} J_{1,2p} = \{2, 3, \dots, k\} \setminus J_{1,1} \\ \sum_{j=\sup J_{1,2p}}^{\sup J_{1,2p}} m_{1j} \leq V \\ \sum_{j=\sup J_{1,2p} - |J_{1,2}| + 1}^{\sup J_{2p}} m_{1j} > V \\ J_{1,2} = \{j | \sup J_{1,2p} - |J_{1,2}| + 1 \leq j \leq \sup J_{1,2p}\} \end{cases} \quad (4.1) \quad 3)$$

Из (4.13) следует, что $J_{1,2} = \{k-4, k-3, k-2\}$. Так же, как и в случае инфобуса 1, при высадке пассажиров на остановках множества $J_{1,2}$ при наличии мест в салоне возможен дополнительный подвоз пассажиров в пределах остановок данного множества, а граф корреспонденций инфобуса 2 $G_{1,2}^+(V, E)$ из истокового становится смешанным $G_{1,2}^\pm(V, E)$, рисунок 4.20.

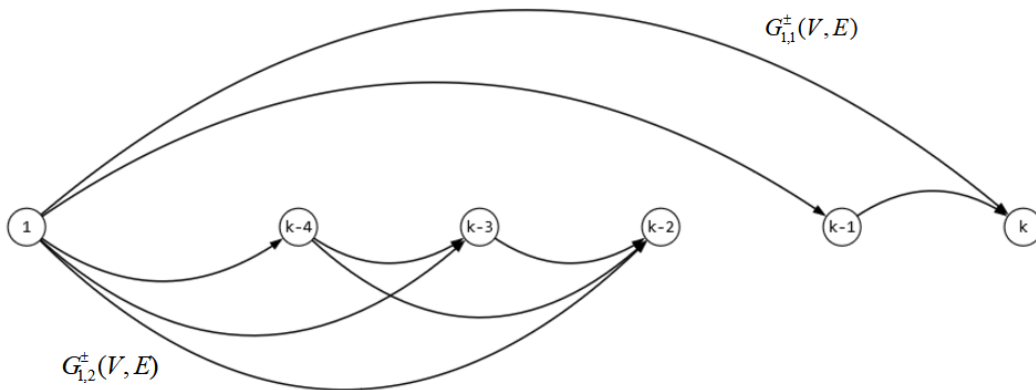


Рисунок 4.20 – Графы корреспонденций $G_{1,1}^\pm(V, E)$ и $G_{1,2}^\pm(V, E)$

Таким образом, потенциальное множество остановок любого инфобуса при перевозке с остановки i есть разность множества всех остановок маршрута, начиная с остановки $i+1$, и множества, являющегося совокупностью остановок, на

которые предыдущие инфобусы уже осуществили перевозку. Для i -ой строки матрицы корреспонденций M начальное потенциальное множество остановок составляет $\{i+1, i+2, \dots, k\}$. Из него определяются реальные множества остановок для кассеты инфобусов, по мере формирования которой потенциальное множество остановок постепенно уменьшается для каждого следующего инфобуса:

$$J_{i,n_p} = \{i+1, i+2, \dots, k\} \setminus J_{i,1} \setminus J_{i,2} \setminus \dots \setminus J_{i,n-1}. \quad (4.14)$$

Общий вид системы условий формирования множества остановок доставки с остановки i для произвольного инфобуса n принимает вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{i,n_p} = \{i+1, i+2, \dots, k\} \setminus J_{i,1} \setminus J_{i,2} \setminus \dots \setminus J_{i,n-1} \\ \sum_{j=\sup J_{i,n_p} - |J_{i,n}| + 1}^{\sup J_{i,n_p}} m_{ij} \leq V \\ \sum_{j=\sup J_{i,n_p} - |J_{i,n}|}^{\sup J_{i,n_p}} m_{ij} > V \\ J_{i,n} = \left\{ j \mid \sup J_{i,n_p} - |J_{i,n}| + 1 \leq j \leq \sup J_{i,n_p} \right\} \end{array} \right. \quad (4.15)$$

Также система (4.15) определяет вид истокового подграфа $G_{i,n}^+(V, E)$ для корреспонденций инфобуса n . Данный подграф может дополняться дугами между своими стоками, преобразуясь в смешанный граф, при определении корреспонденций дополнительного подвоза.

После обработки i -ой строки матрицы корреспонденций определяется совокупность кластеров остановок доставки для каждого инфобуса кассеты, осуществляющей вывоз пассажиров с остановки:

$$J_i = \bigcup J_{i,n}, n \in N, i = \overline{1, k-1}. \quad (4.16)$$

А также граф корреспонденции перевозки с i -ой остановки:

$$G_i^\pm(V, E) = \bigcup G_{i,n}^\pm. \quad (4.17)$$

Применяя данный алгоритм ко всем строкам матрицы корреспонденций, можно составить план перевозки, удовлетворяющий все заявки, зафиксированные в матрице, получив при этом совокупность множеств остановок доставки

$\bigcup_{i=1}^{k-1} J_{i,n}$, $n \in N$ для всех инфобусов, участвующих в исполнении плана. А также

граф корреспонденций перевозки $\bigcup_{i=1}^{k-1} G_{i,n}^\pm, n \in N$.

Более подробно формирование реальных множеств остановок $J_{1,1}$ и $J_{1,2}$ инфобусов 1 и 2 продемонстрировано на следующем примере. Вместимость инфобуса $V = 25$. На определенный момент есть матрица M , у которой элементы $m_{1k-5}, m_{1k-4}, m_{1k-3}, m_{1k-2}, m_{1k-1}, m_{1k}$ имеют соответственно значения 5, 9, 8, 7, 9, 11:

$$M_Z = \begin{pmatrix} 0 & m_{12} & \dots & \dots & 5 & 9 & 8 & 7 & 9 & 11 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & m_{2k} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & m_{ik} \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & m_{k-1k} \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Для первого инфобуса, развозящего пассажиров с первой остановки, потенциальное множество остановок $J_{1,1p} = \{2, \dots, k\}$. Следовательно, $\sup J_{1,1p} = k$. Тогда, согласно условию (4.10):

$$\begin{aligned} \sum_{j=\sup J_{1,1p}-|J_{1,1}|+1}^{\sup J_{1,1p}} m_{1j} < V &\Rightarrow \sum_{j=k-1}^k m_{1j} = 9 + 11 = 20 \leq 25 \\ &\Rightarrow J_{1,1} = \{k, k-1\} \\ \sum_{j=\sup J_{1,1p}-|J_{1,1}|}^{\sup J_{1,1p}} m_{1j} &\Rightarrow \sum_{j=k-2}^k m_{1j} = 7 + 9 + 11 = 27 > 25 \end{aligned}.$$

Для второго инфобуса $J_{1,2p} = \{2, 3, \dots, k\} \setminus J_{1,1} = \{2, 3, \dots, k-2\}$, $\sup J_{1,2p} = k-2$ и, согласно условию (4.13):

$$\begin{cases} \sum_{j=\sup J_{1,2p}-|J_{1,2}|+1}^{\sup J_{1,2p}} m_{1j} = \sum_{j=k-4}^{k-2} m_{1j} = 8 + 9 + 7 = 24 \leq 25 \\ \sum_{j=\sup J_{1,2p}-|J_{1,2}|}^{\sup J_{1,2p}} m_{1j} = \sum_{j=k-5}^{k-2} m_{1j} = 5 + 9 + 8 + 7 = 29 > 25 \end{cases} \Rightarrow J_{1,2} = \{k-2, k-3, k-4\}.$$

Таким образом, план перевозки с первой остановки маршрута будет включать, по крайней мере, следующую совокупность множеств $J_{1,1} \cup J_{1,2} = \{k, k-1\} \cup \{k-2, k-3, k-4\}$.

Перевозка на основе рассматриваемого алгоритма является скоростной, т. к. транспортным средством посещаются не все остановки маршрута, и пассажир попадает либо сразу в пункт назначения, либо делает лишь несколько промежуточных остановок.

4.5.3 Алгоритм организации перевозки на основе критического элемента матрицы корреспонденций. Алгоритм организации перевозки на основе критического элемента матрицы корреспонденций (далее алгоритм «по критическому элементу») относится, как и алгоритм «по строке», к алгоритмам скоростной перевозки, т. к. транспортным средством посещаются не все остановки. Применение данного алгоритма целесообразно в ситуации, когда на маршруте происходит интенсивный рост некоторой корреспонденции на фоне остальных, и при достаточном накоплении пассажиров для ее удовлетворения оправдана высылка транспортного средства.

Во избежание пробега без пассажиров при подъезде к начальной остановке корреспонденции и после доставки пассажиров на конечную остановку корреспонденции осуществляется (при наличии такового) дополнительный подвоз пассажиров.

Перевозку по данному алгоритму можно представить смешанным графом (рисунок 4.21), и разделить на три зоны: основной перевозки, подъезда к зоне основной перевозки, довоза до конечной точки маршрута.

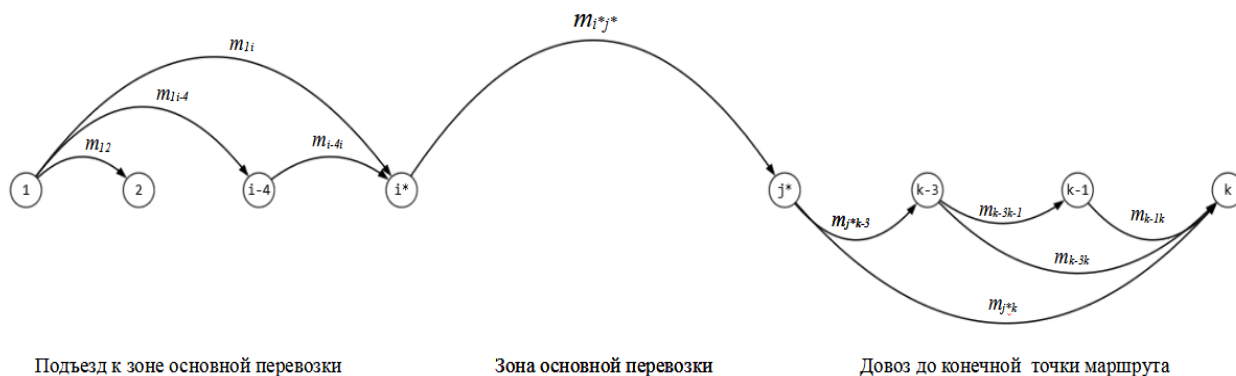


Рисунок 4.21 – Граф корреспонденций перевозки «по критическому элементу»

На рисунке 4.21 к зоне основной перевозки графа корреспонденций относится дуга $m_{i^*j^*}$. К подъезду к зоне основной перевозки относятся дуги $m_{12}, m_{1i^*}, m_{1i-4}, m_{1i-4i^*}$. Дуги $m_{j^*k-3}, m_{k-3k-1}, m_{k-1k}, m_{k-3k}, m_{j^*k}$ входят в зону довоза до конечной точки маршрута.

Фиксация матрицы корреспонденций системой сбора заявок и начало составления плана перевозки по данному алгоритму наступает в момент, когда некоторый элемент $m_{i^*j^*}$ матрицы корреспонденций ($i^* < j^*, j^* = \overline{2, k}, i^* = \overline{1, k-1}$), называемый *критическим элементом* (рисунок 4.22), начинает удовлетворять условию (4.18):

$$m_{i^*j^*} \geq a \times V, a \in [0.5, 1), \tag{4.18}$$

где V – объем транспортного средства; a – коэффициент эластичности (величина, используемая для обеспечения вывоза в том числе и пассажиров, пришедших на остановку i^* от момента начала перевозки инфобуса и до момента его прибытия на данную остановку, т. к. ее использование позволяет предусмотреть некоторый запас мест для таких пассажиров).

Выполнение условия (4.18) указывает на достаточное накопление пассажиров на остановке i^* , желающих ехать на остановку j^* . Все пассажиры с остановочного пункта i^* забираются транспортным средством и перевозятся прямо на остановочный пункт j^* без промежуточных остановок (рисунок 4.21).

$$\begin{pmatrix}
m_{11} & m_{12} & \dots & \dots & \dots & m_{1i^*} & \dots & \dots & \dots & m_{1j^*} & \dots & \dots & m_{1k-1} & m_{1k} \\
0 & 0 & m_{23} & \dots & \dots & m_{2i^*} & \dots & \dots & \dots & m_{2j^*} & \dots & \dots & m_{2k-1} & m_{2k} \\
0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & m_{3k-1} & m_{3k} \\
\dots & \dots & \dots & \dots & \dots & m_{(i^*-1)i^*} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & m_{ji^*} & \dots & \dots & \dots & m_{jk} \\
\dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
\dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
\dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
\dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
\dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{k-1k} \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{pmatrix}$$

Рисунок 4.22 – Матрица корреспонденций, критический элемент и потенциальное множество дополнительного подвоза

При движении от Накопителя к остановке i^* инфобус может также осуществить дополнительный подвоз пассажиров, желающих попасть с остановок $1, \dots, (i^*-1)$ на остановку i^* (что соответствует на рисунке 4.22 подъезду к зоне основной перевозки). Элементы матрицы корреспонденций, соответствующие их заявкам, находятся в столбце i^* со строки 1 по строку (i^*-1) , рисунок 4.22, и образуют множество заявок дополнительного подвоза J_{at} (*additional transportation*) и должны удовлетворять условию (4.19):

$$\begin{cases} \sum_{1 \leq i \leq i^*-1, i \in N} m_{ii^*} \rightarrow \max \\ \sum_{1 \leq i \leq i^*-1, i \in N} m_{ii^*} \leq V, \end{cases} \quad (4.19)$$

Определение таких элементов в столбце i^* происходит итеративно: на каждой итерации среди элементов $m_{ii^*}, 1 \leq i \leq i^*-1$ выбирается максимальный элемент из еще не рассматривавшихся элементов, и если он в совокупности с отобранными на предыдущих итерациях элементами не превышает объем инфобуса, то элемент добавляется к сумме $\sum_{1 \leq i \leq i^*-1, i \in N} m_{ii^*}$. В противном случае элемент отбрасывается для рассмотрения. Формирование множества J_{at} продолжают либо до рассмотрения всех элементов $m_{ii^*}, 1 \leq i \leq i^*-1$, либо до превышения суммой отобранных элементов объема инфобуса V . Остановки отправления, вошедших с множеством J_{at} , образуют множество остановок дополнительного подвоза S_{at} (*stations of additional transportation*).

Рассмотрим алгоритм формирования множеств J_{at} и S_{at} на примере матрицы корреспонденций, представленной на рисунке 4.23. Объем инфобуса V взят равным 25, число остановок маршрута 14. Здесь критическим элементом выступает элемент m_{59} , равный 20.

Для дополнительного подвоза рассматриваются заявки на поездку на пятую остановку с предыдущих четырех. Т. е. элементы $m_{i5}, 1 \leq i \leq 4$. Первым в множество J_{at} войдет элемент $m_{15} = 15$. Элемент $m_{25} = 14$ отбрасывается, т. к. в сумме с уже отобранным элементом превышает объем инфобуса V . На третьей итерации выбирается элемент $m_{45} = 4$, на четвертой – $m_{35} = 3$. На этом отбор заканчивается, т. к. все элементы $m_{i5}, 1 \leq i \leq 4$ рассмотрены. Таким образом сформировано множество заявок дополнительного подвоза $J_{at} = \{m_{15}, m_{35}, m_{45}\} = \{15, 3, 4\}$ и множество остановок дополнительного подвоза $S_{at} = \{1, 3, 4\}$.

$$M_z = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 11 & \boxed{15} & 3 & 3 & 3 & 7 & 1 & 0 & 1 & 0 & 11 \\ 0 & 0 & 3 & 1 & 14 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \boxed{3} & 6 & 2 & 0 & 3 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \boxed{4} & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 4 & 2 & 1 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 8 & \boxed{20} & 1 & 7 & 5 & 3 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 7 & 1 & 0 & 7 & 2 & 1 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 4 & 2 & 0 & 2 & 1 & 14 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9 & 2 & 7 & 6 & 1 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 10 & 5 & 4 & 12 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 11 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Рисунок 4.23 – Критический элемент и элементы множества дополнительного подвоза J_{at}

Т. к. инфобус будет останавливаться на остановках множества S_{at} , то можно еще осуществить перевозку пассажиров, желающих ехать с одной остановки множества S_{at} на другую при условии, что они не будут составлять конкуренцию пассажирам дополнительного подвоза. В рассматриваемом случае, например, с первой остановки на третью или четвертую, с третьей на четвертую. Множество таких заявок назовем множеством заявок попутного подвоза (*passing transportation*) J_{pt} .

Множество J_{pt} определяется итерационно путем перебора всех ненулевых элементов $m_{ij}, i, j \in S_{at}, i < j$ матрицы M_z , для которых выполняется условие (4.20):

$$\begin{cases} m_{ij} < V - \sum_{s \in S_{at}, s < j} m_{si} - \sum_{m_{sk} \in J_{pt}} m_{sk} + \sum_{\substack{m_{sk} \in J_{pt}, \\ s < i, k \leq i}} m_{sk}, \\ i, j \in S_{at}, i < j \end{cases} \quad (4.20)$$

где V – объем инфобуса;

$\sum_{s \in S_{at}, s < j} m_{si}$ – сумма элементов множества J_{at} , соответствующих заявкам пассажиров, которые должны занять места в инфобусе при его следовании от остановки i к остановке j ;

$\sum_{m_{sk} \in J_{pt}} m_{sk}$ – места, занятые уже определенными пассажирами попутного подвоза. Данная сумма, рекурсивно увеличивается на каждой итерации на элемент m_{ij} , если он удовлетворяет (4.20);

$\sum_{m_{sk} \in J_{pt}, s < i, k \leq i} m_{sk}$ – объем освободившихся в салоне мест за счет вышедших пассажиров попутного подвоза до остановки i включительно. Данная величина рассчитывается на каждой итерации алгоритма.

Алгоритм определения элементов попутного подвоза представлен в блок-схеме на рисунке 4.24. В блок-схеме под $\inf S_{at}$ (инфимум S_{at}) подразумевается точная нижняя граница множества S_{at} , а под $\sup S_{at}$ (супремум S_{at}) точная верхняя граница множества S_{at} .

Рассмотрим нахождение заявок попутного подвоза для матрицы M_z , представленной на рисунке 4.23. Согласно условию из системы (4.19) $i, j \in S_{at} = \{1, 3, 4\}, i < j$ потенциальные кандидаты на попутный подвоз m_{13}, m_{14}, m_{34} .

При анализе элемента m_{13} множество J_{pt} пусто, т. к. еще ни один элемент не определен для попутного подвоза. Пусто и множество вышедших пассажиров попутного подвоза на первой остановке $\sum_{\substack{m_{sk} \in J_{pt}, \\ s < 1, k \leq 1}} m_{sk}$.

Дополнительного подвоза с остановки 1 до остановки 3 состоит из элемента $m_{15} = 15$:

$$m_{13} = 2 \leq V - \sum_{m_{sk} \in J_{at}, s < 3} m_{sk} - \sum_{m_{sk} \in J_{pt}} m_{sk} + \sum_{\substack{m_{sk} \in J_{pt}, \\ s < 1, k \leq 1}} m_{sk} = 25 - 15 - 0 + 0 = 10 \Rightarrow J_{pt} = \{m_{13}\} = 2.$$

Для элемента $m_{14} = 11$ множество $J_{pt} = \{m_{13}\} = \{2\}$, множество элементов дополнительного подвоза с остановки 1 по остановку 4 будет состоять из $\{m_{15}, m_{35}\} = \{15, 3\}$. Вышедших пассажиров на первой остановке нет. Но, тем не менее, мест для пассажиров элемента m_{14} не хватит и его заявки не войдут в попутный подвоз:

$$m_{14} = 11 > V - \sum_{m_{s5} \in J_{at}, s < 4} m_{s5} - \sum_{m_{sk} \in J_{pt}} m_{sk} + \sum_{\substack{m_{sk} \in J_{pt}, \\ s < 1, k \leq 1}} m_{sk} = 25 - (15 + 3) - 2 + 0 = 5 \Rightarrow J_{pt} = \{m_{13}\}$$

Множество элементов дополнительного подвоза с остановки 3 по остановку 4 будет состоять из $\{m_{15}, m_{35}\} = \{15, 3\}$. Для элемента m_{34} множество $J_{pt} = \{2\}$. А сумма мест, освободившихся от вышедших пассажиров попутного подвоза

$$\sum_{m_{sk} \in J_{pt}, s < 3, k \leq 3} m_{sk} = m_{13} = 2.$$

$$m_{34} = 1 \leq V - \sum_{m_{s5} \in J_{at}, s < 4} m_{s5} - \sum_{m_{sk} \in J_{pt}} m_{sk} + \sum_{\substack{m_{sk} \in J_{pt}, \\ s < 3, k \leq 3}} m_{sk} = 25 - (15 + 3) - 2 + 2 = 7 \Rightarrow J_{pt} = \{m_{13}, m_{34}\}$$

Таким образом, элементы m_{13} и m_{34} включены в попутный подвоз, а инфобус, следуя на пятую остановку, перевезет дополнительно с первой, третьей и четвертой остановок $m_{15} + m_{35} + m_{45} = 15 + 3 + 4 = 22$ пассажира. И попутно, останавливаясь на этих остановках, перевезет $m_{13} + m_{34} = 2 + 1 = 3$ пассажира.

По приезде на пятую остановку все пассажиры покинут салон транспортного средства. И в инфобус зайдут 20 пассажиров элемента m_{59} .

Перевезя с пятой на девятую остановку 20 пассажиров, инфобус может произвести перевозку и на оставшемся участке маршрута. Для составления плана этой перевозки выбирается максимальный элемент $m_{j^*j}, j > j^*$ в строке j^* . В рассматриваемом примере это $m_{9,14} = 12$. Он включается первым в новое множество дополнительного подвоза J_{at} .

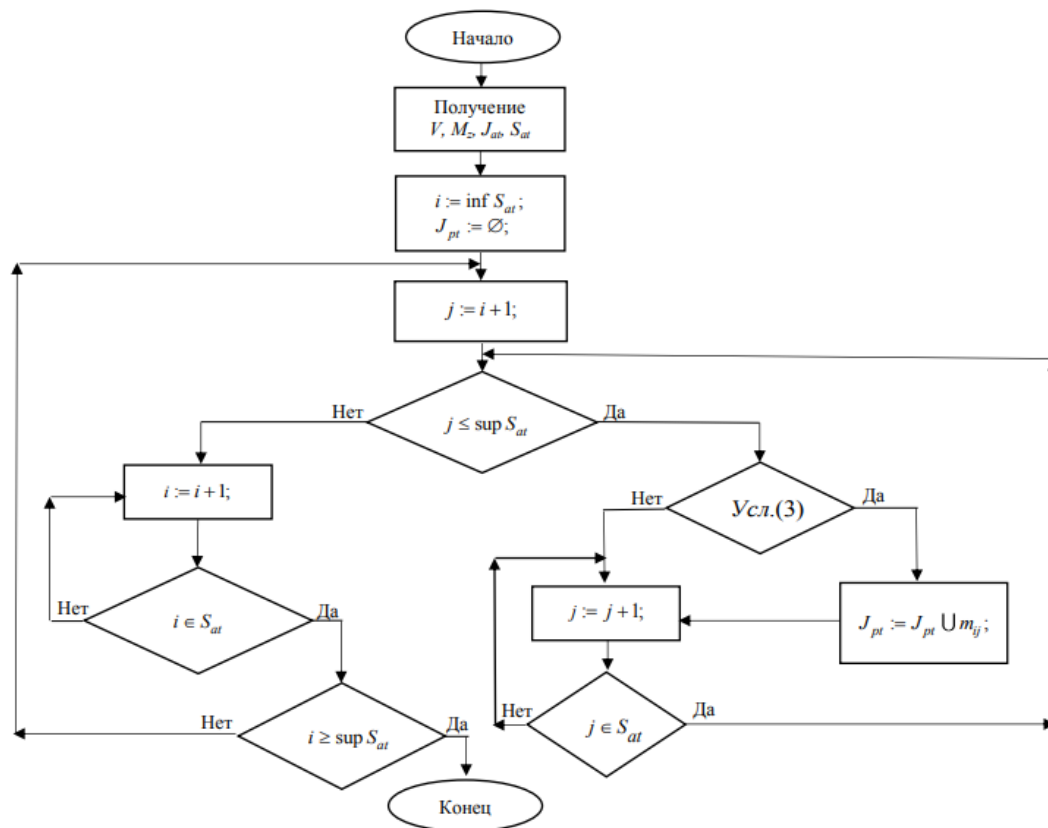


Рисунок 4.24 – Блок-схема алгоритма нахождения множества попутного подвоза J_{pt}

Остальные элементы множества дополнительного подвоза выбираются в столбце j согласно совокупности требований (4.21):

$$\begin{cases} m_{j^*j} + \sum_{j^* < s < j, s \in N} m_{sj} \rightarrow \max \\ m_{j^*j} + \sum_{j^* < s < j, s \in N} m_{sj} \leq V \end{cases} \quad (4.21)$$

Элементы выбираются итеративно: на каждой итерации ищется наибольший элемент из еще не рассмотренных из множества элементов $m_{ij}, j^* < i < j$. Если элемент удовлетворяет (4.21), то он включается в J_{at} , в противном случае отбрасывается для рассмотрения.

Таким образом, в рассматриваемом примере $J_{at} = \{m_{9,14}, m_{10,14}, m_{12,14}\} = \{12, 1, 1\}$. Следовательно, множество остановок дополнительного подвоза $S_{at} = \{9, 10, 12\}$. Множество заявок попутного подвоза находится согласно условию (4.20) и будет включать в себя элементы: $J_{pt} = \{m_{9,10}, m_{9,12}, m_{10,12}\} = \{6, 5, 1\}$. Если на маршруте есть еще остановки, на которые можно осуществить дополнительный подвоз, то план

перевозки составляется по этой же схеме. В рассматриваемом примере таких остановок нет.

Таким образом, полученный план перевозки включает в себя использование одного инфобуса, который осуществит посадку-высадку пассажиров на остановках 1, 3, 4, 5, 9, 10, 12, 14 маршрута, обслужив заявки на перевозку элементов матрицы корреспонденций M_z : m_{13} , m_{15} , m_{34} , m_{35} , m_{45} , m_{59} , m_{910} , m_{912} , m_{914} , m_{1012} , m_{1014} , m_{1214} (рис.4.25).

$$M_z = \begin{pmatrix} 0 & 1 & \boxed{2} & 11 & \boxed{15} & 3 & 3 & 3 & 7 & 1 & 0 & 1 & 0 & 11 \\ 0 & 0 & 3 & 1 & 14 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & \boxed{1} & \boxed{3} & 6 & 2 & 0 & 3 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \boxed{4} & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 4 & 2 & 1 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 8 & \boxed{20} & 1 & 7 & 5 & 3 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 7 & 1 & 0 & 7 & 2 & 1 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 4 & 2 & 0 & 2 & 1 & 14 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9 & 2 & 7 & 6 & 1 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \boxed{6} & 10 & \boxed{5} & 4 & \boxed{12} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & \boxed{1} & 1 & \boxed{1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & \boxed{11} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Рисунок 4.25 – Заявки, вошедшие в план перевозки на матрице корреспонденций

Все элементы матрицы, не вошедшие в план перевозки, возвращаются в базу данных и, вместе с накопленными к тому моменту заявками, участвуют в формировании следующей матрицы корреспонденций.

Таким образом, организация перевозки по предложенному алгоритму состоит из таких этапов, как определение критического элемента $m_{i^*j^*}$, определение плана перевозки для дополнительного и попутного подвоза при подъезде к остановке i^* , определение планов перевозки (их может быть несколько) для дополнительного и попутного подвоза от остановки j^* до конца маршрута после осуществления основной перевозки заявок $m_{i^*j^*}$.

4.5.4 Организация обычной перевозки в ИТС. Принцип скоростной перевозки построен на посещении лишь некоторых остановок маршрута с наиболее интенсивным пассажиробменом. Использование только скоростных режимов может привести к ситуации, когда некоторые остановки маршрута не будут обслуживаться транспортной системой систематически. Для исключения этого скоростной режим должен комбинироваться с обычным, назначение которого – гарантировать обслуживание всех существующих в системе заявок.

Как и другие виды перевозок в ИТС, обычная перевозка организуется информационным сервером ИТС в режиме реального времени на основе информации о числе проезжающих пассажиров на наиболее пассажиронапряженном перегоне (участке маршрута между двумя соседними остановками, по которому будет проезжать наибольшее число пассажиров).

Данные о числе проезжающих пассажиров p_n на каждом перегоне $n, n = \overline{1, k-1}$ маршрута из k остановок определяются по зафиксированной в текущем моменте матрице корреспонденций M .

Принцип определения значений $p_n, n = \overline{1, k-1}$ по матрице корреспонденции показан на рисунке 4.26 для маршрута из пяти остановок, $k = 5, n = \overline{1, 4}$.

Общая формула для p_n имеет вид:

$$p_n = \sum_{i=1}^n \sum_{j=n+1}^k m_{ij}, n = \overline{1, k-1} \quad (4.22)$$

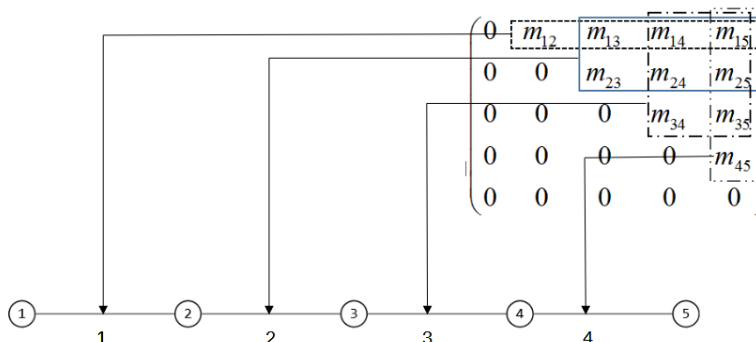


Рисунок 4.26 – Определение числа проезжающих пассажиров на перегонах маршрута на основе матрицы корреспонденций

Пусть маршрут состоит из пяти остановок. Тогда, согласно формуле (4.22): для первого перегона ($n = 1$) число проезжающих пассажиров находится как

$$p_1 = \sum_{i=1}^1 \sum_{j=2}^5 m_{ij} = m_{12} + m_{13} + m_{14} + m_{15};$$

для второго перегона ($n = 2$) число проезжающих пассажиров находится как

$$q_2 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=3}^5 m_{ij} = m_{13} + m_{14} + m_{15} + m_{23} + m_{24} + m_{25}.$$

для третьего перегона ($n = 3$) число проезжающих пассажиров находится как

$$q_3 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=4}^5 m_{ij} = m_{14} + m_{15} + m_{24} + m_{25} + m_{34} + m_{35}.$$

И так далее.

Наиболее пассажиронапряженный перегон определяются через определение максимума найденных сумм: $\max\{q_n\}, n = \overline{1, k-1}$.

Тогда на маршрут для обычной перевозки должна быть выслана кассета из $\left\lceil \frac{\max\{q_n\}}{V} \right\rceil, n = \overline{1, k-1}$ инфобусов, где V – объем транспортной единицы (инфобуса), а результат деления округляется в сторону ближайшего большего целого числа.

Такой способ организации обычной перевозки позволяет высылать для перевозки транспортное средство минимально необходимого объема, что сокращает потери транспортного предприятия от неэффективного использования пассажироместимости.

4.6 Составление графиков движения

В отличие от классической технологии пассажирских перевозок, строящейся на составлении постоянного расписания движения транспортных средств, технология перевозок в информационно-транспортной системе предполагает составление для каждого транспортного средства индивидуального графика движения в «режиме реального времени»: всякий раз интеллектуальными алгоритмами, реализуемыми на информационном сервере транспортной системы, при наступлении момента достаточного накопления заявок составляется план перевозки, включающий в себя и график движения в том числе.

При составлении графика движения возможно использование двух способов: бесконфликтного движения транспортных средств [205–107] и движения в кассете.

Для дальнейших рассуждений вводятся следующие утверждения:

- план перевозки всякий раз формируется при выполнении одного из условий достаточности накопления заявок (п. 4.4.4) на перевозку в транспортной системе;
- каждое транспортное средство, участвующее в плане перевозки, получает: идентификационный номер $n \in N$; множество остановок J_n , на которых он будет останавливаться; график движения, составляемый в рамках плана перевозки;
- расчеты предлагаются для одного направления движения (в обратном направлении рассуждения аналогичны).

4.6.1 Способ бесконфликтного движения транспортных средств. В данной методике предполагается, что движение транспортных средств на маршруте должно быть бесконфликтным, т. е. инфобусы при движении не должны задерживать друг друга.

Для каждого инфобуса n при составлении плана перевозки наряду с множеством остановок J_n , которое включает как остановку отправления, так и остановки назначения, составляется вектор моментов прибытия на остановочные пункты $a_n = (a_n^1, a_n^2, \dots, a_n^{k-1}, a_n^k)$ и вектор моментов отправления с них $d_n = (d_n^1, \dots, d_n^{k-1}, d_n^k)$, где a_n^j, d_n^j – моменты прибытия и отправления соответственно инфобуса n на остановку (с остановки) j .

Для дальнейших расчетов вводится вектор S расстояний от Накопителя 1 до остальных остановок маршрута, включая и Накопитель 2, координаты которого известны (координата, соответствующая Накопителю 2, имеет порядок $(k+1)$):

$$S = (S_1, S_2, \dots, S_k, S_{k+1}), \quad (4.23)$$

где $S_j, j = \overline{1, k+1}$ – расстояние между Накопителем 1 и остановкой j .

А также вектор времени доезда до остановок маршрута при безостановочном движении инфобуса $t = (t_1, t_2, \dots, t_{k+1})$, координаты которого находятся из соотношения

$$t = (t_1, t_2, \dots, t_{k+1}) = \left(\frac{S_1}{v}, \frac{S_2}{v}, \dots, \frac{S_{k+1}}{v} \right), \quad (4.24)$$

где v – скорость движения инфобусов, являющаяся постоянной и известной заранее величиной.

Тогда координаты a_n^j и $d_n^j, j = \overline{1, k+1}$, вектора прибытий a_n и вектора отправлений d_n инфобуса n , участвующего в выполнении плана перевозки, находится из соотношений

$$a_n^j = t_{start} + t_j + t_{st} \cdot q_n^j, j = \overline{1, k+1} \quad (4.25)$$

$$d_n^j = \begin{cases} t_{start} + t_j + t_{st} \cdot (q_n^j + 1), j = \overline{1, k+1}, j \in J_n \\ a_n^j, j \notin J_n \end{cases}, \quad (4.26)$$

где t_{start} – время начала выполнения текущего плана перевозки (формирующееся в системе организации перевозок информационного сервера транспортной системы в результате выполнения процесса составления плана перевозки как сумма момента фиксации составленного плана перевозки в системе, времени на рассылку этого плана бортовым системам инфобусов и времени приведения бортовыми системами инфобусов в готовность к выполнению плана перевозки транспортных средств); t_j – соответствующая остановке координата вектора t ; t_{st} – время простоя на остановке (величина постоянная и известная); q_n^j – количество остановок, сделанных инфобусом до остановки j . Если остановка j входит в множество остановок инфобуса J_n , то время отправления транспортного средства с нее увеличивается на t_{st} по отношению к времени d_n^j , в противном инфобус проезжает данную остановку не останавливаясь, т. е. $a_n^j = d_n^j$.

На бесконфликтность следования двух инфобусов, движущихся последовательно, указывает неотрицательность всех координат разности вектора моментов прибытия a_n (позади идущего инфобуса n) и вектора времени отправлений с остановок $d_{(n-1)}$ впереди идущего инфобуса $(n-1)$:

$$a_n - d_{(n-1)} = (a_n^1 - d_{(n-1)}^1, \dots, a_n^{k+1} - d_{(n-1)}^{k+1}). \quad (4.27)$$

Отрицательность координат вектора $a_n - d_{(n-1)}$ указывает на то, что последующий инфобус n согласно составленного плана перевозки прибывает на соответствующие этим координатам остановки раньше предыдущего инфобуса $(n-1)$, чего быть не должно.

Для исключения конфликтов следования при составлении графика движения находится максимальная по модулю координата среди отрицательных координат $a_n - d_{(n-1)}$:

$$\Theta = \max \{ |a_n^j - d_{(n-1)}^j| \}; (a_n^j - d_{(n-1)}^j) < 0; j = \overline{1, k+1}; \quad (4.28)$$

Найденное значение прибавляется ко всем координатам векторов a_n и d_n (позади идущего инфобуса n), что приводит к смещению по времени старта инфобуса n по отношению к предыдущему инфобусу $(n-1)$ на промежуток времени Θ :

$$\begin{cases} d_n = (d_n^1 + \Theta, \dots, d_n^{k+1} + \Theta) \\ a_n = (a_n^1 + \Theta, \dots, a_n^{k+1} + \Theta) \end{cases} \quad (4.29)$$

Таким образом, получаем график движения последующего инфобуса по отношению к предыдущему, обеспечивающий бесконфликтное следование.

4.6.2 Способ движения в кассете. При данном подходе время выхода инфобуса n из накопителя не смещается. И если его во время движения начинает задерживать впереди идущий инфобус $n-1$, то инфобус n объединяется в кассету с инфобусом $n-1$ и следует с ним в кассете с этого момента до момента рассоединения: когда инфобусу n необходимо будет остановиться, а инфобусу $n-1$ необходимо будет проследовать далее.

4.6.3 Примеры применения способов составления графиков движения. Рассмотрим составление графиков движения для двух инфобусов, которые должны проследовать друг за другом при реализации плана перевозки, с помощью обоих способов.

Маршрут следования будет состоять из семи остановок ($k = 7$), расстояния (в метрах) от Накопителя 1 до остановок и до Накопителя 2 (рисунок 4.6) задаются вектором $S = (110, 1540, 2530, 3960, 5500, 6270, 7370, 7590)$, где первая координата вектора соответствует расстоянию до остановки 1, восьмая – до Накопителя 2. Время стоянки инфобуса $t_{st} = 20$ с. Скорость движения инфобусов $v = 40 \text{ км/ч} \approx 11 \text{ м/с}$. Пусть t_{start} для простоты рассуждений равно нулю.

Из формулы (2) следует, что координаты вектора времени движения до остановочных пунктов маршрута от Накопителя 1, выраженные в секундах равны $t = (10, 140, 230, 360, 500, 570, 670, 690)$.

Пусть в реализации плана перевозки участвуют два инфобуса 1 (следует первым) и 2 (следует вторым), множества остановок инфобусов $J_1 = \{1, 5, 6, 7\}$, $J_2 = \{3, 4, 5\}$. Таким образом, первый инфобус останавливается на остановках 1, 5, 6, 7, а второй – на остановках 3, 4, 5. При одинаковой скорости движения и одновременном старте из Накопителя 1 инфобус 1 начнет задерживать второго уже на первой остановке, т. к. его время накопленного простоя больше. В этом можно убедиться из данных расчетов движения инфобусов, представленных в таблице 4.2 и на диаграмме движения инфобусов (рисунок 4.27).

Таблица 4.2 – Время прибытия и отправления инфобусов

Инфобус	Прибытие	Отправление
1	$d_1 = (10, 160, 250, 380, 520, 610, 730, 770)$	$a_1 = (30, 160, 250, 380, 540, 630, 750, 770)$
2	$d_2 = (10, 140, 230, 380, 540, 630, 730, 750)$	$a_2 = (10, 140, 250, 400, 560, 630, 730, 750)$

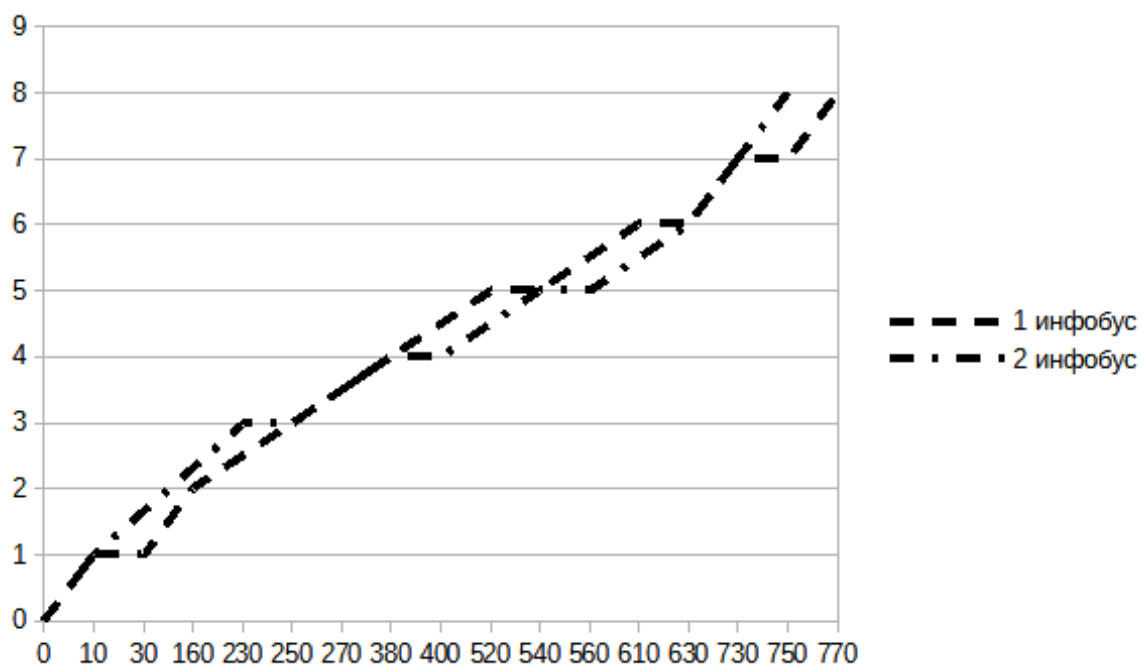


Рисунок 4.27 – Диаграмма движения инфобусов

При таком графике движения инфобус 2, идущий позади, будет задерживаться инфобусом 1 на промежутках маршрута от остановки 1 и до остановки 3, от остановки 7 вплоть до Накопителя 2.

Для исключения конфликтов следования при выполнении плана перевозки находится разность координат вектора прибытия на остановки инфобуса 2 и вектора отпращиваний с остановок инфобуса 1, а также величина Θ согласно формулам (4.26, 4.27):

$$d_2 - a_1 = (-20, -20, -20, 0, 0, 0, -20, -20), \Theta = \max\{|-20|\} = 20.$$

Таким образом, чтобы исключить задержку инфобуса 2, необходимо отложить время его старта на 20 секунд, в результате чего координаты векторов d_2 и a_2 принимают вид:

$$d_2 = (30, 160, 250, 400, 560, 650, 750, 770) \quad a_2 = (30, 160, 270, 420, 580, 650, 750, 770)$$

Бесконфликтное следование транспортных средств отражено на диаграмме движения на рисунке 4.28:

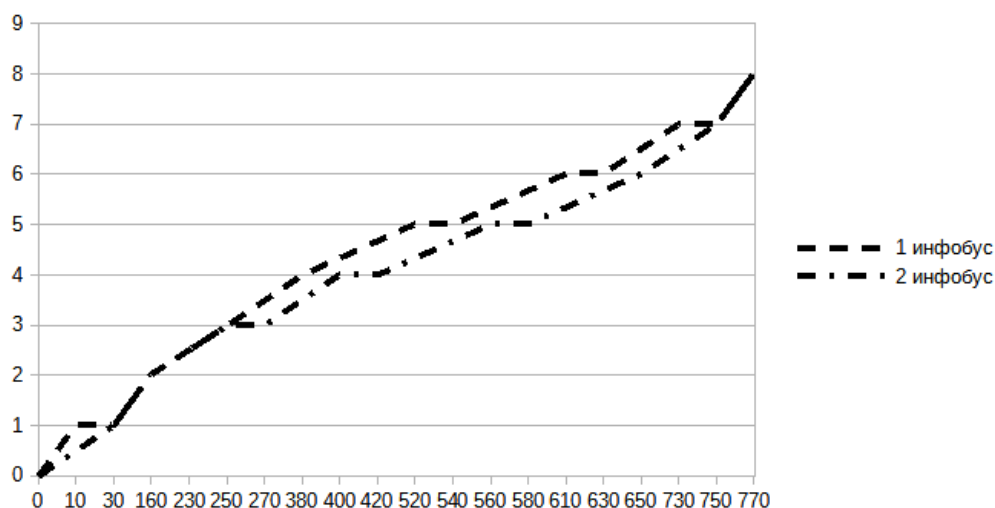


Рисунок 4.28 – Диаграмма движения инфобусов

В результате инфобусы проследуют в кассете на участке маршрута от первой до третьей остановки и от седьмой остановки до Накопителя 2. Остальные участки маршрута инфобус 1 преодолет раньше инфобуса 2. Таким образом, на протяжении всего пути следования инфобус 2 нигде не будет задерживаться.

В Таблице 4.3 представлены моменты прибытия и отправления инфобусов в случае составления графика движения по методике движения в кассете.

Таблица 4.3 – Время прибытия и отправления инфобусов

Инфобус	Прибытие	Отправление
1	$d_1 = (10, 160, 250, 380, 520, 610, 730, 770)$	$a_1 = (30, 160, 250, 380, 540, 630, 750, 770)$
2	$d_2 = (10, 160, 250, 400, 560, 650, 750, 770)$	$a_2 = (30, 160, 270, 420, 580, 650, 750, 770)$

Диаграмма (рисунок 4.29), отражает движение транспортных средств в кассете при составлении графика движения по методике «Движение в кассете».

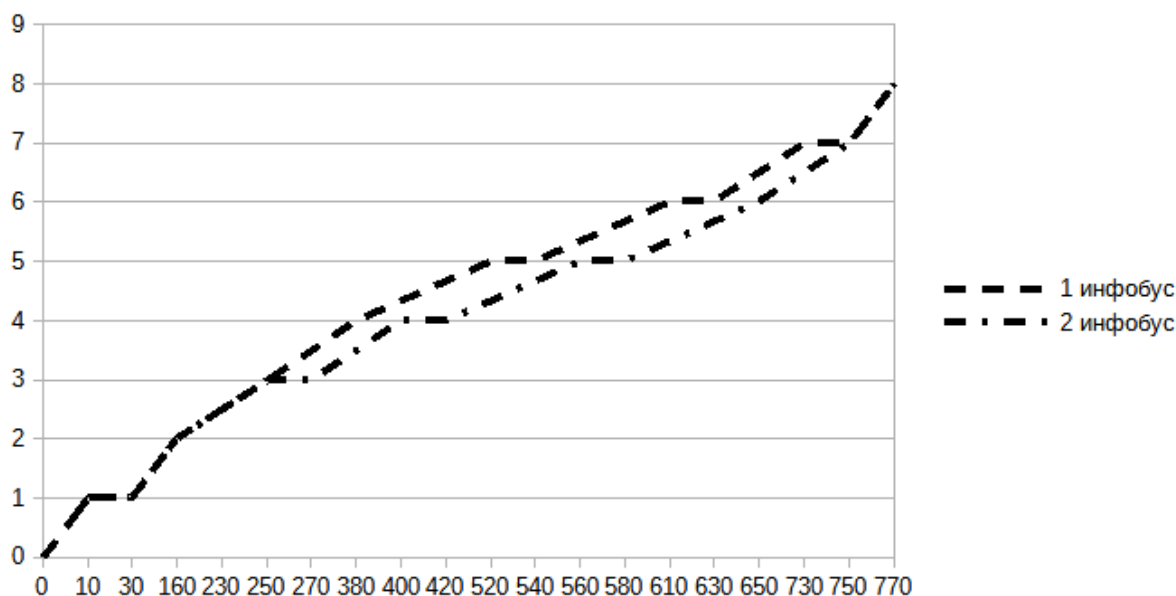


Рисунок 4.29 – Движение инфобусов по способу движения в кассете

Таким образом, инфобусы до остановки 3 двигаются в кассете и при этом инфобус 2 повторяет движение инфобуса 1, получая задержку в движении. Но после остановки 3 инфобусы рассоединяются: инфобус 2 останавливается на остановке 3, а инфобус 1 продолжает свое движение далее самостоятельно до остановки 7, где инфобусы опять соединятся в кассету и продолжат совместное движение в Накопитель 2.

Эмпирическим путем было выявлено, что способ составления графика бесконфликтного движения транспортных средств в ситуации быстрого накопления заявок на перевозку (во время интенсивного спроса на перевозку) может приводить к большим задержкам последующих рейсов в силу того, что задержки предыдущих рейсов при малых интервалах формирования транспортных составов имеют накопительный эффект. В такие моменты целесообразно применять для составления графика способ движения в кассете, который хотя и приводит к некоторым задержкам одних инфобусов другими, все же в целом не влияет на увеличение времени ожидания.

Описанные принципы составления графиков движения транспортных средств при выполнении плана перевозки на базе беспилотных электрокаров позволяют спланировать время старта, прибытия и отправления инфобусов, определять время ожидания каждым пассажиром транспортного средства.

4.7 Оценка эффективности перевозочного процесса

Эффективность (лат. *effectus* — исполнение, действие) определяется как способность достигать необходимого результата с наименьшей затратой ресурсов [108].

В вопросах оценки эффективности системы пассажирского общественного транспорта до сих пор нет единых подходов, и выбор оценок зависит от конкретных условий перевозок и решаемых задач. Многие эксперты отождествляют эффективность пассажирских перевозок с эффективностью использования подвижного состава, т. е. осуществление перевозок с наименьшими материальными и трудовыми затратами. Однако такая трактовка является неполной, т. к. функционирование в городах общественного транспорта имеет широкий спектр аспектов: от экономических до социальных и природно-экологических. Многие из этих аспектов (а также ресурсов, затрачиваемых на их достижение) слабо формализуемые либо вообще не поддаются формализации.

Эффективность функционирования городской пассажирской информационно-транспортной системы кассетно-конвейерного типа будет рассматриваться на уровне таких составляющих, как транспортное предприятие и пассажир. Поскольку перевозочный процесс в информационно-транспортной системе должен обеспечивать интересы обеих сторон, то его эффективность будет рассматриваться через минимизацию потерь транспортного предприятия и пассажиров [109].

Потери транспортного предприятия. Потери транспортного предприятия выражаются через неиспользованную пассажировместимость транспортного средства и количество совершенных остановок при перевозке (т. к. процесс торможения – разгона ведет к потерям энергоресурсов и износу механизмов транспортного средства).

$K_{ИВ}$ – коэффициент использования вместимости транспортного средства определяется как отношение фактического количества выполненных пассажиро-километров к предоставленным место-километрам [64]:

$$K_{ИВ} = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} q_i l_i}{\sum_{i=1}^{k-1} V l_i} = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} q_i l_i}{V L}, \quad (4.30)$$

где q_i – число пассажиров на перегоне i , l_i – длина перегона i , V – объем транспортного средства, L – длина маршрута.

Неиспользованная пассажировместимость транспортного средства будет выражаться через коэффициент неиспользованной пассажировместимости транспортного средства $K_{НВ}$, определяющийся как разность единицы и $K_{ИВ}$:

$$K_{НВ} = 1 - K_{ИВ} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{k-1} q_i l_i}{\sum_{i=1}^{k-1} V l_i} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{k-1} q_i l_i}{V L}. \quad (4.31)$$

Потери транспортной системы от процесса торможения – разгона будут выражаться через коэффициент остановочности $K_{ост}$, определяющийся как отношение числа совершенных транспортным средством остановок при перевозке к числу всех остановок маршрута:

$$K_{ост} = \frac{|J_n|}{k}, \quad (4.32)$$

где k – число остановок маршрута, $|J_n|$ – мощность множества остановок, сделанных инфобусом n , при реализации плана перевозки.

Потери пассажиров. К потерям пассажиров относятся время ожидания транспортного средства и время в пути (время поездки). Выразятся потери пассажиров будут через:

$K_{оп}$ – коэффициент времени ожидания пассажира, определяющийся как отношение среднего времени ожидания пассажирами перевозки (в минутах) к нормативному времени ожидания $T_{НВО}$ (10–20 мин):

$$K_{оп} = \frac{T_{cp}}{T_{НВО}}. \quad (4.33)$$

K_{III} – коэффициент продолжительности поездки, который определяется из соотношения

$$K_{III} = \frac{\sum_{i=1}^{q_{насс}} \frac{T_{ВIII_i}}{T_{ВIII_i^*}}}{n}, \quad (4.34)$$

где $q_{насс}$ – число всех пассажиров, участвующих в плане перевозки; $T_{ВIII_i}$ –

время поездки i -го пассажира при реализации плана перевозки (при этом транспортное средство может останавливаться не на всех остановках); $T_{впш_i^*}$ – время поездки i -го пассажира, если бы транспортное средство в ходе следования по маршруту останавливалось на всех остановках.

Показатели общих потерь. Введем функцию общих потерь перевозки, дающую оценку эффективности перевозки:

$$P(K_{HB}, K_{OCT}, K_{OP}, K_{III}) = K_{HB} + K_{OCT} + K_{OP} + K_{III} \quad (4.35)$$

Т. к. все введенные коэффициенты отражают отношение фактических потерь к нормативным, то чем меньше величина коэффициента, тем выше эффективность перевозки, а значит задачу оптимизации перевозки можно свести к минимизации функции $P(K_{HB}, K_{OCT}, K_{OP}, K_{III})$:

$$P(K_{HB}, K_{OCT}, K_{OP}, K_{III}) = K_{HB} + K_{OCT} + K_{OP} + K_{III} \rightarrow \min . \quad (4.36)$$

Введем вектор потерь транспортного предприятия \vec{P}_A , рис.4.29:

$$\vec{P}_A = (\vec{0}; \overline{K_{HB} + K_{OCT}}) \quad (4.37)$$

И вектор потерь пассажира \vec{P}_P , рисунок 4.29.

$$\vec{P}_P = (\overline{K_{OP} + K_{III}}; \vec{0}) \quad (4.38)$$

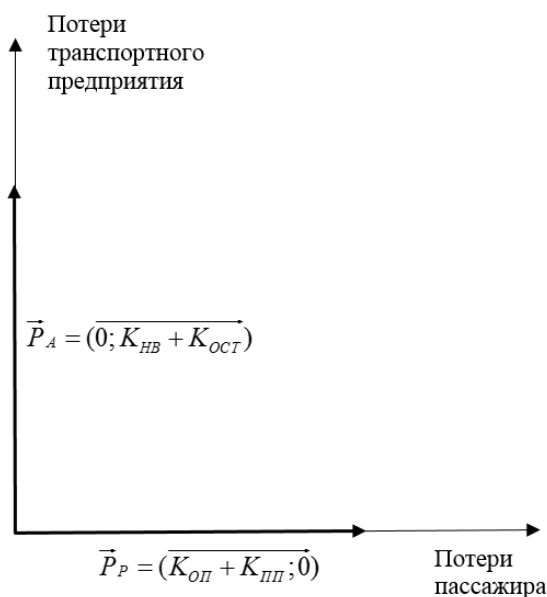


Рисунок 4.29 – Векторы потерь

А также радиус-вектор общих потерь \vec{P} (рисунок 4.30), определяемый как сумма вектора потерь транспортного предприятия и вектора потерь пассажира:

$$\vec{P} = \vec{P}_A + \vec{P}_P . \quad (4.39)$$

Вектор общих потерь \vec{P} характеризуется модулем

$$|\vec{P}| = \sqrt{|\vec{P}_A|^2 + |\vec{P}_P|^2}. \quad (4.40)$$

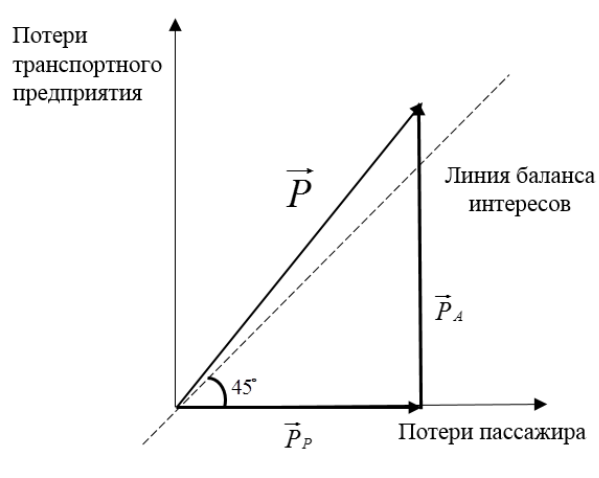


Рисунок 4.30 – Вектор общих потерь

А также углом, образуемым с осью абсцисс:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{|\vec{P}_A|}{|\vec{P}_P|}\right) \quad (4.41)$$

Очевидно, что показатели «идеальной» перевозки должны удовлетворять условиям:

$$\begin{cases} |\vec{P}| = \sqrt{|\vec{P}_A|^2 + |\vec{P}_P|^2} \rightarrow \min \\ \alpha = \arctan\left(\frac{|\vec{P}_A|}{|\vec{P}_P|}\right) \rightarrow \frac{\pi}{4} \end{cases} \quad (4.42)$$

Величину отношения модуля вектора потерь транспортного предприятия к модулю вектора потерь пассажира, равную тангенсу угла α (рис.4.30), назовем коэффициентом баланса потерь перевозки:

$$K_{БП} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{|\vec{P}_A|}{|\vec{P}_P|}. \quad (4.43)$$

Величина отражает соотношение потерь транспортного предприятия и потерь пассажира в общих потерях перевозки.

Если $K_{БП} > 1$, то при реализации плана перевозки потери транспортного предприятия преобладали над потерями пассажира (рисунок 4.31).

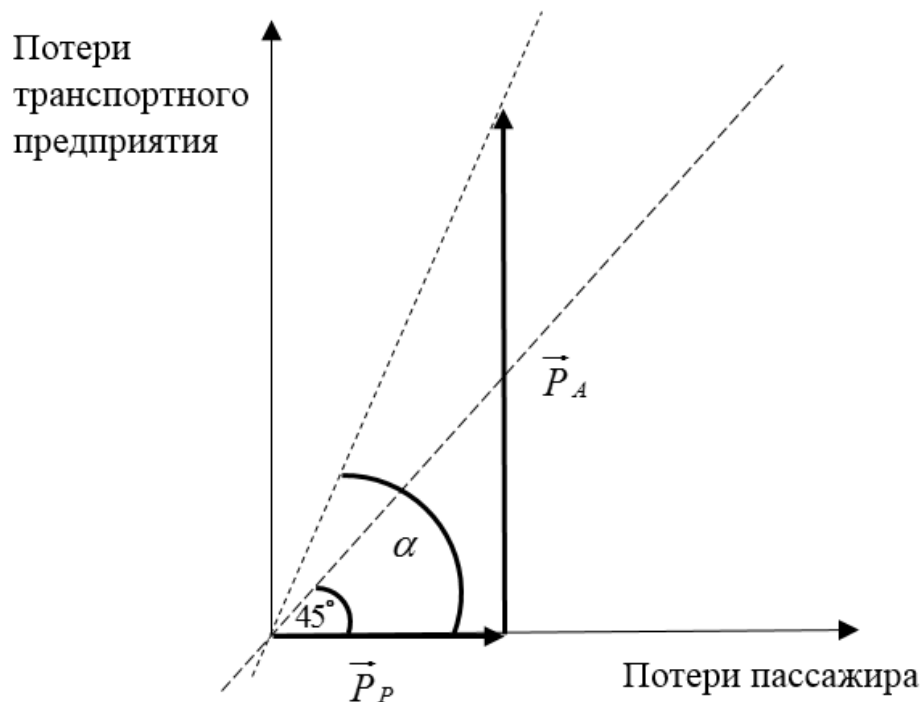


Рисунок 4.31 – Преобладание потерь транспортного предприятия над потерями пассажира

При $0 < K_{БП} < 1$ потери пассажира преобладают над потерями транспортного предприятия (рисунок 4.32).

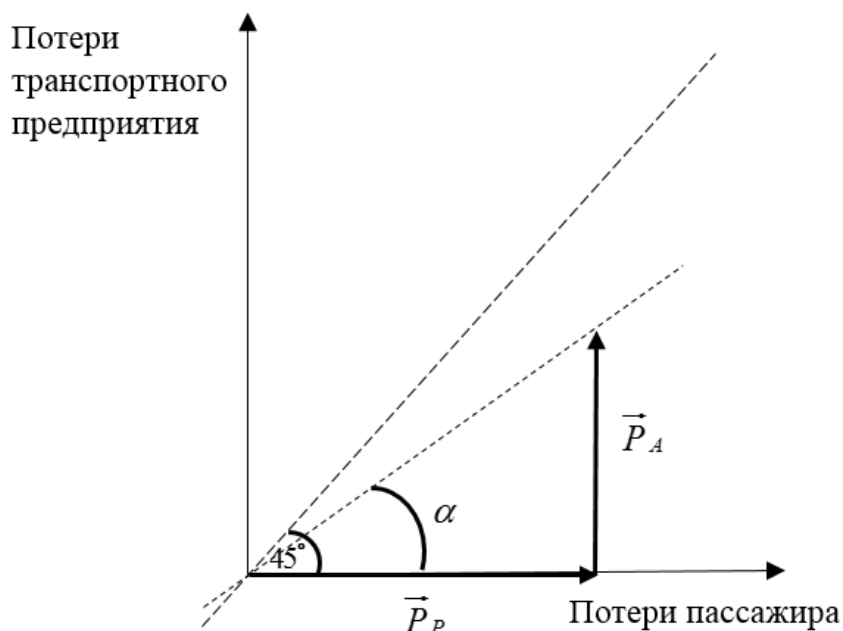


Рисунок 4.32 – Преобладание потерь транспортного предприятия над потерями пассажира

$K_{БП} = 1$ указывает на баланс между потерями транспортного предприятия и потерями пассажира (рисунок 4.33).

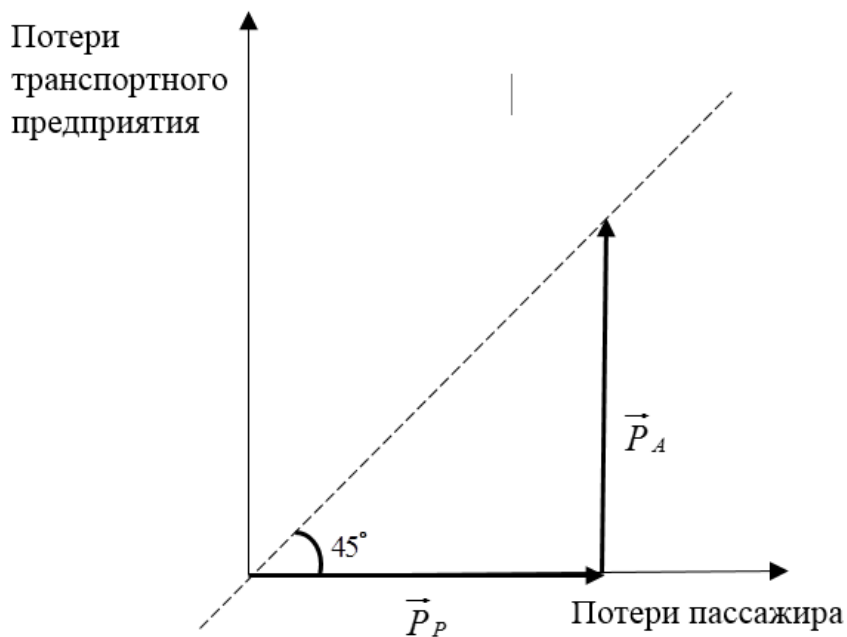


Рисунок 4.33 – Баланс между потерями транспортного предприятия и пассажира

Предложенная система оценки производимых перевозок в информационно-транспортной системе кассетно-конвейерного типа позволяет при помощи функции общих потерь $P(K_{НВ}, K_{ОСТ}, K_{ОП}, K_{ВП})$, а также радиус-вектора общих потерь \vec{P} выбрать наиболее оптимальный алгоритм среди имеющихся, а также определить соотношение потерь транспортного предприятия и пассажира.

4.8 Балансовая модель интересов

Различают два вида потерь перевозочного процесса:

- потери транспортного предприятия, P_A ;
- потери пассажира, P_P .

Потери транспортного предприятия P_A заключаются в недозагрузке транспортного средства на маршруте. Если полный объем транспортного средства (пассажировместимость) составляет V пассажиров, то на одного пассажира отводится $1/V$ объема транспортного средства. В случае, если в транспортном средстве едут r ($r < V$) пассажиров, то его недозагрузка составляет $P_A = V - r$. Произведение величины P_A на стоимость проезда составляет потери транспортного предприятия в денежном эквиваленте. На рисунке 4.34 изображен график этих потерь (ось абсцисс – время, ось ординат – потери транспортного предприятия). График потерь транспортного предприятия является ступенчатым, где размер ступеньки $1/V$ указывает на приход на остановку i очередного пассажира, желающего ехать до остановки j , и, как следствие, потери транспортного предприятия снижаются на эту величину.

Так, первый пассажир поступает на остановку i в момент времени t_1 (он фиксируется в элементе ij матрицы корреспонденций M). В момент времени t_2 к остановке i подошли еще два пассажира, которые конечным пунктом поездки указали остановку j . График потерь сразу понизился на две ступеньки и т. д.

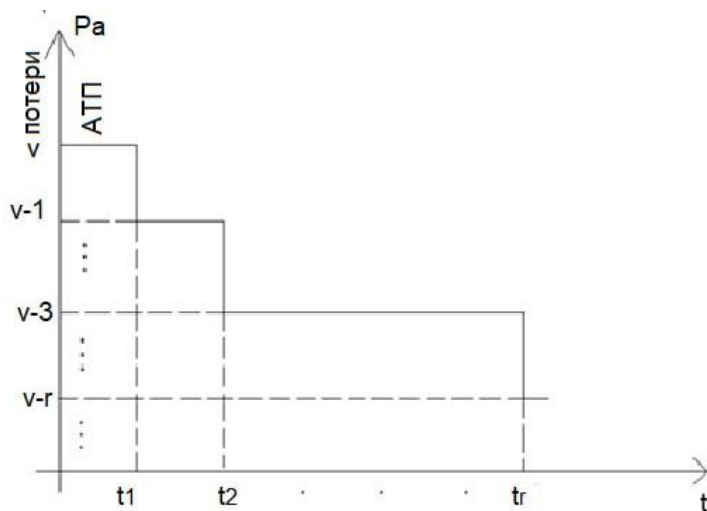


Рисунок 4.34 – График потерь ATP

Поступающие на остановку i пассажиры фиксируются в i -строке матрицы корреспонденций M . В некоторый момент времени t_r на остановке i оказывается число пассажиров, едущих до остановки j равно $r = m_{ij} = a*V$, $a \in [0.5, 1]$. Это является критерием и сигналом к началу перевозки, т.к. транспортное средство будет довольно полно загружено пассажирами одной остановки назначения (j), а потери P_A минимальны и составляют $V-r$. Единицей измерения потерь является один пассажир (пасс.). Коэффициент a регулирует уровень наполняемости транспортного средства пассажирами маршрута ij . При достижении требуемого уровня заполнения салона начинается перевозка. Положим, если установили $a = 0,8$, то при 80 % заполнении салона транспортного средства запускается процесс перевозки от остановки i к j .

Рассмотрим потери P_P пассажиров. Потери пассажиров P_P состоят в потере времени на ожидание транспортного средства. Потери P_P растут пропорционально времени ожидания с заданным коэффициентом пропорциональности. Также эти потери растут с числом ожидающих на остановке пассажиров.

На рисунке 4.35 представлен график потерь пассажира P_P . Точкой отсчета графика, так же, как и на графике на рисунке 4.34, является момент обнуления ячейки ij матрицы корреспонденций M_z , т. е. транспортное средство загрузилось пассажирами, едущими от i к j и отправилось с пассажирами по маршруту ij (от i к j). На остановке i не осталось пассажиров ij .

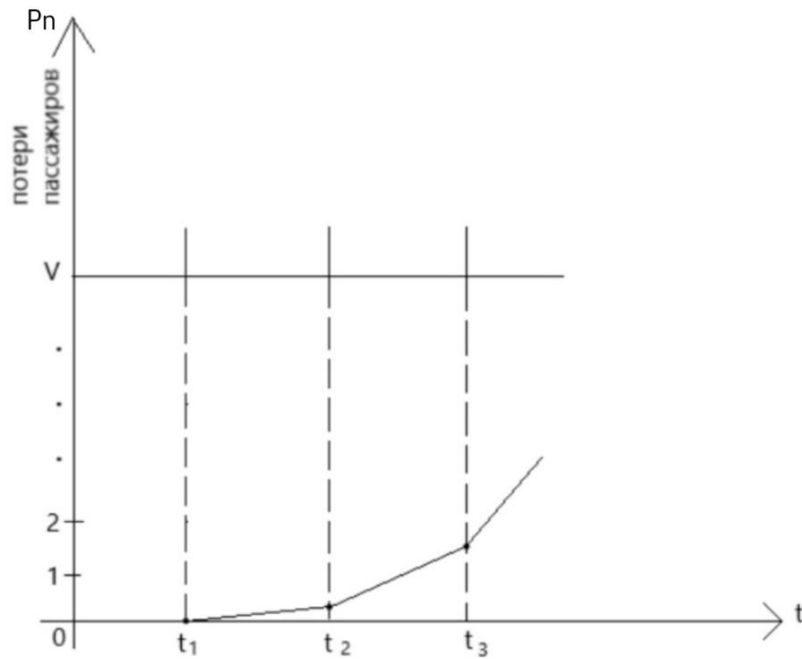


Рисунок 4.35 – График потерь пассажира

Пассажиры от остановки i к остановке j проезжают без промежуточных остановок. После отправки транспортного средства от остановки i к j начинается новый цикл и новый сбор пассажиров в ячейку ij матрицы корреспонденций M .

Пусть в момент времени t_1 от начала отсчета в систему поступает первый пассажир, который системой фиксируется в ij ячейке матрицы корреспонденций M_z . Если для расчета потерь P_A транспортного предприятия серверу системы достаточно данных матрицы корреспонденций M , то для расчета потерь пассажира P_P необходимо ввести матрицу событий M_c , в ij ячейке которой будет фиксироваться время поступления каждого пассажира маршрута ij на i -остановку. По этим данным M_c ИС ИТС производит расчет затрат потерь пассажира P_P , для каждой отдельной ячейки матрицы M_c .

Потери пассажира P_P измеряемые единицей времени, приведем к единице измерения «пасс.» (пассажир). Обозначим максимальное время терпеливого ожидания пассажиром транспорта через T . T может быть в границах от 10 до 20 минут. Это также один из устанавливаемых параметров многокритериальной задачи, определяющей контуры автоматической транспортной системы. Вторым параметром является коэффициент пропорциональности, которым устанавливается предпочтение (соотношение) между потерями транспортного предприятия и пассажиров. Этот коэффициент k непосредственно следует из перевода потерь по единице времени (минута) в единицу потерь «пасс». К примеру, пусть 20 минут эквивалентно 0,25 «пасс». Здесь «пасс» будет единицей измерения потерь. Тогда коэффициент k будет равен $0,25 / 20 = 0,0125$. Таким образом, время прихода t_1 (рисунок 4.35) первого пассажира ij (поездка от остановки i к j), записывается в ij ячейку матрицы M_c . Запишем уравнение роста потерь по времени для первого пассажира:

$$P_{1П} = k(t - t_1), T \geq t \geq t_1. \quad (4.44)$$

В момент времени t_2 к первому пассажиру добавился второй (рисунок 4.35). Теперь два пассажира определяют рост потерь. Уравнение потерь второго пассажира:

$$P_{2П} = k(t - t_2), T \geq t \geq t_2. \quad (4.45)$$

Запишем уравнение совместного роста потерь после события t_2 :

$$P_{12П} = k(t_2 - t_1) + 2k(t - t_2), T \geq t \geq t_2. \quad (4.46)$$

В момент времени t_3 подходит третий пассажир и уравнение общих потерь становится следующим:

$$P_{123П} = k(t_2 - t_1) + 2k(t_3 - t_2) + 3k(t - t_3), T \geq t \geq t_3. \quad (4.47)$$

Аналогичным образом можно записать общее уравнение потерь для r пассажиров пришедших на остановку к моменту времени t_r :

$$P_{12...rП} = k(t_2 - t_1) + 2k(t_3 - t_2) + 3k(t_4 - t_3) + \dots + rk(t - t_r), T \geq t \geq t_r. \quad (4.48)$$

Интересы транспортного предприятия и пассажира противоположны. Так увеличение времени ожидания пассажиром транспорта ведет к увеличению наполняемости транспортного средства, и наоборот. Транспортная система двухкомпонентна. К задаче эффективного управления относится обеспечение баланса между этими частями системы, чтобы интересы каждой компоненты были максимально учтены.

Для этого определим целевую функцию «Транспортное предприятие – Пассажир». Процесс взаимодействия частей системы иллюстрирует совмещенный график потерь P_A (рисунок 4.34) и потерь $P_{П}$ пассажира рисунок 4.35), представленный на рисунке 4.36.

Из графика на рисунке 4.36 видно, что потери транспортного предприятия снижаются с каждым новым пассажиром, а потери пассажиров растут с ростом времени ожидания. Рассмотрим варианты возможных случаев относительно времени T терпеливого ожидания пассажиром транспорта. Время T – это время, по истечении которого транспортное средство будет гарантированно подано пассажиру. Рассмотрим возможные случаи.

Пусть время терпеливого ожидания равно T_1 , как показано на рисунке 4.36. Следовательно, по истечении его пассажирам будет подано транспортное средство в момент t_4 , $(t_4 - t_1) = T_1$. В момент t_4 отправления транспортного средства от остановки i к остановке j потери транспортного предприятия выше потерь пассажиров ($G_1G_3 > G_2G_3$).

Если подать транспортное средство к остановке i через время терпеливого ожидания T_2 ($T_2 > T_1$), то потери транспортного предприятия и пассажиров станут равными (точка R). Точка R является точкой равновесия, где $P_A = P_P$.

Если дальше увеличивать время терпеливого ожидания, положим $T_3 > T_2$, то потери пассажиров начнут превышать потери транспортного предприятия.

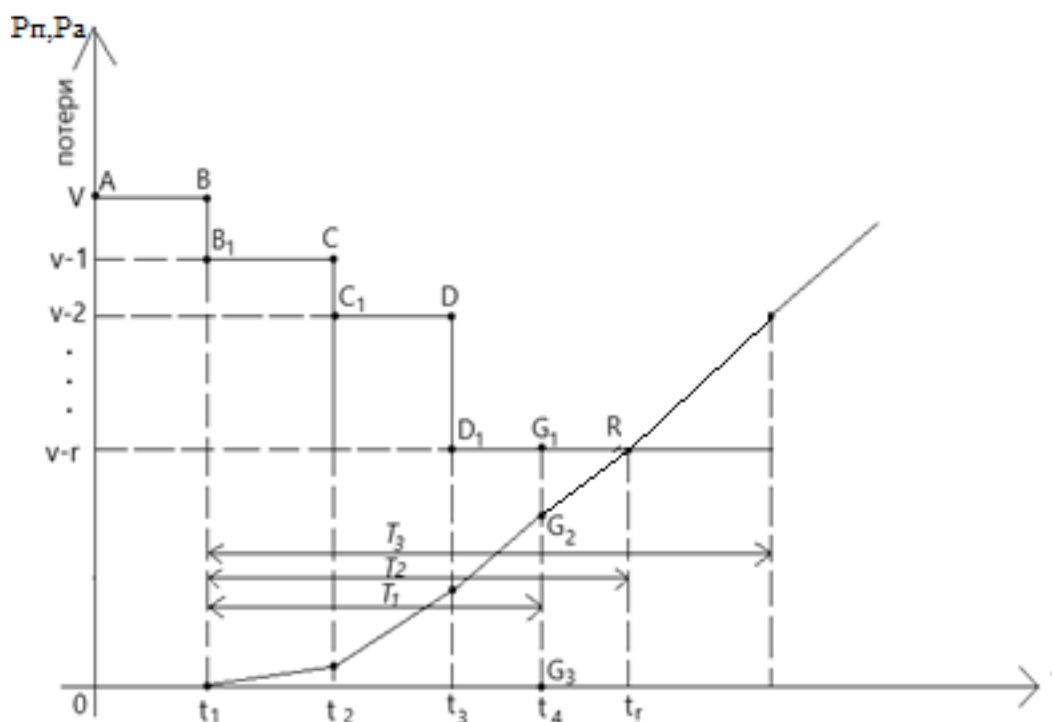


Рисунок 4.36 – Совмещенный график потерь АТП и пассажира

Таким образом, варьируя время T , через которое будет подано транспортное средство к остановке i для вывоза пассажиров до остановки j , можно получить различные результаты потерь между транспортным предприятием и пассажирами. Исследуем точку равновесия R .

Определим время события t_r , когда потери транспортного предприятия и пассажиров равны (точка равновесия R на рисунке 4.36). Точка равновесия R есть пересечение графика потерь P_A (горизонталь $V-r$) с графиком потерь P_P . В точке R число пассажиров m_{ij} , следующих с остановки от i до j , равно r . Итак, в точке R :

$$P_A = V - r = P_{12...rn} = k(t_2 - t_1) + 2k(t_3 - t_2) + \dots + (r-1)k(t_r - t_{r-1}) + rk(t - t_r). \quad (4.49)$$

Последний член многочлена $P_{12...rn}$ при $t = t_r$ равен нулю. Из уравнения (6) вычислим время t_r :

$$t_r = \frac{(V - r) - k(t_2 - t_1) - 2k(t_3 - t_2) - \dots - (r-1)kt_{r-1}}{(r-1)k}. \quad (4.50)$$

Чем ближе точка R находится к оси абсцисс $0t$ (отрезок Rt_r), тем лучший результат перевозки как для транспортного предприятия, так и для пассажиров. Общие потери $P_A + P_P$ в точке R равны $2(V-r)$. Таким образом, устанавливать баланс потерь между транспортным предприятием и пассажирами можно путем задания коэффициента k и времени терпеливого ожидания T .

Составим целевую функцию общих потерь:

$$Z(t) = P_A + P_{II} = (V - r) + k(t_2 - t_1) + 2k(t_3 - t_2) + \dots + rk(t - t_r), t \leq T. \quad (4.51)$$

Ясно, что это целевая функция на минимум. В различных оптимизационных задачах, например, линейного программирования, таких, как оптимизация плана производства и др., можно найти однозначное решение для целевой функции.

В данном случае также возможно найти решение в виде времени t , когда значение целевой функции $Z(t)$ минимальное. Для этого необходимо вычислить $Z(t_1), Z(t_2), \dots, Z(t_r)$ и выбрать минимальное решение для оптимизации потерь. Непосредственно, в реальном времени это сделать невозможно, так как события $t_1, t_2 \dots t_r$ уже произошли. Постфактум можно выполнять сбор статистики и устанавливать, насколько эффективно выполняется перевозочный процесс. Изменением коэффициента пропорциональности k , устанавливающим предпочтение между потерями транспортного предприятия и пассажиров, а также временем T , влиять на его эффективность.

Данная методика позволяет на основе расчетов потерь, которые несут стороны перевозочного процесса (перевозчик и пассажир), определить оптимальный баланс их интересов [110, 111] и на основе полученных сведений организовывать пассажирскую перевозку.

Выводы

1. Кассетно-конвейерная технология – это новый подход в организации и управлении городскими пассажирскими перевозками. Основные ее постулаты:

- минимальная транспортная единица – это автономный беспилотный электрокар, называемый инфобусом, способный совместно с другими инфобусами образовывать транспортное средство нужной вместимости, объединяясь в кассету;

- движение транспортных средств осуществляется последовательно, без обгонов по выделенному пути (перекрестки преодолеваются по эстакадам или подземным туннелям);

- перевозка комбинирует скоростной и обычный режимы с превалированием скоростного;

- управление перевозкой производится интеллектуальной информационной системой «в режиме реального времени», осуществляющей постоянный сбор и анализ данных о спросе на перевозку.

2. Кассетно-конвейерная технология породила новый тип пассажирских транспортных систем – информационно-транспортную систему кассетно-конвейерного типа, включающую в себя парк инфобусов, регулярный маршрут с выделенной линией для движения транспортных средств, терминалы для сбора заявок на перевозку, управляющую систему – информационный сервер ИТС и интеллектуальные алгоритмы организации перевозки.

3. Целью ИТС кассетно-конвейерного типа является осуществление перевозочного процесса на основе баланса интересов транспортного предприятия и пассажиров при минимизации потерь как тех, так и других.

Глава 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КАССЕТНО-КОНВЕЙЕРНОЙ ПЕРЕВОЗКИ

5.1 Система моделирования спроса на перевозку

Для анализа эффективности кассетно-конвейерной технологии необходимы точные данные корреспонденций на маршруте, планов перевозок и т.д. В силу неразвитости, а зачастую и полного отсутствия инфраструктуры для точного сбора данных о спросе на перевозку, процесс получения требуемых сведений является в лучшем случае дорогостоящим для реализации.

Выходом в складывающейся ситуации может послужить система, позволяющая моделировать поступление заявок на перевозку в информационно-транспортную систему, с помощью которой будет возможна максимально близкая имитация реальных процессов [112]. Такая система далее будет называться системой имитации спроса на перевозку (СИСП). Ее основное назначение – воспроизведение поступления заявок пассажиров в транспортную систему в «режиме реального времени» и регистрация их в ССЗ. Поток регистрируемых заявок должен максимально близко повторять пассажиропоток на маршруте как в разрезе корреспонденций, так и в разрезе часовых интервалов суток.

Спрос на перевозку напрямую влияет на величину пассажиропотоков на маршруте и величину суточного пассажирообмена на остановках. Здесь под пассажиропотоком понимается движение пассажиров в одном направлении маршрута, а под суточным пассажирообменом – количество зашедших на остановку пассажиров и ушедших с нее за сутки.

«Только при наличии данных об ожидаемом размере и характере периодических изменений пассажиропотоков представляется возможным обосновать направления и выбрать рациональную трассу маршрутов, определить потребное количество автобусов по часам суток, их типы и вместимость, рассчитать рациональную систему организации движения автобусов по маршрутам и выполнить разработку необходимых маршрутных расписаний. Одновременно с выявлением закономерностей распределения пассажиропотоков на автобусной сети в целом и каждому маршруту в отдельности важно выявить пассажирообмен на остановочных пунктах по периодам дня, изменения корреспонденции поездок пассажиров, объем перевозок и дальность поездки пассажиров по маршрутам и городу в целом по часам суток.» [64].

В качестве основных требований к системе имитации спроса на перевозку были выбраны следующие:

- генерирование поступающих в информационно-транспортную систему заявок в режиме реального времени;
- смоделированный поток заявок на перевозку, который по своему характеру должен быть максимально приближен к реальному процессу спроса на перевозку;
- эталоном для моделирования выступают реальные данные суточного пассажирообмена на остановках маршрута.

При этом были сделаны следующие допущения:

- разницей в величинах пассажиропотоков в противоположных направлениях можно пренебречь, т. е. предполагается, что они примерно равны;
- пассажир, зашедший на остановку, может поехать с нее как в сторону одной конечной остановки, так и в сторону другой;
- потоки на остановке на вход и выход примерно равны;
- моделирование спроса на перевозку будет осуществляться только для одного направления (т. к. процессы в другом направлении симметричны).

5.1.1 Функционирование системы имитации спроса на перевозку.

За основу способа моделирования взято построение матриц интенсивностей корреспонденций Λ_t на маршруте из k остановок на каждый часовой интервал суток, $t = \overline{0, 23}$ (рисунок 5.1).

$$\Lambda_t = \begin{pmatrix} 0 & \lambda_{12}^t & \lambda_{13}^t & \dots & \dots & \dots & \dots & \lambda_{1k}^t \\ \lambda_{21}^t & 0 & \lambda_{23}^t & \dots & \dots & \dots & \dots & \lambda_{2k}^t \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{i1}^t & \dots & 0 & \lambda_{ii+1}^t & \dots & \dots & \dots & \lambda_{ik}^t \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{k-11}^t & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & \lambda_{k-1k}^t \\ \lambda_{k1}^t & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \lambda_{kk-1}^t & 0 \end{pmatrix}, t = \overline{0, 23}$$

Рисунок 5.1 – Матрица интенсивностей

где t – часовой интервал суток (например, $t = 0$ – это время с 00:00:00 до 00:59:59 и т. д.) $\lambda_{ij}^t, i = \overline{1, k}, j = \overline{1, k}$, – количество заявок в секунду на перевозку с остановки i на остановку j , в течение интервала t , называемое интенсивностью корреспонденции ij .

Матрицы интенсивностей корреспонденций $\Lambda_t, t = \overline{0, 23}$ рассчитываются единожды и хранятся в базе данных. В начале каждого временного интервала $t, t = \overline{0, 23}$ СИСП считывает матрицу Λ_t для данного часового интервала и строит план генерации заявок, который выполняет в течение соответствующего часа, отправляя заявки в систему сбора заявок (ССЗ) информационного сервера транспортной системы (рисунок 5.2).

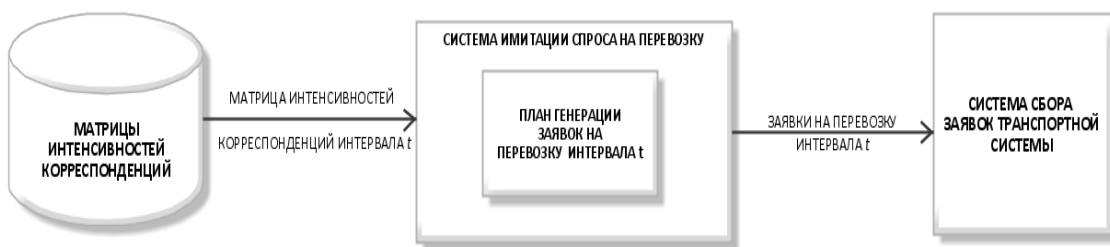


Рисунок 5.2 – Схема работы системы имитации спроса на перевозку

5.1.2 Определение параметров заявки. Каждая генерируемая заявка на перевозку имеет фиксированную структуру, рисунок 5.3.

ID [PK] integer	Origin integer	Destination integer	SeatsNumber integer	TimeRequest timestamp without time zone
44095	1	5	1	2023-03-19 09:12:10.551403
44096	5	6	1	2023-03-19 09:12:11.551403
44097	2	10	1	2023-03-19 09:12:13.551403
44098	7	8	1	2023-03-19 09:12:13.551403
44099	6	7	1	2023-03-19 09:12:14.551403
44100	2	14	1	2023-03-19 09:12:15.551403
44101	9	11	1	2023-03-19 09:12:15.551403

Рисунок 5.3 – Структура заявок на перевозку в базе данных

где ID – идентификатор заявки, присваиваемый системой сбора заявок, $Origin$ – идентификатор остановки отправления, $Destination$ – идентификатор остановки назначения, $SeatsNumber$ – число мест в заявке (по умолчанию 1), $TimeRequest$ – время поступления заявки в систему.

Для каждой остановки отправления $i, i = \overline{1, k-1}$ СИСП создает отдельный программный поток, внутри которого генерируются заявки с остановки i на последующие остановки в соответствии с созданным планом генерации заявок. Заявки являются последовательностью однородных независимых событий, наступающих одно за другим через промежуток времени, рассчитываемый согласно соотношению:

$$t_n = t_{n-1} - \frac{\ln(Rand)}{\sum_{j=i+1}^k \lambda_{ij}}, i = \overline{1, k-1}, Rand \in (0, 1), n = 1, 2, \dots, \quad (5.1)$$

где $Rand$ – случайно сгенерированное действительное число из промежутка $(0, 1)$. Полученное значение времени становится в заявке значением $TimeRequest$.

Остановки назначения для корреспонденций с остановки i отбираются из множества $\{i+1, \dots, k\}$ по методу пропорционального выбора, известному еще как «*fitness proportionate selection*» [113] или «*метод рулетки*». Метод заключается в случайном выборе элемента из некоторого множества пропорционально его удельному весу в этом множестве: чем больше удельный вес элемента, тем больше вероятность его случайного выбора.

Рассмотрим метод на конкретном примере. Интенсивности заявок на перевозку с остановки i на дальнейшие остановки $j, j = \overline{i+1, k}$ в рассматриваемом временном интервале t располагаются в соприкасающиеся отрезки прямой. Длина каждого отрезка соответствует величине интенсивности корреспонденции ij (рисунок 5.4).

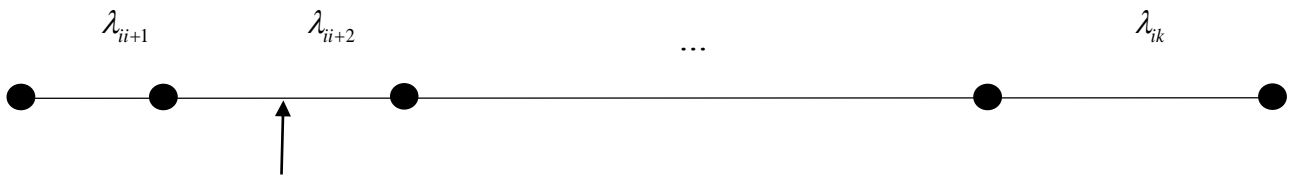


Рисунок 5.4 – Принцип пропорционального выбора

Генерируется случайное число из промежутка действительных чисел $[0.0000001, \sum_{j=i+1}^k \lambda_{ij}]$, после чего отбирается остановка, в чей отрезок оно попало. Таким образом, выбор остановок с большей привлекательностью для поездок будет осуществляться с большей частотой.

5.1.3 Определение матрицы интенсивностей корреспонденций. Каждая матрица интенсивностей корреспонденций Λ_t для временного интервала $t, t = \overline{0, 23}$ имеет размерность $k \times k$. А каждый элемент матрицы $\lambda_{ij}, i = \overline{1, k}, j = \overline{1, k}, j \neq i$ равен числу поступающих заявок в единицу времени (в рассматриваемом случае в секунду) с остановки i на остановку j . Очевидно, что элементы на главной диагонали матрицы равны нулю (т. к. предполагается, что пассажир не может оставаться на той же остановке). Таким образом, можно утверждать, что величина $\lambda_i = \sum_{j=1, j \neq i}^k \lambda_{ij}, i = \overline{1, k}$ есть число зашедших пассажиров на остановку i в единицу времени (в рассматриваемом случае в секунду).

Матрица «привлекательности» остановок. Для построения матрицы Λ_t нужна вспомогательная матрица, отражающая «привлекательность» остановки j для пассажиров с остановки i , называемая матрицей «привлекательности» остановок.

Частота совершаемых корреспонденций с остановки i на остановку j зависит от «привлекательности» остановки j для поездок с остановки i . Определить величину «привлекательности» можно по данным суточного пассажирообмена на остановках маршрута (чем выше величина пассажирообмена на остановке, тем чаще туда едут с других остановок) как отношение величины пассажирообмена на остановке j к суммарному пассажирообмену на всех остановках маршрута, без учета пассажирообмена на остановке i :

$$\begin{cases} p_{ij} = \frac{d_j}{\sum_{s=1, k, s \neq i} d_s}, i \neq j, i = \overline{1, k}, j = \overline{1, k} \\ p_{ij} = 0, i = j, i = \overline{1, k}, j = \overline{1, k} \end{cases}, \quad (5.2)$$

где p_{ij} – величина «привлекательности» остановки j для поездок с остановки i в течении суток; d_j – суточная величина пассажирообмена на остановке j ; $\sum_{s=1, k, s \neq i} d_s$ – суточный суммарный пассажирообмен на всех остановках маршрута, без учета пассажирообмена на остановке i .

Используя значения p_{ij} , можно получить матрицу «привлекательности» остановок маршрута P :

$$P = \begin{pmatrix} 0 & p_{12} & p_{13} & \dots & \dots & \dots & \dots & p_{1k} \\ p_{21} & 0 & p_{23} & \dots & \dots & \dots & \dots & p_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{i1} & \dots & 0 & p_{ii+1} & \dots & \dots & \dots & p_{ik} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{k-11} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & p_{k-1k} \\ p_{k1} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}, \quad (5.3)$$

Распределение объемов корреспонденций между остановками маршрута за сутки. Каждая строка $p_i, i = \overline{1, k}$ матрицы P содержит информацию о характере распределения потока корреспонденций с остановки i на другие остановки маршрута в течение суток, а произведение величины d_i (суточного пассажирообмена на остановке i) на строку p_i матрицы P показывает распределение объемов корреспонденций с остановки $i, i = \overline{1, k}$ на другие остановки маршрута за сутки:

$$d_i \times p_i = (d_i p_{i1}, \dots, d_i p_{ii-1}, 0, d_i p_{ii+1}, \dots, d_i p_{ik}), i = \overline{1, k}. \quad (5.4)$$

Распределение объемов корреспонденций по часовым интервалам суток. В течение суток спрос на перевозку подвергается колебаниям. Например, максимальные его пики в рабочие дни достигаются в часовые интервалы, когда трудовая часть населения едет на работу или учебу и обратно, а в выходные и праздничные дни максимум спроса на перевозку достигается в середине дня. Поэтому для создания адекватной модели спроса на перевозку необходимо распределить суточные объемы корреспонденций по часовым интервалам суток.

Для решения этой задачи используются данные распределения суточного пассажирообмена по часовым интервалам суток, благодаря которым строятся весовые коэффициенты часовых интервалов суток $w_t, t = \overline{0, 23}$, отражающие долю суточного пассажирообмена, приходящегося на данный часовой интервал:

$$w_t = \frac{p_t}{\sum_{s=0}^{23} p_s}, t = \overline{0, 23}, \quad (5.5)$$

где p_t – пассажирообмен часового интервала $t, t = \overline{0, 23}$; $\sum_{s=0}^{23} p_s$ – суммарный пассажирообмен по всем часовым интервалам.

Матрица интенсивностей корреспонденций. Совокупность произведений $w_t \times d_i \times p_i, i = \overline{1, k}, t = \overline{0, 23}$, где w_t – весовой коэффициент часового интервала, $d_i \times p_i$ – объемы корреспонденций между остановкой $i, i = \overline{1, k}$ и другими остановками маршрута за сутки (5.4) образует матрицу интенсивностей Λ_t на часовой интервал $t, t = \overline{0, 23}$:

$$\Lambda_t = \begin{pmatrix} 0 & \dots & w_t \times d_1 \times p_{13} & \dots & \dots & \dots & \dots & w_t \times d_1 \times p_{1k} \\ w_t \times d_2 \times p_{12} & 0 & w_t \times d_2 \times p_{23} & \dots & \dots & \dots & \dots & w_t \times d_2 \times p_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_t \times d_i \times p_{i1} & \dots & 0 & w_t \times d_i \times p_{i+1} & \dots & \dots & \dots & w_t \times d_i \times p_{ik} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_t \times d_{k-1} \times p_{k-11} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & w_t \times d_{k-1} \times p_{k-1k} \\ w_t \times d_k \times p_{k1} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & w_t \times d_k \times p_{kk-1} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \lambda_{12}^t & \lambda_{13}^t & \dots & \dots & \dots & \dots & \lambda_{1k}^t \\ \lambda_{21}^t & 0 & \lambda_{23}^t & \dots & \dots & \dots & \dots & \lambda_{2k}^t \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{i1}^t & \dots & 0 & \lambda_{i+1}^t & \dots & \dots & \dots & \lambda_{ik}^t \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{k-11}^t & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & \lambda_{k-1k}^t \\ \lambda_{k1}^t & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \lambda_{kk-1}^t & 0 \end{pmatrix},$$

Таким образом, для каждого интервала $t, t = \overline{0, 23}$ получается своя матрица интенсивностей. Всего в зависимости от режима работы транспортной системы матриц может быть до двадцати четырех.

5.1.4 Моделирование спроса на перевозку. Основой для определения суточных объемов корреспонденций послужили данные пассажирообмена на остановках Московской линии метрополитена г. Минска [114], рис. 5.4 (маршрут отмечен синим цветом). Для распределения суточных объемов корреспонденций по часовым интервалам были использованы данные пассажирообмена по часам суток Петербургского метрополитена [115]. Оба набора данных представлены в открытом доступе и являют собой типичный характер распределения пассажирообмена как во времени, так и маршруту (рисунки 5.5 и 5.8).

Для дальнейших рассуждений остановки маршрута Московской линии метро г. Минска пронумерованы: 1 – «Уручье», 2 – «Борисовский тракт», 3 – «Восток», ..., 14 – «Петровщина». Данные пассажирообмена сведены в таблицу 5.1 (строка d_i).

Таблица 5.1 – Суточный пассажирообмен на станциях Московской линии метро г. Минска

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
d_i	46770	12556	21714	29841	13703	46392	65951	36271	38820	85569	47411	10698	12636	49557
$\frac{d_i}{4}$	11693	3139	5429	7460	3426	11598	16488	9068	9705	21392	11853	2675	3159	12389

Исходя из возможностей используемого аппаратного обеспечения, для моделирования все объемы пассажирообменов были уменьшены в 4 раза (строка $\frac{d_i}{4}$), что никаким образом не повлияло на характер распределения пассажирообмена по остановкам маршрута.

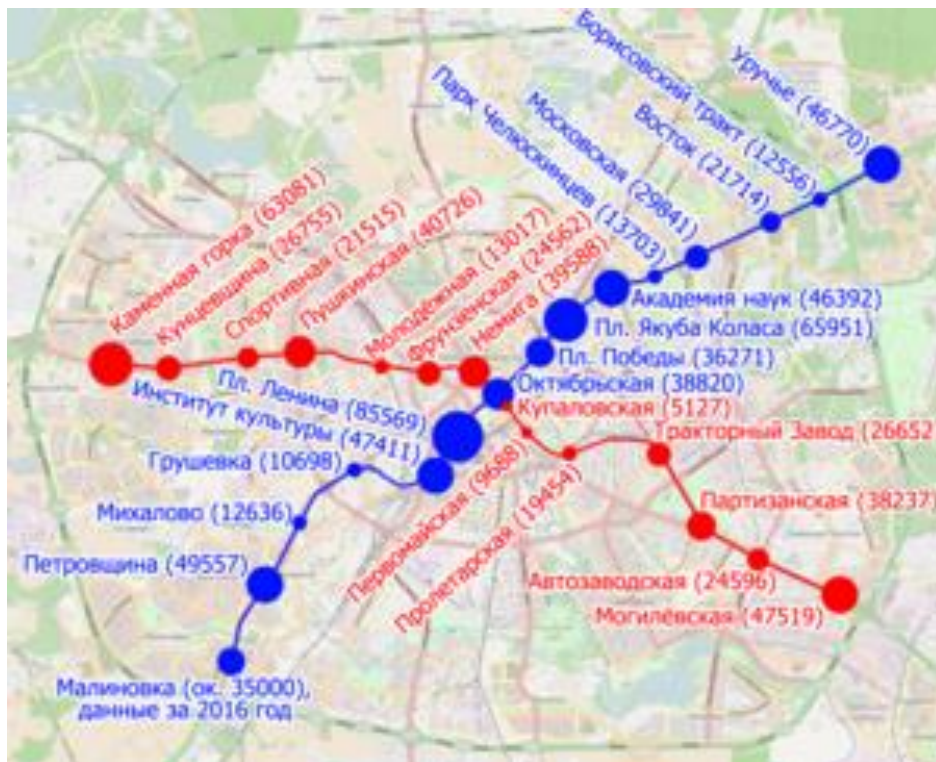


Рисунок 5.4 – Данные суточного пассажирообмена на остановках Московской линии Минского метрополитена

На рисунке 5.5 представлена диаграмма суточного пассажирообмена на остановках Московской линии метро г. Минска:

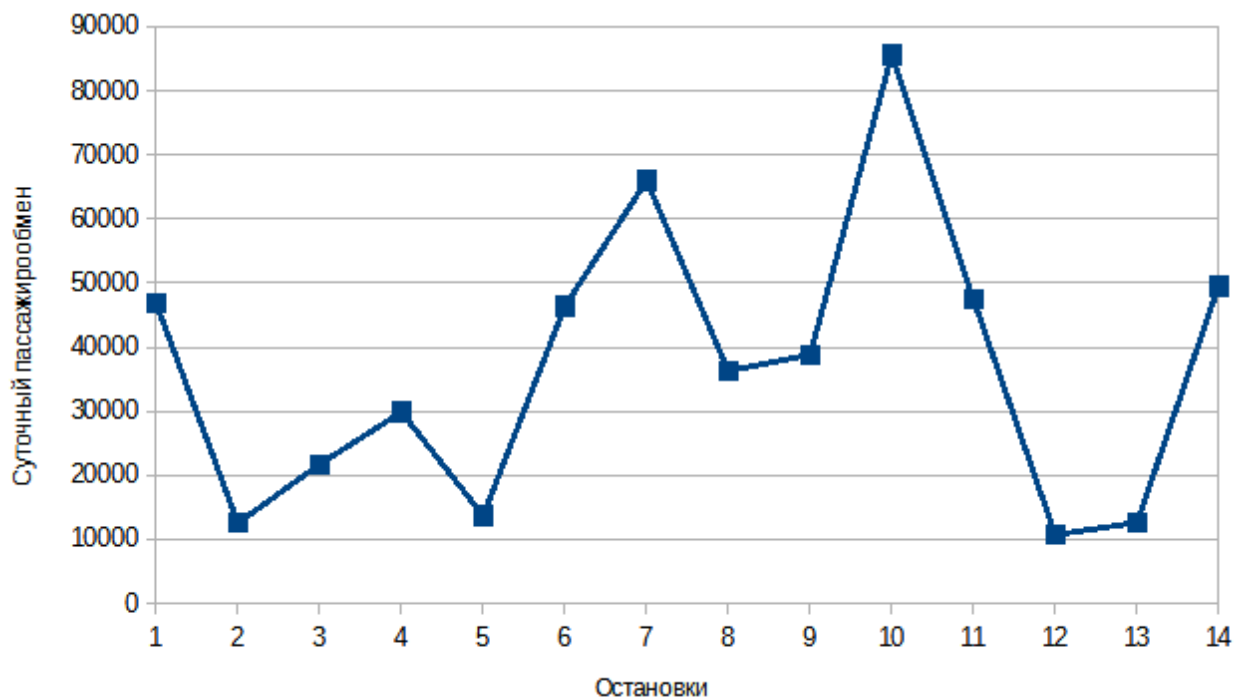


Рисунок 5.5 – Диаграмма суточного пассажирообмена по остановкам Московской линии метрополитена г. Минска

Согласно таблице 5.1 и соотношению (5.2) матрица P примет вид (рисунок 5.6):

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	0,02665	0,04609	0,06334	0,02909	0,09847	0,13999	0,07699	0,0824	0,18163	0,10063	0,02271	0,02682	0,10519
2	0,09255	0	0,04297	0,05905	0,02712	0,0918	0,13051	0,07178	0,07682	0,16933	0,09382	0,02117	0,02501	0,09807
3	0,09426	0,02531	0	0,06014	0,02762	0,0935	0,13292	0,0731	0,07824	0,17246	0,09555	0,02156	0,02547	0,09988
4	0,09583	0,02573	0,04449	0	0,02808	0,09506	0,13513	0,07432	0,07954	0,17533	0,09714	0,02192	0,02589	0,10154
5	0,09276	0,0249	0,04307	0,05919	0	0,09201	0,13081	0,07194	0,077	0,16972	0,09403	0,02122	0,02506	0,09829
6	0,09919	0,02663	0,04605	0,06329	0,02906	0	0,13988	0,07693	0,08233	0,18148	0,10055	0,02269	0,0268	0,10511
7	0,10349	0,02778	0,04805	0,06603	0,03032	0,10265	0	0,08026	0,0859	0,18934	0,10491	0,02367	0,02796	0,10965
8	0,09711	0,02607	0,04509	0,06196	0,02845	0,09633	0,13694	0	0,0806	0,17767	0,09844	0,02221	0,02624	0,1029
9	0,09763	0,02621	0,04533	0,06229	0,0286	0,09684	0,13766	0,07571	0	0,17862	0,09896	0,02233	0,02638	0,10344
10	0,10818	0,02904	0,05023	0,06903	0,0317	0,10731	0,15255	0,0839	0,08979	0	0,10967	0,02475	0,02923	0,11463
11	0,09941	0,02669	0,04615	0,06343	0,02913	0,09861	0,14018	0,07709	0,08251	0,18188	0	0,02274	0,02686	0,10533
12	0,09221	0,02476	0,04281	0,05884	0,02702	0,09147	0,13003	0,07151	0,07654	0,16871	0,09348	0	0,02491	0,09771
13	0,09257	0,02485	0,04298	0,05906	0,02712	0,09182	0,13053	0,07179	0,07683	0,16936	0,09384	0,02117	0	0,09808
14	0,09987	0,02681	0,04636	0,06372	0,02926	0,09906	0,14082	0,07745	0,08289	0,18271	0,10123	0,02284	0,02698	0

Рисунок 5.6 – Матрица P

Используя матрицу P и значения суточного пассажирообмена на остановках $\frac{di}{4}$, можно получить распределение суточных объемов корреспонденций с каждой остановки i , $i = 1 \dots 14$ на другие остановки маршрута j , $j = 1 \dots 14$ согласно формуле (5.4), рисунок 5.7.

Пассажирообмен	(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
11693	1	0	312	539	741	340	1151	1637	900	963	2124	1177	266	314	1230
3139	2	290,5233	0	134,8818	185,3647	85,11955	288,1753	409,6708	225,3062	241,14	531,5329	294,5051	66,45325	78,49162	307,8355
5429	3	511,7435	137,384	0	326,5114	149,9342	507,6075	721,6163	396,8665	424,757	936,2707	518,7571	117,0543	138,2594	542,238
7460	4	714,8973	191,9233	331,9068	0	209,4556	709,1194	1008,086	554,4161	593,3785	1307,955	724,6952	163,523	193,1461	757,4977
3426	5	317,8074	85,31942	147,549	202,7729	0	315,2388	448,1444	246,4655	263,7862	581,4509	322,163	72,6941	85,86303	336,7453
11598	6	1150,46	308,8556	534,1264	734,0363	337,0698	0	1622,279	892,203	954,904	2104,847	1166,228	263,1521	310,8235	1219,015
16488	7	1706,304	458,079	792,1893	1088,686	499,9249	1692,514	0	1323,271	1416,265	3121,804	1729,69	390,2939	460,9977	1807,982
9068	8	880,5949	236,4069	408,8355	561,8523	258,0028	873,4779	1241,739	0	730,9107	1611,11	892,6638	201,4241	237,9131	933,0691
9705	9	947,4686	254,36	439,8831	604,5202	277,596	939,8111	1336,038	734,7794	0	1733,46	960,454	216,7205	255,9806	1003,928
21392	10	2314,267	621,2943	1074,449	1476,588	678,05	2295,563	3263,378	1794,757	1920,886	0	2345,985	529,357	625,2528	2452,173
11853	11	1178,301	316,3299	547,0522	751,8	345,2269	1168,778	1661,538	913,7944	978,0127	2155,785	0	269,5203	318,3454	1248,516
2675	12	246,6719	66,22219	114,5228	157,3858	72,27164	244,6782	347,8353	191,2986	204,7424	451,3035	250,0526	0	66,64412	261,3709
3159	13	292,4207	78,50404	135,7627	186,5753	85,67545	290,0573	412,3463	226,7777	242,7148	535,0042	296,4284	66,88725	0	309,8459
12389	14	1237,228	332,1496	574,4103	789,3976	362,4917	1227,229	1744,632	959,4933	1026,923	2263,596	1254,185	282,9991	334,2659	0

Рисунок 5.7 – Матрица распределения суточных объемов корреспонденций по остановкам маршрута

Так, например, данные элемента (1, 2) на рисунке 5.7 можно интерпретировать как то, что с первой остановки маршрута на вторую остановку за сутки переезжает порядка 312 человек и т. д.

В таблице 5.2 представлены данные пассажирообмена по часам суток в Петербургском метрополитене, а также весовые коэффициенты часовых интервалов суток, w_i .

Таблица 5.2 – Пассажиروбмен по часам суток

t	dt	w_t
06:00:00-06:59:59	41976	0,018095053346266
07:00:00-07:59:59	114959	0,049556633257894
08:00:00-08:59:59	242195	0,104405647160254
09:00:00-09:59:59	191858	0,082706326112728
10:00:00-10:59:59	131463	0,056671193016489
11:00:00-11:59:59	103900	0,044789309192801
12:00:00-12:59:59	102086	0,044007328375903
13:00:00-13:59:59	103409	0,044577648453497
14:00:00-14:59:59	106585	0,045946761504473
15:00:00-15:59:59	119003	0,051299924560836
16:00:00-16:59:59	136625	0,058896432805259
17:00:00-17:59:59	186563	0,080423752559543
18:00:00-18:59:59	255500	0,110141179006358
19:00:00-19:59:59	174185	0,075087832740597
20:00:00-20:59:59	120201	0,0518163595215
21:00:00-21:59:59	88577	0,038183856018968
22:00:00-22:59:59	63555	0,027397348852247
23:00:00-23:59:59	37110	0,015997413514387

На рисунке 5.8 представлена диаграмма распределения пассажирубмена по часовым интервалам.

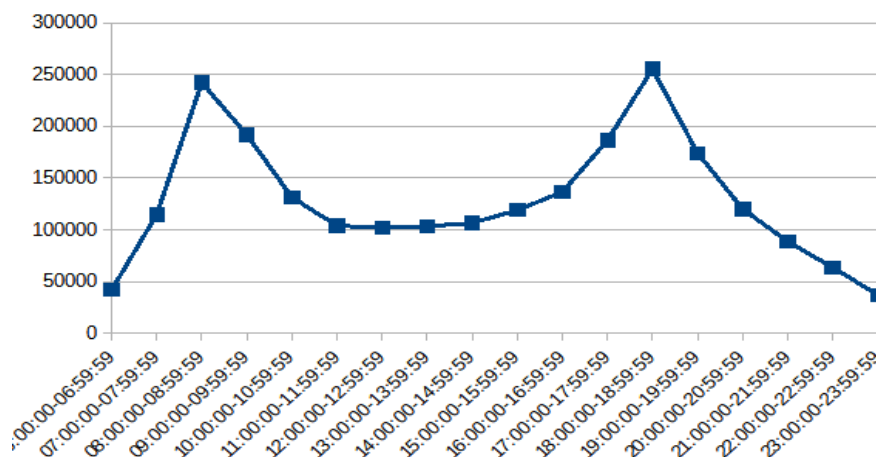


Рисунок 5.8 – Диаграмма распределения пассажирубмена по часовым интервалам

Суточный объем корреспонденций между остановками маршрута (матрица распределения корреспонденций) распределяется пропорционально весовым коэффициентам часовых интервалов w_t . В результате образуется 24 матрицы интенсивностей корреспонденций $\Lambda_t, t=0,23$ на каждый часовой интервал t суток, которые используются СИСП для планов генерации заявок.

В таблице 5.3 представлена матрица интенсивностей Λ_6 для часового интервала $t = 6$ (06:00:00 – 06:59:59). Каждое значение равно частоте поступления заявки в секунду.

Таблица 5.3 – Матрица интенсивностей корреспонденций Λ_6

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	0,00157	0,00271	0,00372	0,00171	0,00579	0,00823	0,00452	0,00484	0,01068	0,00592	0,00134	0,00158	0,00618
2	0,00146	0	0,00068	0,00093	0,00043	0,00145	0,00206	0,00113	0,00121	0,00267	0,00148	0,00033	0,00039	0,00155
3	0,00257	0,00069	0	0,00164	0,00075	0,00255	0,00363	0,00199	0,00213	0,00471	0,00261	0,00059	0,00069	0,00273
4	0,00359	0,00096	0,00167	0	0,00105	0,00356	0,00507	0,00279	0,00298	0,00657	0,00364	0,00082	0,00097	0,00381
5	0,0016	0,00043	0,00074	0,00102	0	0,00158	0,00225	0,00124	0,00133	0,00292	0,00162	0,00037	0,00043	0,00169
6	0,00578	0,00155	0,00268	0,00369	0,00169	0	0,00815	0,00448	0,0048	0,01058	0,00586	0,00132	0,00156	0,00613
7	0,00858	0,0023	0,00398	0,00547	0,00251	0,00851	0	0,00665	0,00712	0,01569	0,00869	0,00196	0,00232	0,00909
8	0,00443	0,00119	0,00205	0,00282	0,0013	0,00439	0,00624	0	0,00367	0,0081	0,00449	0,00101	0,0012	0,00469
9	0,00476	0,00128	0,00221	0,00304	0,0014	0,00472	0,00672	0,00369	0	0,00871	0,00483	0,00109	0,00129	0,00505
10	0,01163	0,00312	0,0054	0,00742	0,00341	0,01154	0,0164	0,00902	0,00966	0	0,01179	0,00266	0,00314	0,01233
11	0,00592	0,00159	0,00275	0,00378	0,00174	0,00587	0,00835	0,00459	0,00492	0,01084	0	0,00135	0,0016	0,00628
12	0,00124	0,00033	0,00058	0,00079	0,00036	0,00123	0,00175	0,00096	0,00103	0,00227	0,00126	0	0,00033	0,00131
13	0,00147	0,00039	0,00068	0,00094	0,00043	0,00146	0,00207	0,00114	0,00122	0,00269	0,00149	0,00034	0	0,00156
14	0,00622	0,00167	0,00289	0,00397	0,00182	0,00617	0,00877	0,00482	0,00516	0,01138	0,0063	0,00142	0,00168	0

В таблице 5.4. представлены сводные данные пассажирообмена на остановках маршрута, полученные на основе экспериментальных результатов моделирования спроса на перевозку с помощью СИСП.

Таблица 5.4 – Результаты моделирования

ЧАСОВЫЕ ИНТЕРВАЛЫ	ОСТАНОВКИ														Wt
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
06:00:00-06:59:59	213	63	102	150	71	248	307	170	195	361	238	44	60	236	0,01753994797
07:00:00-07:59:59	631	168	290	347	180	584	814	471	500	1053	673	178	186	661	0,04912671869
08:00:00-08:59:59	1304	332	599	851	424	1265	1785	1062	1142	2235	1327	320	404	1390	0,1033073207
09:00:00-09:59:59	1040	269	495	655	310	1020	1445	828	861	1832	1110	244	324	1113	0,08272017837
10:00:00-10:59:59	699	168	329	478	214	780	941	570	592	1222	737	177	206	769	0,05715347454
11:00:00-11:59:59	557	164	266	362	172	555	789	452	457	935	520	141	164	604	0,04489037533
12:00:00-12:59:59	577	152	251	360	183	579	749	419	468	960	566	144	155	591	0,04392419175
13:00:00-13:59:59	562	153	267	378	140	522	775	455	492	994	566	147	184	625	0,04645113341
14:00:00-14:59:59	576	147	271	391	182	555	819	435	466	1017	589	137	176	645	0,04793756968
15:00:00-15:59:59	602	163	308	426	186	645	898	523	543	1145	673	165	173	726	0,05395763657
16:00:00-16:59:59	774	202	345	491	213	776	1052	588	612	1293	749	169	227	779	0,05789669268
17:00:00-17:59:59	1033	264	460	666	308	1036	1433	807	816	1729	1100	260	269	1097	0,08153102936
18:00:00-18:59:59	1372	375	688	855	389	1449	1943	1058	1150	2343	1428	311	389	1494	0,1110367893
19:00:00-19:59:59	961	266	440	606	296	938	1330	741	783	1600	966	228	262	991	0,07365291713
20:00:00-20:59:59	653	190	293	438	188	646	883	536	524	1169	686	167	180	671	0,04986993683
21:00:00-21:59:59	488	120	231	288	121	473	632	364	378	808	492	110	139	500	0,03716090673
22:00:00-22:59:59	368	77	158	206	94	360	459	270	267	602	325	79	99	382	0,02839093274
23:00:00-23:59:59	211	39	93	106	54	199	268	153	149	324	201	58	52	181	0,01345224823
ВСЕГО:	12621	3312	5886	8054	3725	12630	17322	9902	10395	21622	12946	3079	3649	13455	1

Путем сравнения с данными таблицы 5.1 можно убедиться, что получившиеся в результате моделирования итоговые значения суточного пассажирообмена (строка «Всего») сопоставимы со значениями суточного пассажирообмена по остановкам, взятыми как исходные данные для моделирования. Весовые коэффициенты часовых интервалов, получившиеся по данным моделирования, также сопоставимы с весовыми коэффициентами суточных интервалов, представленных в таблице 5.2 и взятых за основу моделирования.

На рисунке 5.9 представлена диаграмма распределения пассажирообмена по остановкам маршрута, получившегося в результате моделирования, в разрезе суточных интервалов.

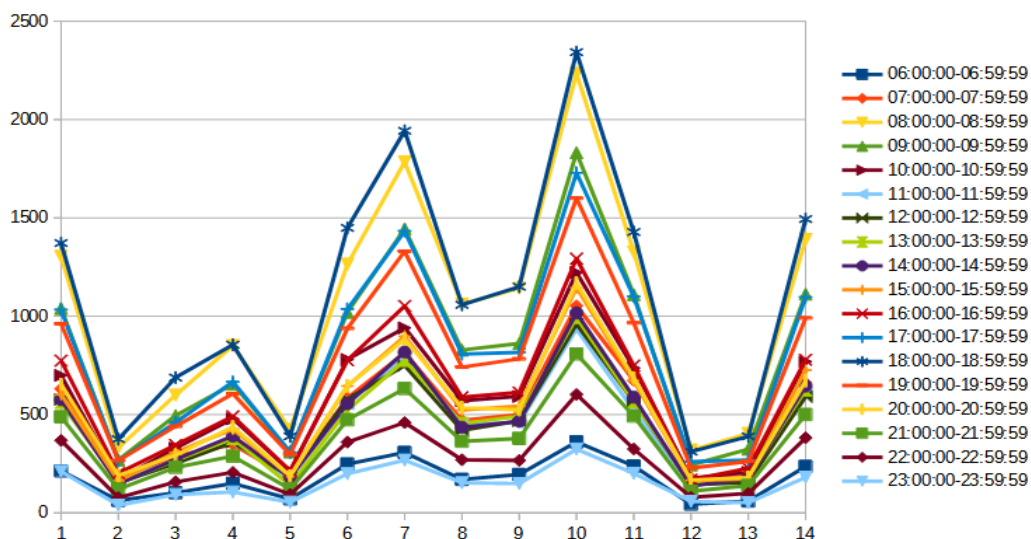


Рисунок 5.9 – Распределение пассажирообмена по остановкам в разрезе суточных интервалов

На рисунке 5.10 представлена диаграмма распределения суточного пассажирообмена по часовым интервалам в разрезе остановок маршрута.

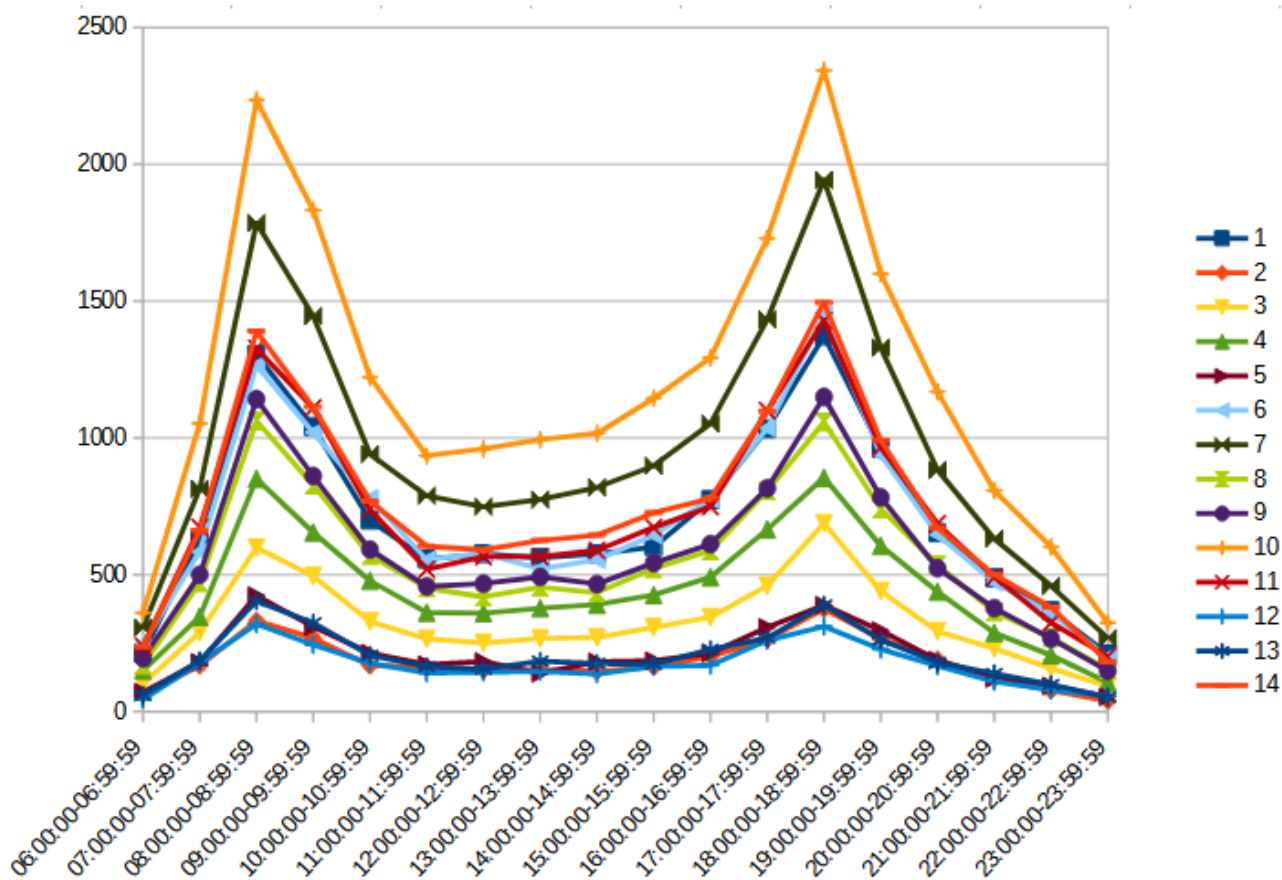


Рисунок 5.10 – Распределение пассажирообмена по часовым интервалам в разрезе остановок

Из диаграммы видно, что характер распределений, получившихся в результате моделирования, повторяет характер распределений, взятых за основу моделирования (рисунки 5.5 и 5.8).

Таким образом, представленный способ моделирования распределения корреспонденций на маршруте с помощью системы имитации спроса на перевозку позволяет создать близкий к реальному процесс поступления в систему заявок на перевозку, а СИСП может быть использована для исследования перевозочного процесса на основе кассетно-конвейерной технологии.

5.2 Экспериментальные результаты

Экспериментальные исследования технологии пассажирской перевозки в информационно-транспортной системе проводились с использованием системы имитации спроса на перевозку (п. 5.1). Целью исследований являлось изучение эффективности кассетно-конвейерной технологии пассажирской перевозки. Метод исследования – сравнение полученных экспериментальных данных кассетно-конвейерной перевозки и классической перевозки в разрезе аналитики, описанной в п. 4.7.

Классическая перевозка. В силу превалирования в перевозочном процессе в ИТС скоростной перевозки для исследований был выбран маршрут с высокой интенсивностью пассажиропотока – Московская линия метро г. Минска (п. 5.1).

Московская линия – это первая линия метрополитена г. Минска со среднесуточной перевозкой пассажиров в 449,2 тыс. чел. протяженностью около 19,2 км. Курсирующий подвижной состав включает в основном поезда, состоящие из 4–5 вагонов общей вместимостью, соответственно, 588 и 737 человек. Средняя эксплуатационная скорость транспортных средств – 40,8 км/ч. Интервал движения поездов зависит от часа суток: в час пик 2,5–4 мин., в непиковое время – до 15 мин. Средний интервал движения около 6 мин., среднее время прохождения маршрута – 29 мин.

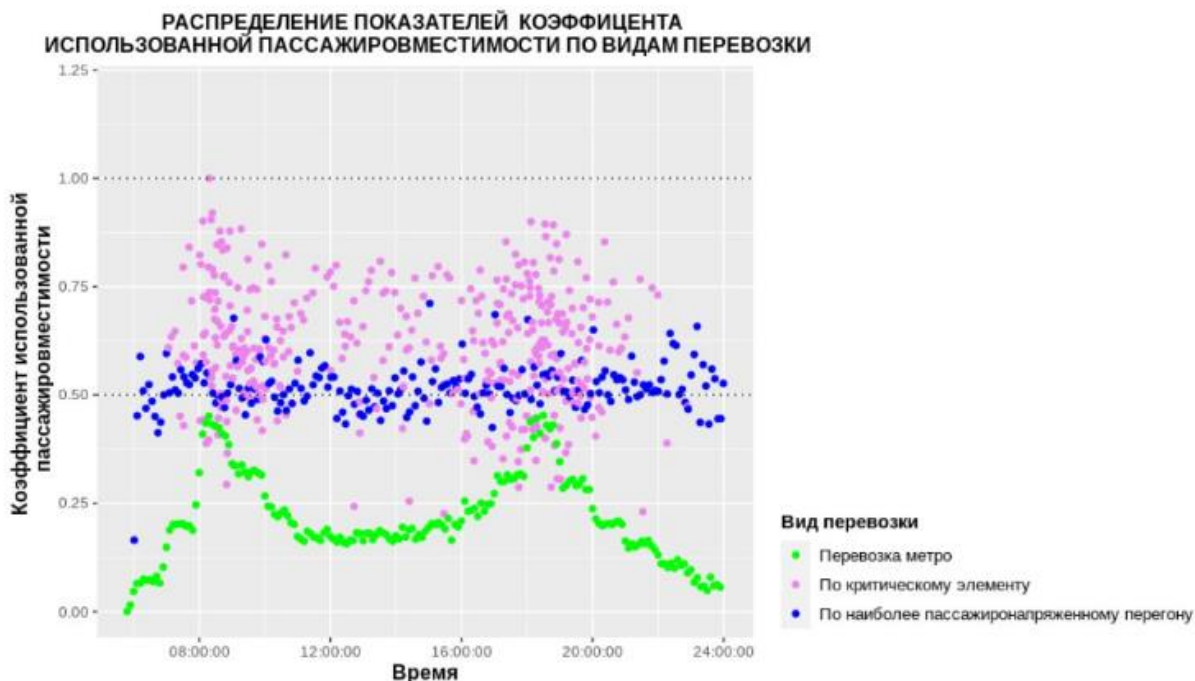
Кассетно-конвейерная перевозка. Перевозочный процесс в ИТС кассетно-конвейерного типа построен на комбинированном режиме перевозки, т. к. скоростная перевозка не обеспечивает посещения всех остановок маршрута. Поэтому она должна дополняться обычным режимом перевозки (п. 4.4).

В исследованиях перевозочного процесса в ИТС использовалась комбинированная перевозка на основе пар алгоритмов: «по критическому элементу» – «по наиболее пассажиронапряженному перегону» и «по строке» – «по наиболее пассажиронапряженному перегону».

Пассажироместимость транспортной единицы минимального объема (инфобуса) составляла 20 человек, скорость перевозки – 90 км/ч, интервалы движения формировались динамически в зависимости от возникновения условий для начала перевозки (но не более 5 мин).

Организация перевозок. Система имитации спроса на перевозку генерирует заявки в режиме реального времени, регистрируя их в ИС ИТС. ИС ИТС с интервалом 30 секунд сканирует накопленные данные. Условиями начала перевозки выступали: наполняемость транспортного средства по одной из корреспонденций более 60 % (запускался один из скоростных режимов «по критическому элементу» либо «по строке») либо истечение пятиминутного интервала после последнего рейса обычной перевозки.

При обнаружении одного из условий для начала перевозки информационный сервер фиксирует матрицу корреспонденций и составляет план перевозки в соответствии с выбранным алгоритмом. Если ни одно из условий не выполнено, сервер переходит в режим ожидания. Данный алгоритм действий можно представить блок-схемой (рисунок 5.11).



	Вид перевозки	Минимум	Среднее	Максимум
1	По критическому элементу	0.225916230	0.6116415	1.0000000
2	По наиболее пассажиронапряженному перегону	0.164921466	0.5177107	0.7112565
3	Перевозка метро	0.000270807	0.2157707	0.4529067

Рисунок 5.12 – Диаграмма распределения коэффициента Киев

Наиболее эффективное использование пассажироместимости транспортного средства продемонстрировала скоростная перевозка «по критическому элементу». Перевозка «по наиболее пассажиронапряженному перегону» показала более высокие значения использования пассажироместимости по сравнению с классической перевозкой метро, т. к. подразумевает высылку на маршрут транспортного средства минимально необходимого объема.

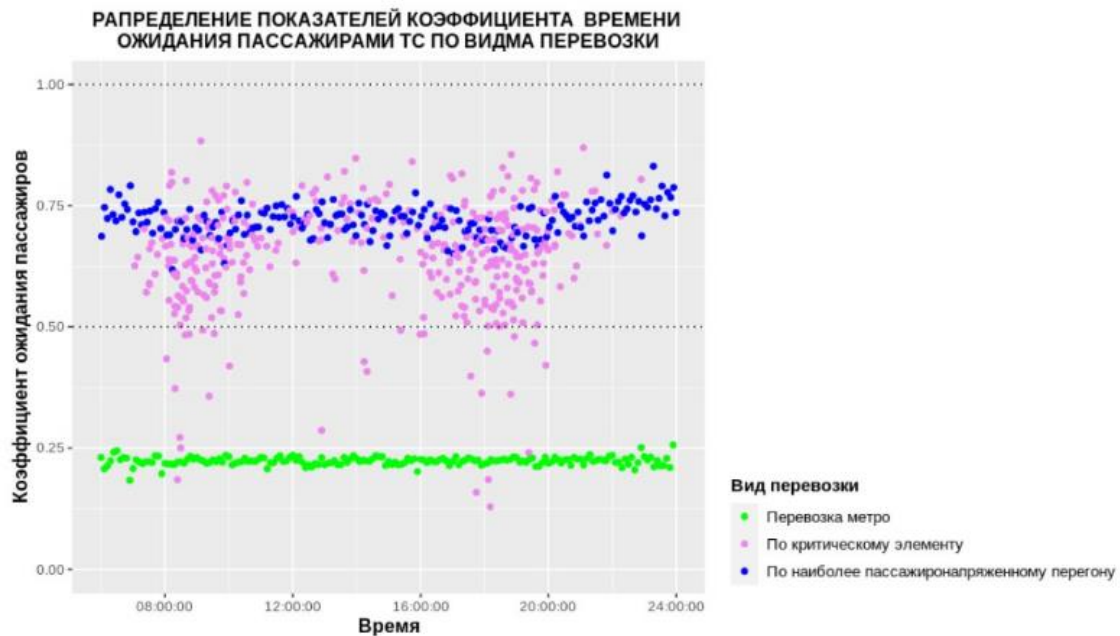
Потери на разгон – торможение. На рисунке 5.13 изображена диаграмма распределения показателей коэффициента останочности $K_{ост}$ (п. 4.7), отражающих затраты транспортного предприятия на разгон – торможение транспортных средств, со статистикой по видам перевозки. Наименьшие затраты на разгон – торможение продемонстрировала скоростная перевозка. У обычной перевозки метро и «по наиболее пассажиронапряженному перегону» показатели коэффициента одинаковы и равны 1, т. к. транспортные средства посещают все остановки.



	Вид перевозки	Минимум	Среднее	Максимум
1	По критическому элементу	0.1428571	0.547619	0.9285714
2	По наиболее пассажиронапряженному перегону	1.0000000	1.0000000	1.0000000
3	Перевозка метро	1.0000000	1.0000000	1.0000000

Рисунок 5.13 – Диаграмма распределения показателей коэффициента $K_{ост}$

Ожидание транспортного средства. На рисунке 5.14 представлена диаграмма распределения показателей коэффициента времени ожидания пассажирами транспортного средства $K_{оп}$ (п. 4.7) со статистикой по видам перевозки, отражающего временные потери пассажиров при ожидании транспортного средства.

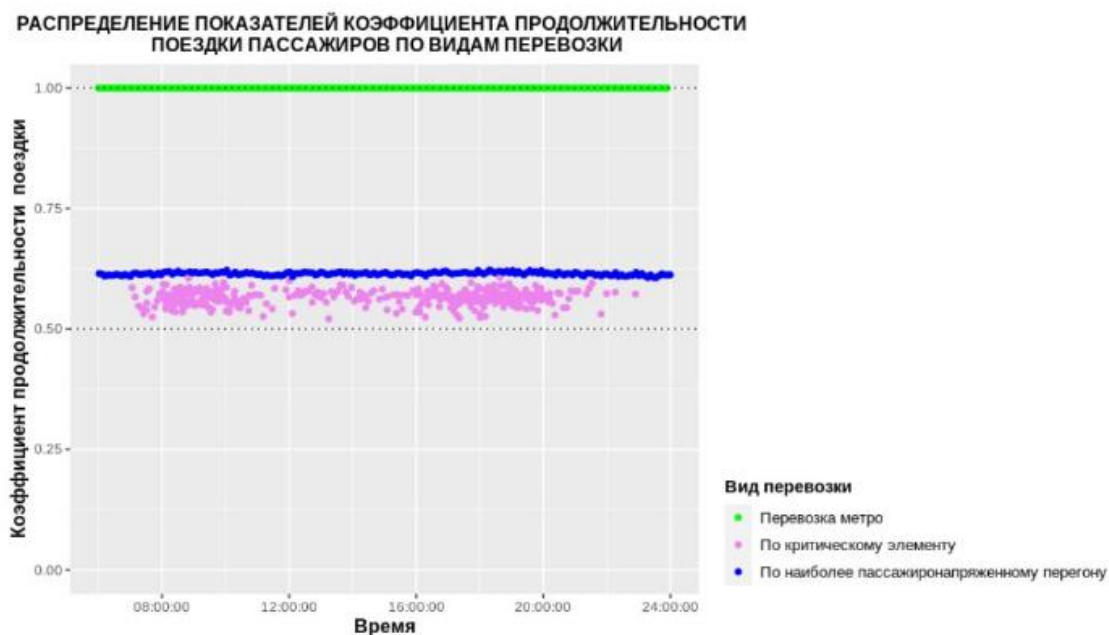


	Вид перевозки	Минимум	Среднее	Максимум
1	По критическому элементу	0.5209829	0.5650812	0.6079952
2	По наиболее пассажиронапряженному перегону	0.6066025	0.6146715	0.6220990
3	Перевозка метро	1.0000000	1.0000000	1.0000000

Рисунок 5.14 – Диаграмма распределения показателей коэффициента $K_{оп}$

В данном исследовании лучшие показатели у классической перевозки метро (при малых интервалах движения). Показатели перевозки в ИТС не превосходят заложенную норму ожидания пассажиром (в исследовании 12 минут).

Продолжительность поездки. Рисунок 5.15 представляет диаграмму распределения показателей коэффициента продолжительности поездки пассажиров $K_{пт}$ (п. 4.7) со статистикой по видам перевозки, отражающего потери пассажиров на поездку. В исследовании наименьшие потери были у пассажиров при скоростной перевозке «по критическому элементу».



	Вид перевозки	Минимум	Среднее	Максимум
1	По критическому элементу	0.5209829	0.5650812	0.6079952
2	По наиболее пассажиронапряженному перегону	0.6066025	0.6146715	0.6220990
3	Перевозка метро	1.0000000	1.0000000	1.0000000

Рисунок 5.15 – Диаграмма распределения показателей коэффициента продолжительности поездки пассажиров $K_{пт}$ со статистикой (по видам перевозки)

Общие потери перевозки. Общие потери перевозки (п. 4.7) исследовались через целевую функцию общих потерь перевозки $P(K_{нв}, K_{ост}, K_{оп}, K_{пт})$ и коэффициент баланса потерь перевозки $K_{бп}$, отражающий соотношение между потерями транспортного предприятия и потерями пассажиров. Полученные данные представлены на рисунках 5.16 и 5.17.

	Вид перевозки	Минимум	Среднее	Максимум
1	По критическому элементу	0.9728351	2.145938	2.731432
2	По наиболее пассажиронапряженному перегону	2.5820613	2.817271	3.136705
3	Перевозка метро	2.7651090	3.006712	3.199970

Рисунок 5.16 – Статистические показатели целевой функции общих потерь перевозки P

Наименьшие общие потери были при скоростной перевозке «по критическому элементу», а наибольшие – при классической перевозке метро.

	Вид перевозки	Минимум	Среднее	Максимум
1	Перевозка метро	1.2691306	1.4543661	1.840945
2	По критическому элементу	0.2740945	0.7532428	1.117600
3	По наиболее пассажиронапряженному перегону	0.9318657	1.1019779	1.521014

Рисунок 5.17 – Статистические показатели коэффициента баланса потерь перевозки $K_{БП}$

Отмечалось преобладание потерь транспортного предприятия над потерями пассажиров при классической перевозке метро, тогда как при скоростной перевозке потери транспортного предприятия были меньше потерь пассажиров.

На рисунке 5.18 представлена диаграмма баланса интересов транспортного предприятия и пассажиров по видам перевозки. Каждая точка на диаграмме является концом радиус-вектора $\vec{P}_A + \vec{P}_P = (\overline{K_{НВ}} + K_{ОСТ}; K_{ОП} + K_{ПП})$. Тангенс угла наклона вектора равен значению коэффициента баланса потерь перевозки $K_{БП}$.

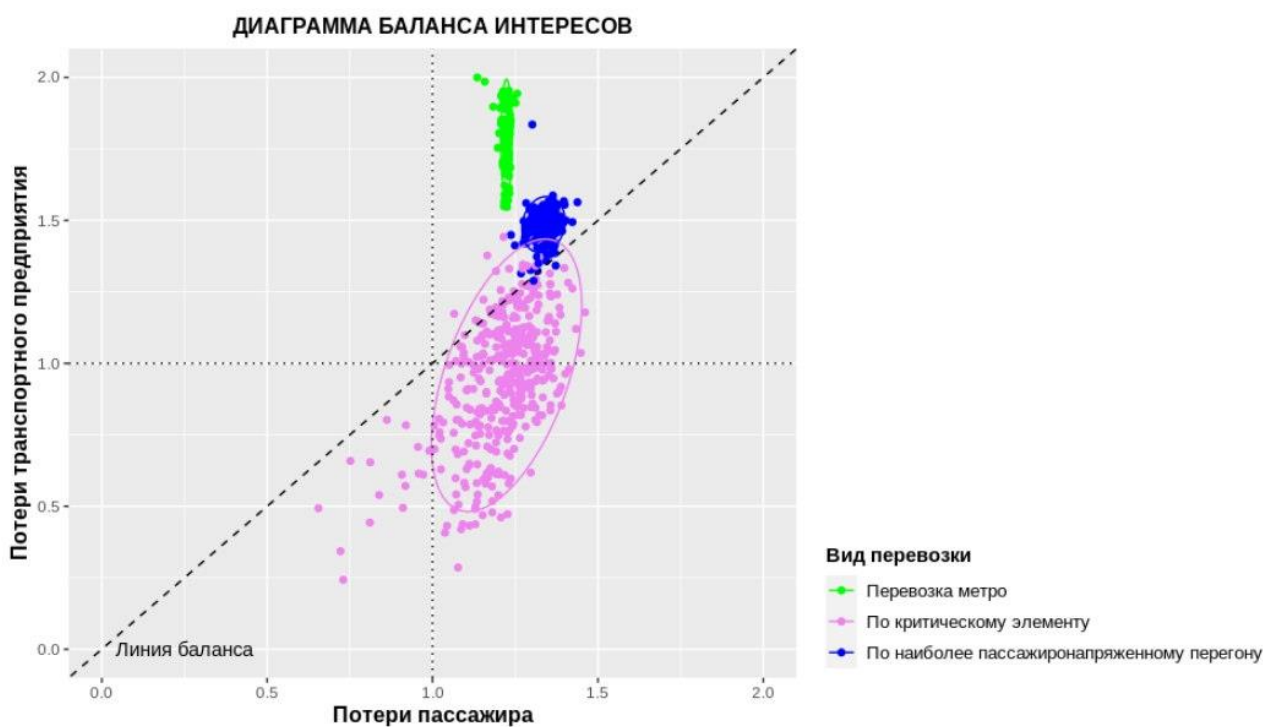


Рисунок 5.18. Диаграмма баланса интересов транспортного предприятия и пассажиров (по видам перевозки)

Исследование продемонстрировало, что наименьшее отклонение коэффициента баланса потерь $K_{БП}$ от линии баланса потерь продемонстрировано при перевозке «по наиболее пассажиронапряженному перегону» в сторону преобладания потерь транспортного предприятия. Скоростной режим показал меньшее отклонение от линии баланса, чем перевозка метро, в сторону преобладания потерь пассажиров, но большее отклонение, чем перевозка «по наиболее пассажиронапряженному перегону». Таким образом, самым близким к идеальному балансу интересов пассажиров и перевозчика оказался режим обычной перевозки «по наиболее пассажиронапряженному перегону». Скоростная перевозка «по крити-

ческому элементу» оказалась ближе к идеальному балансу интересов транспортного предприятия и пассажиров, чем классическая перевозка метро.

5.2.2 Комбинированная перевозка на основе алгоритмов «по строке» и «по наиболее пассажиронапряженному перегону». Результаты сравнения показателей комбинированной перевозки на основе кассетно-конвейерной технологии и классической перевозки метро приведены на рисунках 5.19–5.25.

Использование пассажироместимости. Рисунок 5.19 содержит диаграмму распределения показателей коэффициента использованной пассажироместимости транспортных средств $K_{ИВ}$ (п. 4.7) со статистикой по видам перевозки.



Рисунок 5.19 – Распределение $K_{ИВ}$

Полученные результаты оказались схожи с результатами п. 5.2.1: наиболее эффективное использование пассажироместимости транспортного средства продемонстрировала скоростная перевозка на основе кассетно-конвейерной технологии с применением алгоритма «по строке», перевозка «по наиболее пассажиронапряженному перегону» показала более высокие значения использования пассажироместимости по сравнению с классической перевозкой метро в силу того, что на маршрут всякий раз высылалось транспортное средство минимально необходимого объема под транспортную потребность в текущий момент.

Потери на разгон – торможение. На рисунке 5.20 изображена диаграмма распределения показателей коэффициента остановочности $K_{ост}$ (п. 4.7) со статистикой по видам перевозки.



Рисунок 5.20 – Распределение $K_{ост}$

Наименьшие затраты на разгон-торможение продемонстрировала скоростная перевозка. У обычной перевозки метро и «по наиболее пассажиронапряженному перегону» показатели коэффициента одинаковы и равны 1, т. к. транспортные средства посещают все остановки.

Ожидание транспортного средства. На рисунок 5.21 представлена диаграмма распределения показателей коэффициента времени ожидания пассажирами транспортного средства $K_{оп}$ (п. 4.7) со статистикой по видам перевозки.

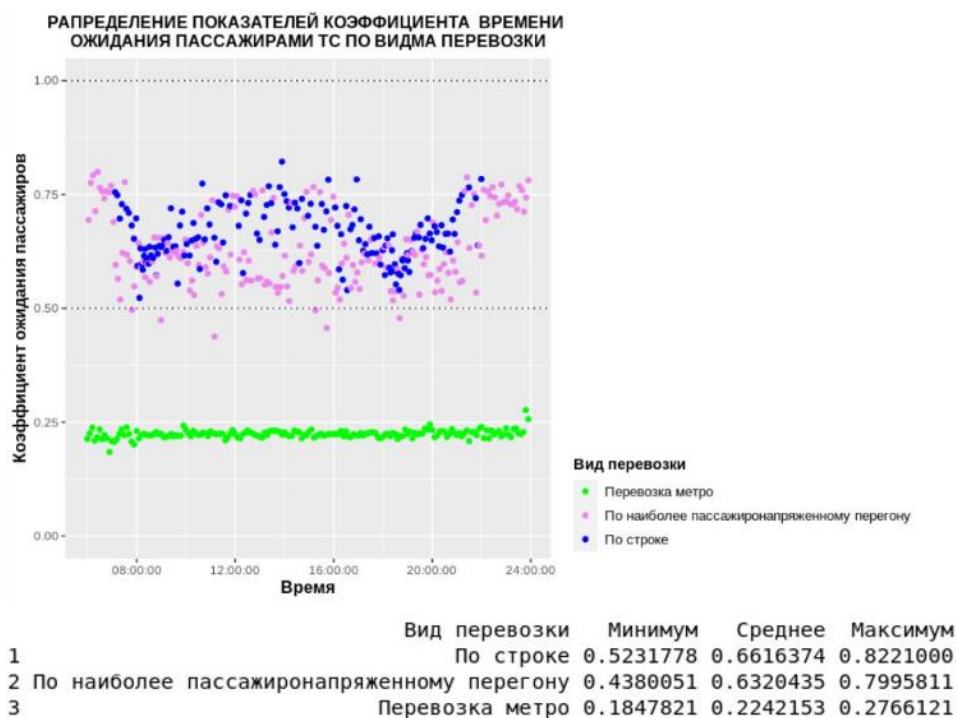


Рисунок 5.21 – Распределение $K_{оп}$

В данном исследовании лучшие показатели у классической перевозки метро (при малых интервалах движения). Показатели перевозки в ИТС не превосходят заложенную норму ожидания пассажиром (в исследовании 12 минут).

Продолжительность поездки. Рис. 5.22 представляет диаграмму распределения показателей коэффициента продолжительности поездки пассажиров $K_{ПП}$ (п. 4.7) со статистикой по видам перевозки.



Рисунок 5.22 – Распределение $K_{ПП}$

В исследовании наименьшие потери были у пассажиров при скоростной перевозке «по строке».

Общие потери перевозки. На рисунках 5.23 и 5.24 приведены соответственно статистические показатели целевой функции $P(K_{НВ}, K_{ОСТ}, K_{ОП}, K_{ПП})$ (п.4.7) и коэффициента баланса потерь перевозки $K_{БП}$ по видам перевозки.

Вид перевозки	Минимум	Среднее	Максимум
1 По строке	1.042559	1.989644	3.128397
2 По наиболее пассажиронапряженному перегону	2.496030	2.748230	3.066293
3 Перевозка метро	2.767858	3.005830	3.238049

Рисунок 5.23 – Статистические показатели целевой функции общих потерь перевозки P

Наименьшие общие потери были понесены при скоростной перевозке «по строке», а наибольшие - при классической перевозке метро.

Вид перевозки	Минимум	Среднее	Максимум
1 По строке	0.4941965	0.6328254	0.8226796
2 По наиболее пассажиронапряженному перегону	0.9811338	1.2164043	1.5562240
3 Перевозка метро	1.2789422	1.4592532	1.9998646

Рисунок 5.24 – Статистические показатели коэффициента баланса потерь перевозки $K_{БП}$

На рисунке 5.24 отмечается преобладание потерь транспортного предприятия над потерями пассажиров при классической перевозке метро, тогда как при скоростной перевозке «по строке» потери транспортного предприятия меньше потерь пассажиров.

На рисунке 5.25 представлена диаграмма баланса интересов транспортного предприятия и пассажиров. Каждая точка на диаграмме является концом радиус-вектора $\vec{P}_A + \vec{P}_P = (K_{HB} + K_{OCT}; K_{OII} + K_{III})$. Тангенс угла наклона вектора равен значению коэффициента баланса потерь перевозки $K_{БП}$.

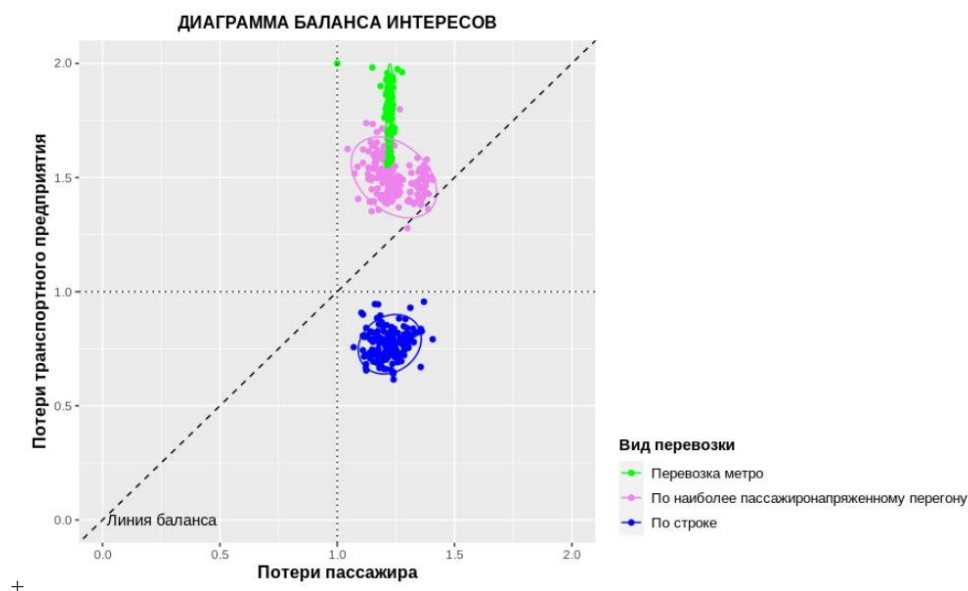


Рисунок 5.25 – Диаграмма баланса интересов транспортного предприятия и пассажиров

Таким образом, при скоростной перевозке на основе алгоритма «по строке» потери транспортного предприятия ниже потерь пассажира, тогда как у двух других режимов перевозки потери транспортного предприятия преобладают над потерями пассажиров. Наиболее близкой к балансу интересов оказалась перевозка на основе алгоритма «по наиболее пассажиронапряженному перегону», но при этом ее общие потери превосходили потери скоростной перевозки на основе алгоритма «по строке».

5.3 Сравнение классической и кассетно-конвейерной технологий перевозки

5.3.1 Характеристика классической технологии. Классическая технология пассажирских перевозок включает такие этапы, как: определение транспортной потребности; вида, объема и требуемого числа транспортных средств; составление маршрутного расписания и индивидуальных графиков движения для транспортных средств; контроль исполнения перевозки и оценка ее эффективности; необходимая корректировка параметров. Эта технология отработана на практике в течение десятилетий осуществления пассажирских перевозок. Ее основными достоинствами являются:

- регулярность курсирования транспорта;
- доступная стоимость поездки за счет массовости перевозки и дотационности общественного транспорта.

Однако имеются существенные недостатки:

- отсутствие своевременной и адекватной информации о спросе на перевозку препятствует принятию эффективных решений и влечет такие потери транспортного предприятия, как неэффективное использование пассажировместимости транспортных средств (заполнение салона наблюдается лишь во время поездки населения на работу и с нее, остальное время общественные транспортные средства курсируют практически полупустыми); неадаптивное расписание движения; зачастую неадекватное число транспортных средств;

- преобладание обычного режима перевозки приводит к быстрому износу механизмов транспортных средств и неэффективному расходу энергоресурсов из-за частых разгонов и торможений;

- в силу того, что транспортное средство движется по проезжей части в общем транспортном потоке, делая частые остановки на перекрестках и остановочных пунктах, его средняя скорость не превышает 30 км/ч (в метро до 40 км/ч), что приводит зачастую к большим временным потерям пассажиров.

Основной причиной проблем традиционной технологии городских пассажирских перевозок являются отсутствие возможности получения своевременной и точной информации об изменениях пассажиропотоков и ограниченность перевозочного парка, что приводит к выходу на линию транспортных средств с несоответствующей ситуации пассажировместимостью.

5.3.2 Характеристика кассетно-конвейерной технологии скоростных перевозок. Подход к пассажирским перевозкам, основанный на использовании интеллектуальных информационных технологий и беспилотного транспорта с разделяющимися частями, курсирующего по выделенной линии, лишен вышеперечисленных недостатков:

- т. к. построен на постоянном сборе и анализе информации о транспортной активности населения и все решения по управлению перевозкой принимаются ИС ИТС, на основании актуальных данных;

- использование транспорта с разделяющимися частями позволяет моментально скомпоновать транспортное средство нужного объема;

- передача основной части управления от человека интеллектуальным информационным системам ускоряет принятие решений в силу высокой скорости обработки больших объемов данных современными вычислительными комплексами.

5.3.3 Сравнение технологий. Экспериментальные результаты (п. 5.2) показали более высокую эффективность технологии скоростной кассетно-конвейерной перевозки по сравнению с классической технологией по таким параметрам, как эффективность использования пассажировместимости транспортного средства, потери транспортного предприятия от процесса «разгон – торможение», продолжительность поездки пассажира.

В таблице 5.5 представлено сравнение классической технологии и кассетно-конвейерной технологии скоростной перевозки.

Таблица 5.5 – Сравнение технологий перевозки

Этап технологии	Технология городских пассажирских перевозок традиционными видами транспорта					Технология кассетно-конвейерных перевозки			
	Способ	Исполнитель	Частота	Достоинства	Недостатки	Способ	Частота	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Исследование пассажиропотока	Анкетный, талонный, табличный, визуальный	Расчетчик, АСОИ	Не реже 2 раз в год	Информативность	Большие временные, финансовые затраты, неточность полученных данных	ИС ИТС	Постоянно в течение рабочего дня	Точность и скорость получения информации	Нет
Определение вида и объема транспортных средств	Метод «типового объекта», метод «типового решения»	Расчетчик, АСОИ	Не реже 2 раз в год	Позволяет сделать оптимальный выбор из имеющейся номенклатуры ТС	Выбор из ограниченной номенклатуры ТС; Неспособность быстро реагировать на изменения пассажиропотока	ИС ИТС	С интервалом 1-12 мин.	Формирование транспортного средства оптимального объема	Нет
Определение потребного числа транспортных средств	Метод «типового объекта», метод «типового решения»	Расчетчик, АСОИ	Не реже 2 раз в год	Позволяет сделать оптимальный расчет на основе полученных данных	Неспособность быстро реагировать на изменения пассажиропотока	ИС ИТС	С интервалом 1-12 мин.	Оптимальный расчет на основе точных данных для каждого рейса	Нет
Составление маршрутного расписания и графиков движения	Графический, табличный, автоматизированный	Диспетчер, АСОИ	Не реже 2 раз в год						

Этап технологии	Технология городских пассажирских перевозок традиционными видами транспорта					Технология кассетно-конвейерных перевозки			
	Способ	Исполнитель	Частота	Достоинства	Недостатки	Способ	Частота	Достоинства	Недостатки
Контроль исполнения перевозки	Отметки на контрольных пунктах, тахограф	Диспетчер, тахограф	Во время каждого рейса	Эффективный контроль выполнения рейса	Нет	ИС ИТС	В режиме реального времени	Эффективный контроль выполнения рейса	Нет
Оценка эффективности перевозки	Обработка собранных данных	Экономист	1 раз в месяц	Оценка эффективности перевозок за месяц	Редкое выполнение операции	Подсистема анализа данных ИС ИТС	В режиме реального времени	Оценка эффективности каждого рейса и перевозки за любой период	Нет
Необходимая корректировка параметров перевозки	Решение диспетчера	Диспетчер	По необходимости	Адаптация системы к новым условиям	Редкое выполнение операции	Подсистема организации перевозки, подсистема анализа данных ИС ИТС	В режиме реального времени	Корректировка параметров в «режиме реального времени»	Нет

Выводы

1. По итогам проведенных испытаний технология скоростной кассетно-конвейерной перевозки показала лучшие результаты по совокупности показателей в сравнении с классической технологией.

2. Преимущества скоростной кассетно-конвейерной перевозки заключаются в использовании автоматизированного управления (при минимальном участии человека) с применением интеллектуальных алгоритмов на основе постоянного сбора данных о пассажиропотоках на маршруте и процессе перевозки, применении скоростного беспилотного транспорта, движущегося по выделенному пути

3. Внедрение технологии скоростной кассетно-конвейерной перевозки позволит обеспечить в крупных городах и мегаполисах массовую транспортировку населения при гораздо меньших материальных и финансовых затратах, чем строительство и использование метро.

РАЗДЕЛ II ГОРОДСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ СКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ОСНОВЕ КАССЕТНО-КОНВЕЙЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ГЛАВА 6 ТРАМВАЙ НА БАЗЕ КАССЕТНО-КОНВЕЙЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ГОРОДСКИХ СКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗОК

6.1 Трамвай

Трамвай — уличный рельсовый вид транспорта с общим или обособленным путевым полотном в основном наземного исполнения. Отличается большими затратами в путевые сооружения. Вследствие связи с рельсовой колеей подвижной состав трамвая характеризуется нулевой маневренностью.

Основными типами перспективных трамвайных поездов в настоящее время считают четырехосные вагоны большой вместимости для одиночной работы и в поездах по системе многих единиц. Под системой многих единиц (сокращенно СМЕ) понимается два или более трамваев, соединенных между собой и управляемых с одного пульта. Соединение двойное — механическое и кабельное. Простыми словами — это двойной или тройной трамвай.



Рисунок 6.1 – Односекционный трамвай модели 802 от ОАО «Белкоммунмаш»

На рисунке 6.1 представлен односекционный трамвай большой емкости модели 802 производства ОАО «Управляющая компания холдинга «Белкоммунмаш», предназначенный только для одиночной работы. Большая пассажировместимость данного трамвая (165 человек) позволяет эксплуатировать его на маршрутах средней и высокой интенсивности.

Вторым вариантом расширения емкости, а следовательно, и числа перевозимых пассажиров является использование многосекционных трамваев (рисунок 6.2). Это сочлененные трамваи — шестиосные с двумя кузовными секциями на трех двухосных поворотных тележках и восьмиосные с тремя кузовными секциями на четырех двухосных поворотных тележках. Максимальными на настоящий момент являются двенадцатисекционные трамвайные вагоны.



Рисунок 6.2 – Трехсекционный трамвай

Как первый, так и второй варианты широко используются в мировой практике. Но имеется и третий вариант расширения объема транспортного средства, заложенный в кассетно-конвейерную технологию. Это система Project SARTRE [116], когда отдельные автономные секции (инфобус) связаны между собой виртуально, что позволяет варьировать число перевозимых пассажиров в широких пределах [117,118]. Это важнейший атрибут кассетно-конвейерной технологии.

Минимальные радиусы кривых на эксплуатационных путях трамвая достигают 20 м, ширина трамвайных вагонов не превышает 2,6 м, их длина с жестким кузовом — 15–15,5 м. Вместимость трамвайных поездов ниже по сравнению с поездами метрополитенов. Провозная способность одиночных вагонов трамвая составляет 7–9 тыс. пасс/ч, двухвагонных поездов и шарнирно-сочлененных вагонов — 10–15 тыс. пасс/ч; 100-местные одиночные трамвайные вагоны при минимальном интервале между поездами около 40 с (пропускной способности $\Pi = 3600/40 = 90$ поездов/ч) способны обеспечить «провозную» способность $B = 90 \times 100 = 9000$ пасс/ч (в одном направлении движения). По экономическим соображениям трамвайные линии прокладывают на направлениях с пассажиропотоком не менее 3,5–4,5 тыс. пасс/час в одном направлении движения.

Обычный трамвай характеризуется низкими скоростями сообщения, создает помехи движению автотранспорта на перекрестках и задержки у остановочных пунктов при нешироких улицах, усиливает шум. В настоящее время трамвай развивается на новой основе — как скоростной трамвай, отличающийся от обыч-

ного почти полным отделением от остального городского движения на обособленном пути.

Средняя скорость передвижения трамвая по центру города, хотя и выше чем у автобуса (примерно 20 км/час, а у автобуса всего 18), но явно недостаточна для всевозрастающих требований к перевозкам пассажиров. Во многих городах Российской Федерации, с целью лучшего использования свойств трамвая (возможность быстрого разгона и возможности рекуперации при торможении) применяют заглубление трамвайных линий под дорогу, при этом трамвай называют метротрам. Это дает возможность увеличить скорость примерно в два раза. Как по количеству перевозимых пассажиров, так и по качеству перевозок трамвай, безусловно, уступает метро, но превосходит троллейбус и автобус.

6.2 Скоростной трамвай

Скоростной трамвай рассматривают теперь как новый вид ГПТ, хотя по своим конструктивным особенностям он близок к обычному. Разница состоит лишь в том, что линии скоростного трамвая прокладывают в перегруженных центрах городов под землей, а в остальных местах – на эстакадах или на огражденном обособленном полотне с пересечениями преимущественно в разных уровнях. Это позволяет упорядочить движение трамвая, ликвидировать мешающее влияние на него остального уличного движения и повысить скорость сообщения. С этой же целью на линиях скоростного трамвая предусматривают большие перегоны: в центре до 700–800 м; на окраинах и вылетных линиях до 1200–1500 м. Это позволяет поднять эксплуатационную скорость скоростного трамвая до 25–30 км/ч, т. е. примерно вдвое по сравнению с обычным, эксплуатационная скорость которого составляет 16–18 км/ч.

При использовании подвижного состава большой вместимости (шарнирно-сочлененных и четырехосных вагонов, работающих поездами из двух-трех вагонов по системе многих единиц) провозная способность скоростного трамвая может достигать 25 тыс. пасс/ч в одном направлении, т. е. примерно вдвое превышать провозную способность линий обычного трамвая. Преимущество скоростного трамвая — возможность существенного снижения транспортного времени пассажиров, значительного расширения зоны транспортной обслуженности населения и повышения скорости пассажирообмена в поездах, что способствует улучшению экономических показателей работы транспортных предприятий.

Скоростной трамвай перспективен как скоростной вид транспорта в больших городах с населением более 250 тыс. человек на направлениях с пассажиропотоком до 25 тыс. пасс/ч (в одном направлении) для связи городских центров с местами массового тяготения населения. В этих условиях он имеет преимущества перед метрополитеном вследствие меньшей стоимости сооружений при высокой провозной способности. При достаточно развитой маршрутной системе трамвай обеспечивает более удобные условия проезда пассажирам вследствие уменьшения пересадочности и более высокой скорости сообщения в передвижениях, особенно на короткие расстояния.

В последние два десятилетия в ряде крупных городов трамвай стал вытесняться на окраины или вовсе ликвидироваться по причине того, что он занимает много места на проезжей части улиц, движется медленнее автомобилей, так как имеет меньшую скорость и поэтому задерживает движение других видов транспорта.

Эти причины особенно остро стали сказываться с ростом автомобильного движения по улицам. Но ввиду того, что трамвай удобное и дешевое средство сообщения, он сохранился в отдельных частях города с интенсивным движением транспорта. Трамвай экологически чистый вид транспорта, что немаловажно для крупного города, но он же и самый дешевый вид транспорта. Стоимость одного пассажирокилометра при перевозке трамваем примерно в три раза ниже, чем при перевозке автобусом.

За рубежом стали прокладывать трамвайные линии на обособленном полотне или под землей. Однако стоимость строительства тоннелей растет с глубиной заложения. Поэтому их опускают лишь настолько, чтобы оставалось место для конструкции перекрытия — под общий уровень проезжей части улиц. Как показала практика, строительство 1 км такого тоннеля обходится в три раза дешевле, чем сооружение 1 км метрополитена мелкого заложения. Таким образом, трамвай, возродившийся за рубежом на новой, технической более совершенной основе, вновь получает признание как экономичный, надежный и мощный вид массового пассажирского транспорта.

Большое развитие скоростного трамвая намечается в ФРГ, где планируется введение его в 11 городах. В Рурской области скоростные трамваи обеспечивают связь г. Эссена с окружающими его городами. Строительство подземной трамвайной линии в г. Эссене (ФРГ) было начато в 1967 г.

В г. Франкфурте-на-Майне (ФРГ) провели сравнение трех видов городского транспорта: метрополитена, монорельсовой дороги и скоростного трамвая. Предпочтение было отдано последнему. Проектом предусматривается сооружение в черте города 60 км двухпутных подземных линий в тоннелях и 51 км на обособленном полотне с пересечением с другими транспортными магистралями в разных уровнях.

Скоростной трамвай в Дюссельдорфе (ФРГ) эксплуатируется с 1964 г. Максимальная скорость движения — 50 км/ч, скорость сообщения — 28 км/ч. Построены линии скоростного трамвая в следующих городах ФРГ: Штутгарте (максимальная скорость 75 км/ч, скорость сообщения 30 км/ч); Нюрнберге, Кельне — Бонне (здесь эксплуатируется специальный подвижной состав, развивающий скорость до 120 км/ч).

В Брюсселе (Бельгия) с 1958 по 1964 г. были построены линии скоростного трамвая общей протяженностью 18,6 км. Максимальная скорость — 60 км/ч, скорость сообщения — 27 км/ч. Ежедневный перевоз 200 тыс. пассажиров, из них приблизительно 30 тыс. в часы «пик», когда трамвайные поезда следуют друг за другом с интервалом в 25–30 с в каждом направлении.

Значительный интерес представляет развитие скоростного трамвая в двух крупнейших городах Швеции — Стокгольме и Гетеборге. В Стокгольме можно

наблюдать конечную фазу развития скоростного трамвая, фактически преобразовавшегося в метрополитен, хотя транспортно-планировочные и эксплуатационно-технические показатели Стокгольмского метрополитена занимают среднее место между соответствующими показателями метрополитена и скоростного трамвая СССР и ряда других стран.

В Гетеборге можно наблюдать начальную фазу преобразования обычного трамвая в скоростной, транспортно-планировочные и эксплуатационно-технические показатели которого близки к соответствующим показателям скоростного трамвая СССР.

Для достижения более высокой конструктивной скорости (порядка 75–80 км/ч) предполагается повысить напряжение на участках скоростных линий до 750 В и модернизировать двигатели подвижного состава.

Скоростной трамвай эксплуатируется и в ряде других городов Европы. Опыт эксплуатации скоростного трамвая и его проектные решения во многих городах мира показывает: эффективность нового типа транспорта в обеспечении массовых перевозок населения; возможность сравнительно легкой и без больших первоначальных капитальных вложений реконструкции обычного трамвая в скоростной; большую гибкость в приспособлении к колебаниям пассажиропотоков; высокую степень взаимодействия с обычным трамваем и широкий диапазон применения как внутригородских, так и междугородных сообщений.

Скорость сообщения растет с увеличением длины перегонов между остановочными пунктами. В системе «скоростной трамвай» это широко используется, хотя, с другой стороны, это же сокращает транспортную доступность пассажира. Ниже приведена зависимость скорости сообщения от длины перегона (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Зависимость скорости сообщения от длины перегона

Длина перегона, м.	500	1000	1500	2000	3000
Скорость сообщения, км/ч	22,2	30,5	35,0	35,7	43,9

Общая вместимость поезда на скоростных линиях, а следовательно, и провозная способность, будут зависеть от пассажиропотоков на линиях. Но число вагонов может быть ограничено, во-первых, величиной тока, подаваемого к поезду, во-вторых, размерами посадочных платформ или посадочных площадок.

Зарубежный опыт показывает, что в большинстве случаев составность поезда ограничивается тремя вагонами, Один из перспективных составов поезда скоростного трамвая может быть поезд, состоящий из трех восьмиосных сочлененных вагонов, работающих по системе «многих единиц». Такой поезд имеет высокую провозную способность.

В целях сокращения времени, затрачиваемого на остановочных пунктах при посадке и высадке, вагоны скоростного трамвая должны иметь широкие дверные проемы, минимальное число ступеней и накопительные площадки достаточных размеров.

6.3 Легкорельсовый транспорт – LRT

К категории легкорельсового транспорта (Light Rail Transit – LRT) в современной практике относят все виды рельсового транспорта, которые инженерно отграничены от общего потока транспортных средств на большей части протяженности своих линий и проложены по земле, эстакадам либо тоннелям неглубокого заложения. По показателям эксплуатационной скорости и провозных возможностей LRT – промежуточное место между традиционным трамваем и метрополитеном. К этой категории относятся, в частности, скоростной трамвай и легкое метро.

Существовала тенденция, в рамках которой города по мере развития сети метрополитенов отказывались от трамваев и ограничивались бимодальной системой, состоящей из метро и «уличных» автобусных маршрутов, работающих в общем потоке транспортных средств. Так было в Лондоне, Нью-Йорке, Вашингтоне, Париже, Гамбурге и многих других городах. Эта бимодальная модель оказалась, однако, не слишком эффективной: автобусные маршруты, работающие в общем потоке транспортных средств, не могли обеспечить приемлемую скорость и надежность перевозок, а метрополитены не гарантировали достаточную зону покрытия городской территории ввиду высокой стоимости сооружения новых линий.

В последние десятилетия стало очевидным, что для большинства крупных городов необходим тот или иной вид общественного транспорта, занимающий промежуточное место между метрополитенами и «уличными» автобусными маршрутами. Роль такого «промежуточного» общественного транспорта наиболее успешно выполняют системы LRT, известные также под названиями «легкое метро» или *Stadtbahn* в Германии.

В последние десятилетия системы LRT были построены примерно в 100 городах мира. В большинстве случаев LRT представляют собой продвинутые варианты традиционных трамвайных линий. В них предусматривались обособленные низкошумные путевые конструкции, трассированные по осевой линии городских улиц, и сочлененные комфортные вагоны большой вместимости (вагоны LRT рассчитаны на 250–750 пассажиро-мест). В центральной части города линии LRT могли иметь небольшие тоннельные участки, а также участки, проходящие через пешеходные зоны.

По своим эксплуатационным показателям «легкое метро» гораздо больше похоже на метрополитен, чем на обычные трамвайные линии. Эта транспортная система допускает множество разновидностей. В некоторых случаях она дополняет метрополитены в центральной части города или же в пригородных районах (Париж, Лондон, Берлин, Сан-Франциско). В других городах, таких, как Кельн, Штутгарт, Даллас, Калгари, Бирмингем, «легкое метро» является базовой системой общественного транспорта, обслуживающей крупные транспортные коридоры «город – пригород».

В «прогрессивных» городах мира активно развиваются системы общественного транспорта «промежуточной» мощности: качество предлагаемых транспортных услуг у них заметно выше, чем на автобусных маршрутах, работающих

в общем потоке транспортных средств, а капиталоемкость значительно меньше, чем у метрополитена. Наиболее эффективными из них являются системы LRT, работающие на обособленных путевых конструкциях и поэтому независимые от загрузки улично-дорожной сети.

6.4 Трамвай без водителя, беспилотный интеллектуальный трамвай

Пассажирский рельсовый транспорт более прост в управлении, чем автомобиль – ходит по заданному маршруту, ему не требуется перестроение по полосам движения. Поэтому полностью автономное движение на рельсовом транспорте технически быстрее достижимо, чем на автомобильном.

На рельсовом транспорте в конце XX века широко начали внедряться компьютерные ассистенты машинистов. Практика показала, что беспилотные системы достаточно легко вводятся на простых маршрутах с минимальным количеством остановок и перекрестков – в метро, а также при доставке пассажиров из города в аэропорт и обратно.

Siemens представила первый в мире беспилотный трамвай. 4 сентября 2018 года Siemens и его партнер ViP Verkehrsbetrieb Potsdam представили, как утверждают компании, первый в мире беспилотный трамвай. Он испытан в условиях реального дорожного движения на участке длиной 6 км в немецком городе Потсдаме в рамках мероприятия InnoTrans 2018.

Трамвай Combino начинает тестирования для выявления потенциальных проблем и определения масштабов дальнейшей работы над проектом. Беспилотный трамвай оснащен несколькими камерами, а также лидарными и радиолокационными датчиками, которые позволяют ему ориентироваться в окружающей среде. Трамвай обрабатывает полученные данные с помощью сложных алгоритмов и выбирает необходимый вариант действий. Система будет учитывать сигналы светофора, дорожные знаки, размещение остановок на линии, автоматически реагирует на появление перед вагоном пешеходов, автомобилей и других возможных препятствий. Руководитель подразделения Siemens Mobility Сабрина Суссан (Sabrina Soussan) отметила, что на данном этапе разработок беспилотный трамвай уже способен справиться с основными ситуациями, возникающими при движении в транспортном потоке. Он может ориентироваться в дорожных знаках, останавливаться на определенных местах, а также мгновенно реагировать на движение других транспортных средств и пешеходов. Среди прочих систем безопасности новый беспилотный трамвай использует программу предупреждений о возможном столкновении Siemens Tram Assistant, разработанную специально для данного транспортного средства и успешно апробированную в немецком городе Ульм.

Разработчики Siemens считают, что, благодаря развитию информационных технологий и соответствующей инфраструктуры, они уже в скором времени смогут предоставить безопасные беспилотные транспортные средства для местных поездок. Но пока использовать беспилотный трамвай в коммерческих целях не планируется.

Санкт-Петербург переходит на беспилотные трамваи. Все новые серийные трамваи, которые будут поступать в Санкт-Петербург по техзаданию ГУП «Горэлектротранс», «умные» — они оснащены системой активной безопасности и помощи водителю Cognitive Tram Pilot на основе искусственного интеллекта (ИИ), которая является беспилотной системой управления третьего уровня (по мировой классификации). Об этом 1 июня 2020 года сообщил директор ГУП «Горэлектротранс» Денис Минкин, подводя итоги пилотного проекта промышленной эксплуатации «умных» трамваев в Санкт-Петербурге.

Санкт-Петербург стал первым российским регионом, который массово внедрил отечественные технологии ИИ в сферу общественного электротранспорта, сообщила Ольга Ускова, генеральный директор Cognitive Pilot, специализирующейся на разработке беспилотных систем на транспорте (дочернее предприятие ОАО «СберБанк» и Cognitive Technologies).

Первая партия умных трамваев состоит из 138 машин. В соответствии с графиком поставки, до конца ноября 2023 года их производитель, «ПК Транспортные системы», передаст ГУП «Горэлектротранс» 77 двухсекционных трамваев «Богатырь М» и 61 трехсекционный трамвай моделей «Витязь М» и «Невский». На данный момент в парке предприятия, насчитывающего 747 вагонов, уже 82 вагона оснащены системой Cognitive Tram Pilot, что составляет 11 %. Стоимость системы составляет всего 2–2,5 % от общей стоимости трамвая, сообщили в Cognitive Pilot.

Отметим, что уже 9 месяцев в Санкт-Петербурге по маршрутам № 24 и № 60 ездят беспилотные трамваи в режиме опытной эксплуатации. Они выполнены на базе серийных двухсекционных моделей 71-923М «Богатырь М» и трехсекционных 71-931М «Витязь М» и оснащены системой Cognitive Tram Pilot.

Подводя итоги совместного пилотного проекта Санкт-Петербургского ГУП «Горэлектротранс» и компании Cognitive Pilot, директор ГУП «Горэлектротранс» Денис Минкин сообщил, что с сентября 2022 года по май 2023 года умные трамваи прошли по маршруту № 24 более 50 тыс. км. По его словам, применение ИИ в управлении трамваями позволило сделать транспортный поток на линиях более равномерным, минимизировать заторы, обеспечить более комфортный для пассажиров скоростной режим, без резких рывков и торможений, сократить время ожидания трамваев на 5–10 %.

Контроль скоростного режима, который обеспечивает новая система, позволяет на основе опытной эксплуатации более бережно сохранять рельсовую инфраструктуру, минимизировать число инцидентов с «биением» стрелок, повреждением крестовин и кривых участков полотна. Этот фактор, по расчетам разработчиков, может на 30–40 % продлить срок жизни инфраструктуры и вагонов и до 15 % экономить бюджетные средства на ремонт.

За время эксплуатации системы Cognitive Tram Pilot разработчики получили большой объем информации, которая позволит повысить безопасность на дорогах. Это данные о причинах возникновения проблемных ситуаций на дорогах, разных категориях нарушения ПДД и т. д. На их основе в ближайшем будущем планируется выпуск рекомендаций водителям автотранспорта о том, как не следует ездить в общем потоке с трамваями.

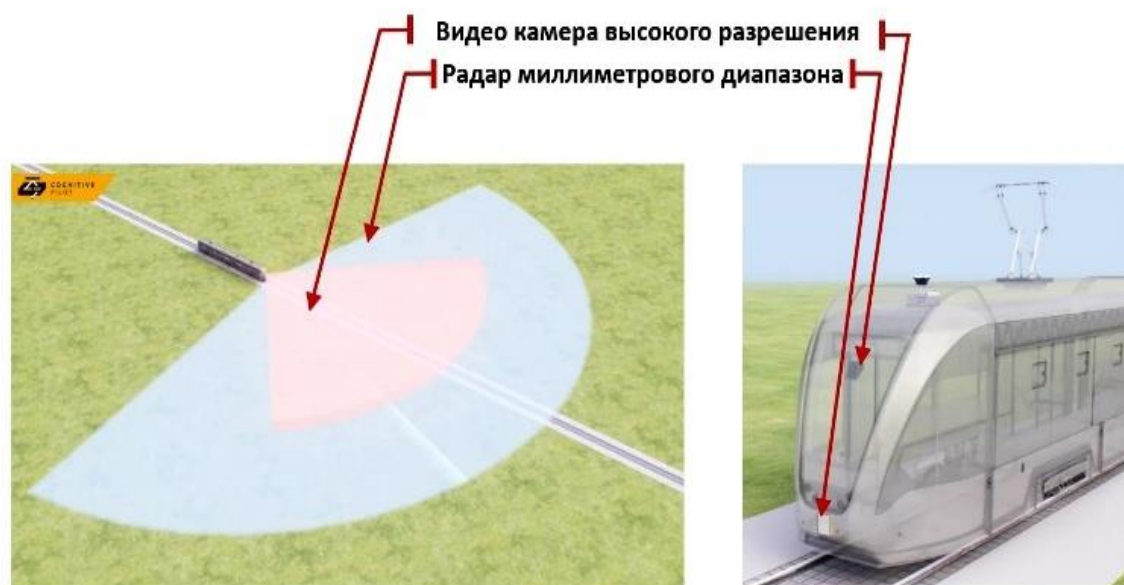


Рисунок 6.3 – Трамвай с беспилотной системой управления третьего уровня

На момент презентации «умного» трамвая, система Cognitive Tram Pilot соответствует критериям беспилотных систем третьего уровня (по международной классификации). Она обеспечивает устойчивое считывание т. н. объектов дорожной сцены: пешеходов, светофоров, транспортных средств, дорожных знаков. На основе этой информации система «понимает» дорожную обстановку, прогнозирует развитие дорожных ситуаций, оценивает вероятность столкновения и, в случае квалификации системой дорожной ситуации как опасной (например, когда обнаруживает объект на рельсах), предупреждает водителя. Если водитель не реагирует, система самостоятельно осуществляет торможение.

В 2019 г. в Потсдаме (Германия) началась эксплуатация первого в мире беспилотного трамвая с искусственным интеллектом Combino, изготовленного корпорацией Siemens совместно с компанией ViP и программистами из Университета Карлсруэ. Перед этим Combino прошел 2018-километровый тест-драйв по городу во время выставки InnoTrans. Трамваю искусственно создавали аварийные ситуации, но он успешно с ними справился.

В Англии разрешили управление трамваем с помощью компьютерного ассистента, но при условии нахождения за рулем вагоновожатого. Это позволило оснастить имеющийся парк трамваев искусственным интеллектом, что повысило качество вождения и уровень безопасности на городских улицах.

В 2020 г. CRRC Zhuzhou Locomotive (Китай) создала первый в мире беспилотный 7-вагонный трамвай на 380 пассажиров. Это уже маленький пассажирский поезд, способный разогнаться до 70 км/час, который вполне подходит в качестве скоростного общественного транспорта для доставки пассажиров в аэропорт или как поезд в метро.

В Москве российская компания Cognitive Pilot проводит испытания беспилотного трамвая на маршруте Останкино – Медведково. «Витязь М» умеет двигаться по маршруту, останавливаться на остановках и открывать двери, пропускать пешеходов, машины и останавливаться перед препятствиями. До этого компания успешно провела испытания ассистента водителя, который состоит из двух основных подсистем. Ограничение скорости (ОС) следит за тем, чтобы водитель не превышал скорость (на мостах – не выше 20 км/ч, а в тоннелях – 10 км/ч, проход стрелок – 5 км/ч). Другая – автоторможение (АТ), следит за тем, чтобы водитель никого не задавил: сбрасывает скорость (вплоть до полной остановки) перед опасностями на пути, красными сигналами светофора, закрытыми стрелками. При этом управление трамваем контролирует вагонновожатый.

На трамвае установлены РОЕ-камеры для промышленного зрения с разными объективами: передние – с дальним обзором, боковые – с широкоугольным объективом, а также лидар. Имеется радар собственной конструкции с обзором 160 градусов и дальностью действия 150 метров, который выручает при плохой видимости – во время тумана, дождя или снега. Для навигации используется высокоточный датчик GNSS. Обработка информации выполняется на вычислительном блоке 65 TFLOPS.

Технология Data Fusion сопоставляет сигналы нескольких десятков радаров и камер – это и есть машинное зрение трамвая. Камеры и радары взаимно дополняют друг друга: радары четко сканируют пространство в любую погоду, камеры позволяют считывать сигналы светофора и внимательно следить за окружающей обстановкой.

По сообщению разработчиков, поначалу беспилотный трамвай категорически отказывался подъезжать к остановкам, так как люди в ожидании прибытия транспорта подходили близко к рельсам. Пришлось снижать критерии реагирования системы перед остановками и повышать при движении на трассе, после этого трамвай перестал «бояться» стоящих на остановках людей.

В России Cognitive Pilot планирует оснащать трамваи по второму и третьему уровню автоматизации, а на следующем этапе, по интеграции с производителями, переходить к выпуску беспилотных трамваев. В ближайшее время компания по контракту с крупнейшим китайским оператором FITSCO запускает проект беспилотного трамвая в Шанхае.

Компания «Яндекс» также ведет разработки в этом направлении: беспилотный трамвай сейчас готовится к тестовым испытаниям в Краснопресненском трамвайном депо на улице Твардовского. По информации заместителя мэра Москвы по вопросам транспорта Максима Ликсутова, экспериментальный трамвай будет курсировать вначале по депо, затем пройдет испытания на одном из маршрутов в тестовом режиме – без пассажиров.

Выпускать беспилотные трамваи планирует «ПК Транспортные системы» (Санкт-Петербург), Уральский завод транспортного машиностроения («Уралтрансмаш»), Усть-Катавский вагоностроительный завод (УКВЗ).

Специалисты лаборатории «Промышленные системы потоковой обработки данных» Центра НТИ СПбПУ по заказу Санкт-Петербургского ГУП «Горэлектротранс» разработали макет городской трамвайной линии с использованием макетов трамваев в масштабе 1:87 для демонстрации возможностей беспилотного управления рельсовым общественным транспортом. Макет был представлен 18–20 октября 2021 г. в Санкт-Петербурге на V Международном инновационном форуме пассажирского транспорта SmartTRANSPORT.

В движущийся макет беспилотного трамвая установлена система технического зрения, в задачу которой входит распознавание объектов на пути следования (автомобили, опоры, светофоры, люди) и реагирование на них. Для этого в макете предусмотрены зоны интерактивного взаимодействия: на рельсы падает опора – трамвай при приближении к ней останавливается; на переезде появляется модель автомобиля – трамвай распознает препятствие и тормозит.

Макет также демонстрирует основные возможности систем автоматического управления движением трамвая: централизованное управление светофорами и трамвайными стрелками, контроль положения подвижного состава с помощью датчиков на путях, обеспечение движения по маршрутам с плановыми остановками. Сейчас макет передан в ГУП «Горэлектротранс» для дальнейшей отработки алгоритмов беспилотного движения и совершенствования программного обеспечения.

6.5 Скоростной трамвай в Минске

Минск отстал более чем на полстолетия от передовых стран Европы по созданию скоростного трамвая. Вопрос по скоростному трамваю до сих пор находится на стадии проекта. Пока только определена схема прокладки первой скоростной трамвайной трассы в столице. В соответствии с Генпланом развития города и рельсовых видов пассажирского транспорта 2016 года она пройдет от микрорайона Сухарево до железнодорожного вокзала. Ее протяженность составит 9,4 км.

«Минскградо» занимается градостроительным обоснованием развития транспортных систем столицы. А именно, в каком направлении должен пойти наземный пассажирский транспорт, какой пассажиропоток он будет обслуживать, какой подвижной состав нужно задействовать и т. д. К примеру, в европейском регионе легкий рельсовый транспорт или скоростной трамвай, который в основном сооружается в наземном исполнении, имеет преимущество проезда перекрестков, у него большие расстояния между остановочными пунктами, выше скоростной режим, нежели у классического трамвая.

Ориентировочно первая скоростная трасса трамвая от жилого района Сухарево до железнодорожного вокзала стартует в районе пересечения улице Шаранговича и Академика Федорова, где планируется разворотное кольцо. Затем пойдет по улицам Шаранговича, Пономаренко, Харьковской, пересечет железную дорогу около остановочного пункта Минск-Северный. Здесь скоростная линия должна быть увязана в один транспортный узел и со станцией метро «Молодежная». Дальше его трасса дойдет до улицы Клары Цеткин, свернет направо вдоль

площади Ф. Богушевича, улицы Бобруйской и выйдет в существующую трамвайную сеть на площади Мясникова, рядом с ж/д вокзалом. Новая ветка позволит оперативно доставлять жителей Сухарево и близлежащих микрорайонов в центр Минска. Пока специалисты не знают, как именно лучше пересечь трамваем крупный проспект Жукова и железную дорогу Молодечненского направления.

Время, затраченное пассажирами на такую поездку, будет зависеть от исполнения самой линии. На сегодняшний день скорость сообщения обычных трамваев составляет от 12 до 17 км/ч. Но нужно стремиться к большему. Поэтому трамвайное движение должно быть организовано в совершенно ином качестве и с другими скоростями. В наземном исполнении новый вид транспорта может развивать скорость до 20–25 км/ч. В эстакадном варианте его скорость возрастает до 30 км/ч, однако сооружение данной инфраструктуры обойдется городу примерно в три раза дороже. Для сравнения: средняя скорость автобусов и троллейбусов — от 15 до 18 км/ч, поездов в метро — около 42 км/ч, личный автотранспорт в городе движется в среднем со скоростью 30 км/ч.

Технико-экономическое обоснование проекта скоростной трамвайной трассы из Сухарево должно ответить на многие вопросы. В первую очередь, в каком исполнении она будет построена: наземном либо на эстакадах. Или же в смешанном, гибридном варианте, к которому пока и склоняются специалисты «Минскградо». Пересечение новой транспортной ветки с основными городскими магистралями возможно провести на разных уровнях. Скоростной трамвай в итоге поможет снизить пассажиропоток метрополитена, пересадочная станция которого «Октябрьская» — «Купаловская» уже достигла своего лимита, особенно в часы пик.

Предложение о постройке линии скоростного трамвая было вызвано тем, что на западе Минска, с населением 460 тысяч, с транспортным обслуживанием есть большие проблемы. Также предпочтение развитию трамвайных путей вместо линии метро вызвано дорогостоящей стоимостью последнего — сегодня прокладка метро стоит 112 миллионов долларов за километр. *Без учета возведения эстакад и тоннелей для скоростного трамвая ориентировочная стоимость сооружения 1 км трамвайного пути, в зависимости от условий строительства, примерно в 28–35 раз меньше стоимости 1 км метро. Даже с учетом эстакад и тоннелей расходы на 1 км наземной рельсовой дороги составят примерно 4–5,5 % от расходов на метро.*

Экономическая целесообразность строительства эстакад для экспрессных трамвайных маршрутов состоит в уменьшении продолжительности нахождения пассажиров в пути. Возрастает эффективность от снижения затрат на подвижной состав (он меньше изнашивается на экспрессных маршрутах), сокращение времени работы водителей трамваев и, как следствие, уменьшение их количества, а также потребления электроэнергии на один пассажирокилометр из-за уменьшения остановок. Исследования показывают, что сокращение времени рейса на 10 % дает нам в итоге 25 % экономии эксплуатационных расходов.

Не учтено здесь и уменьшение простоев других участников движения на перекрестках (трамвай имеет приоритет при пересечении перекрестков), ведь трамвай на эстакаде не мешает движению. Строительство эстакад примерно

от 4 до 8 раз менее затратно, чем строительство метро. Причем с точки зрения безопасности пассажиров трамвай на порядок более безопасен, чем метро.

Осенью 2017 года генеральный директор УП «Минскметрострой» Леонид Стухальский говорил, что строительство одного километра метро обходится в 70 миллионов долларов. Недавно Анатолий Сивак назвал цену в 80 миллионов долларов за километр. Продление третьей линии в Зеленый Луг оценили еще дороже: один километр потянет на 255 749 360 рублей в ценах на 1 января 2018 года или на 130 миллионов долларов. Сейчас специалисты называют похожую цифру: 237 миллионов рублей (112 миллионов долларов) за километр подземного пути.

А сколько будет стоить скоростной трамвай? Инженер отдела организации пассажирских перевозок ГП «Столичный транспорт и связь» Евгений Левин утверждает, что без учета возведения эстакад и тоннелей один километр трамвайного пути обойдется в 28–35 раз дешевле, чем один километр метро. То есть — в 3–4 миллиона долларов. А с учетом тоннелей и эстакад — в 18–25 раз дешевле метро, или в 4,5–6 миллионов долларов за километр. Известно, что скоростная линия протянется на 9,4 километра — значит, все работы потребуют от 42 до 58 миллионов долларов. Вся ветка примерно вдвое дешевле, чем лишь один километр подземки.

В Генплане Минска 2016 года первоочередным было сооружение скоростной трамвайной линии в микрорайон Серебрянка через улицу Тростенецкую. Однако численность населения Серебрянки, пользующегося услугами наземного пассажирского транспорта, ощутимо уступает Сухарево. К тому же в Серебрянке пока не наблюдается особых проблем в транспортном обслуживании местного населения. В целом на западе столицы вместе с линией метро скоростная трасса трамвая может охватить до 460 тыс. человек. Поэтому и было принято решение остановиться на более востребованном направлении строительства. Хотя изначально при развитии микрорайона Серебрянка уже были заложены варианты прохождения скоростной линии трамвая через построенные дорожные развязки. После Сухарево она, скорее всего, и пройдет в этот микрорайон.

По Генплану развития столицы на перспективу также заложено возведение аналогичной трамвайной трассы в направлении Национального аэропорта протяженностью 29,6 км и к поселку Лесной (7 км). В каком исполнении будет сам подвижной состав — 2–3 вагона или 5–6, — определится позже. Все будет зависеть от их пассажироместимости. Предполагается также, что участие в тендере на производство скоростных трамваев примут оба белорусских предприятия — ВКМ Holding («Белкоммунмаш») и ЗАО «Штадлер Минск».

6.6 Суперскоростной трамвай

Развитие информационных технологий и, в особенности, искусственного интеллекта [119], позволяет пересмотреть концепцию организации и управления современным городским транспортом. Будущее за автоматическим транспортом. Скоро на улицах городов появятся новые высокоэкономичные системы общественных автоматических перевозок.

Роботизированная, рельсовая городская транспортная система (суперскоростной трамвай) массовой конвейерной перевозки пассажиров – это создание

нового цифрового автоматического типа транспорта, в контуре управления которого человек отсутствует, способного перевозить в городской улично-дорожной среде количество пассажиров, сравнимое с метро [120–123].

Основатель кибернетики, американский математик Норберт Винер на заре развития этой науки говорил о возможности появления полностью автоматических заводов, где человека не будет. Полностью автоматические или с минимальным числом людей заводы уже появились. Теперь такое время наступило для транспорта. Беспилотный суперскоростной трамвай небольшой вместимостью – от 50 до 100 пассажиров позволит гибко удовлетворять потребности потребителей транспортных услуг в городе не по жесткому графику движения (расписанию), а по требованию пассажира, пришедшего на остановочный пункт.

Основным недостатком скоростного трамвая является недостаточно высокая скорость движения (30 км/час) и, следовательно, невозможность повысить провозную способность этого вида транспорта за счет скорости движения. Это ограничение носит принципиальный характер и его нельзя обойти. Как и в метро, пределом скорости является 42 км/час. Связано это с основным и неизбежным атрибутом всякого городского транспорта: делать остановки на каждом остановочном пункте маршрута. Потеря времени на торможение, разгон и на посадку – посадку пассажиров устанавливает предел скорости городского пассажирского транспорта даже при отсутствии каких-либо других помех, как это имеет место в метро.

Большие экономические потери транспорт несет на остановки и разгон от остановочных пунктов. Рассмотрим трамвайный маршрут, состоящий в прямом направлении из 12 остановочных пунктов. Если пассажиру необходимо проехать из начального пункта в конечный, то транспортное средство сделает 10 промежуточных остановок, не нужных пассажиру, прежде чем доставит его в пункт назначения. Примем, что на каждом промежуточном остановочном пункте с транспортного средства сходит 1/10 часть пассажиров, и загружаются новые. Таким образом, при каждой остановке бесполезно гасится кинетическая энергия, пропорциональная 9/10 массы пассажиров, которым не надо выходить на этой остановке. Также теряется энергия, относящаяся к массе транспортного средства.

Для того, чтобы как-то увеличить скорость сообщения, сократить энергетические и временные потери в транспортной системе скоростных трамваев, увеличивают дистанции между остановочными пунктами (см. таблицу 6.1), что, в свою очередь, ведет к снижению транспортной доступности для пассажиров. Частые остановки повышают износ деталей подвижного состава транспортной системы.

Самым существенным недостатком транспортной системы «скоростной трамвай» является отсутствие точной, объективной информации в режиме реального времени о мощности пассажиропотока на маршруте, что препятствует принятию оптимальных решений по выводу на маршрут такого количества транспортных единиц, чтобы покрыть этот пассажиропоток. Поэтому зачастую трамваи либо перегружены, либо недогружены.

И последнее. Транспортная система «скоростной трамвай» плохо влияет на улично-дорожную среду, так как предоставление трамваям преимущественного проезда на светофорах дискриминирует других участников дорожного движения. Суперскоростная транспортная система лишена всех этих недостатков.

Основой этой транспортной системы является инновационный принцип кассетно-конвейерной перевозки, который впервые разработан в лаборатории интеллектуальных транспортных систем Брестского государственного технического университета. Существо кассетно-конвейерного принципа перевозки пассажиров в городской среде подробно описано в разделе 1 на примере беспилотных электрокаров-инфобусов.

На рисунке 6.4 изображена трасса трамвайных путей суперскоростного трамвая. Трамвайные пути расположены посередине улицы и отгорожены от проезжей части. Из рисунка 6.4 видно движение двух кассет. Одна кассета состоит из двух инфобусов, вторая – из четырех. Здесь и в дальнейшем под инфобусом будет пониматься беспилотный скоростной трамвай на 50–100 пассажиров.

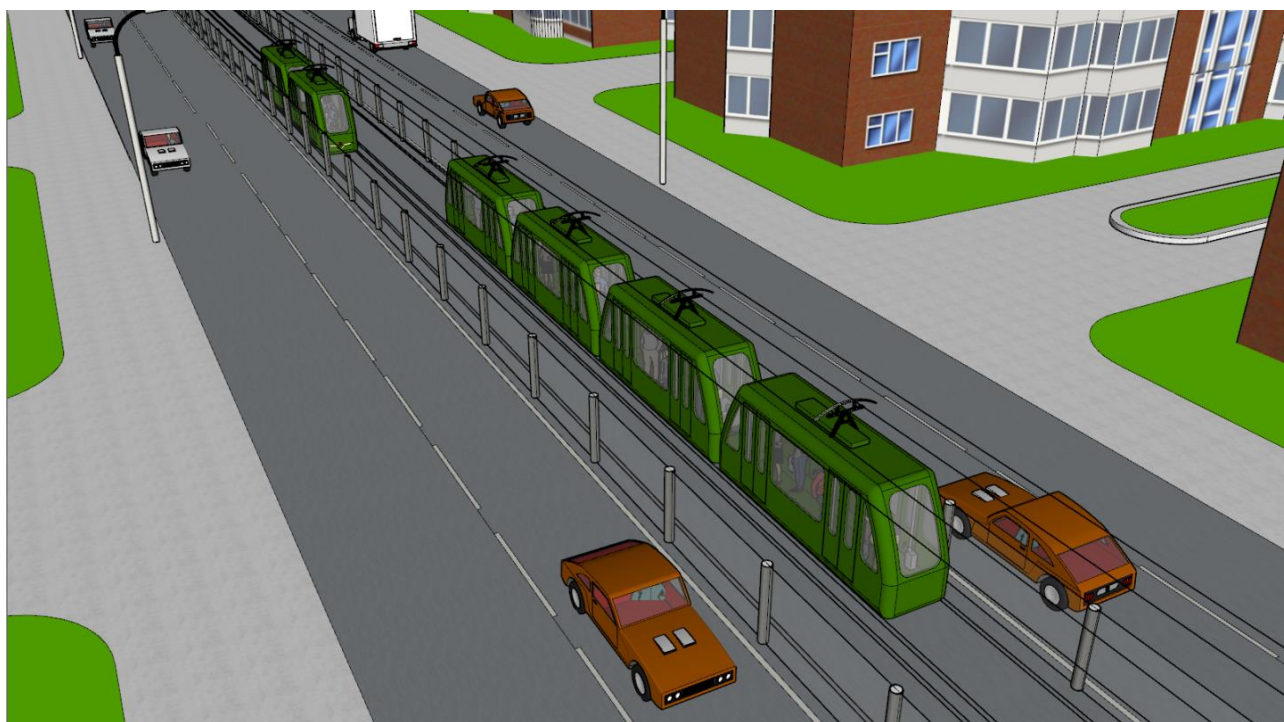


Рисунок 6.4 – Трасса трамвайных путей суперскоростного трамвая

Средняя скорость движения кассет на трассе составляет 100 км/час при максимальной скорости на некоторых участках маршрута до 150 км/час. Кассеты движутся одиночно либо в сборке от 2 до 6 инфобусов. Соединение в сборке виртуальное с межкассетным расстоянием 200 мм. Небольшие перекрестки кассетные сборки пересекают согласно сигналам светофора, с которым они вступают во взаимодействие, приближаясь к перекрестку. Большие, насыщенные транспортом перекрестки кассета пересекает либо по эстакаде (рисунок 6.5), либо по подземному тоннелю (рисунок 6.6).

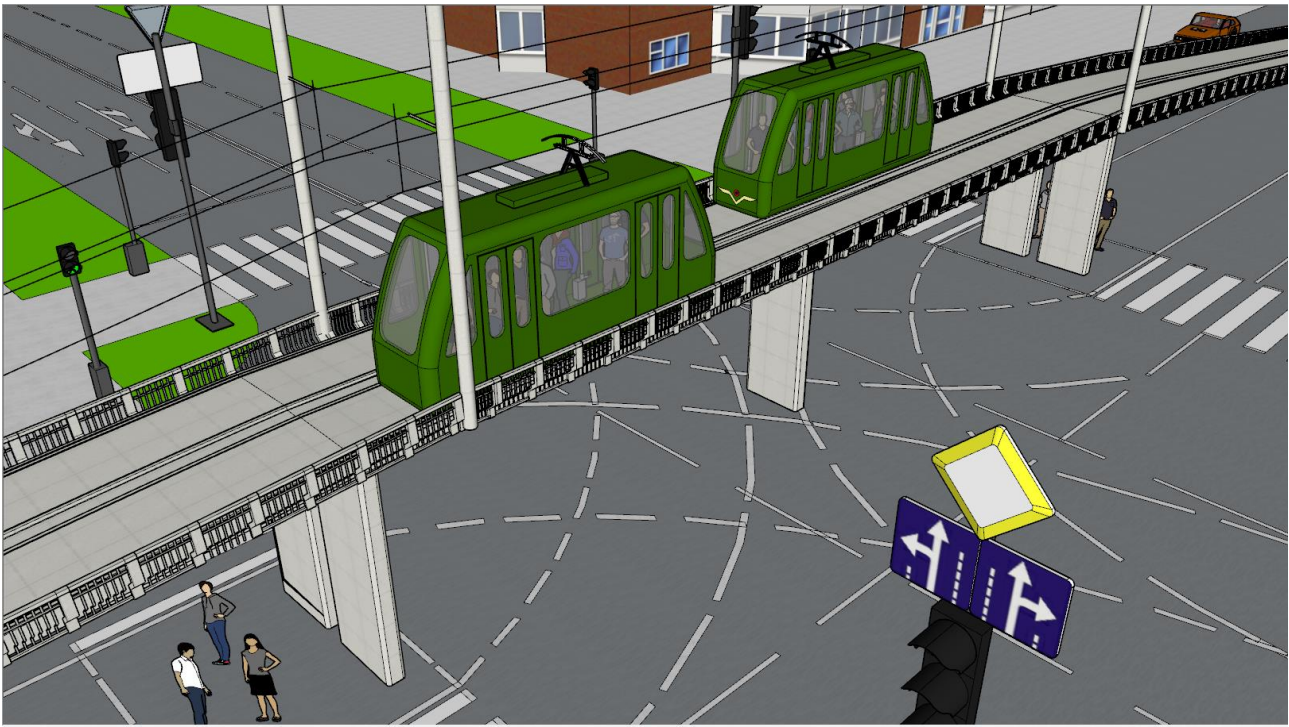


Рисунок 6.5 – Движение кассет по эстакаде

Пересечение некоторых напряженных перекрестков выполняется по эстакадам. Перед эстакадой скорость первого инфобуса в кассете не снижается, в то время как остальная часть кассеты понижает скорость. Таким образом, перед эстакадой кассета «рассыпается» на отдельные инфобусы, чтобы число одновременно находящихся на эстакаде инфобусов не превышало заданного уровня. За этим следит управляющий комплекс (сервер) системы. На каждом несущем перекрытии эстакады в любой момент времени находится не более заданного числа инфобусов. Этим обеспечивается легкость, ажурность конструкции эстакады, гармонично вписывающейся в городской пейзаж.

По подземному участку пересечения перекрестка инфобусы в кассете движутся в едином строю. Причем подземный тоннель более узкий, нежели чем для обычного трамвая, так как сам инфобус имеет небольшую ширину – 1524 мм, как рельсовая колея. Это сильно экономит дорогое улично-дорожное пространство. Две колеи по 1524 мм и плюс 52 мм расстояния между ними ($1524 + 1524 + 52 = 3100$ мм или 3,1 метра) составляют пространство движения кассет по двум направлениям.

Важным элементом данной транспортной системы является остановочный пункт или остановка длиной 40 метров, исходя из условия размещения максимального числа кассет (шести) и шириной в 1 метр (размер ограничен условиями улично-дорожной среды). Остановочный пункт закрытого типа. Пассажир, проходя через турникет, оплачивает проезд и одновременно указывает свою станцию назначения. Пассажиры уже на станции дифференцированы по конечному пункту назначения, и для них придет кассета, которая поедет на данную станцию, чем и будет обеспечен безостановочный проезд.



Рисунок 6.6 – Движение кассет по тоннелю

Остановочные пункты могут быть спаренными (рисунок 6.7), т. е. для прямого и обратного направления движения кассет они расположены рядом относительно перекрестка. На рисунке 6.8 остановочные пункты расположены по разные стороны перекрестка. В принципе, то или иное расположение станций равнозначно, так как в обоих случаях идет негативное сужение магистрали для других участников движения.



Рисунок 6.7 – Спаренные остановочные пункты



Рисунок 6.8 – Остановочные пункты по разные стороны от перекрестка

Из рисунка 6.7 видно, как пассажиры через пешеходный переход входят на станцию, где уже стоит кассета из трех инфобусов по одному направлению движения. По второму направлению движения кассеты нет и проходные к инфобусам турникеты закрыты для безопасности пассажиров, находящихся на станции. Они будут открыты, как только на нее придет очередная кассета. На рисунке 6.7 видны входные на станцию турникеты, на которых пассажир делает оплату проезда и указывает свою станцию назначения.

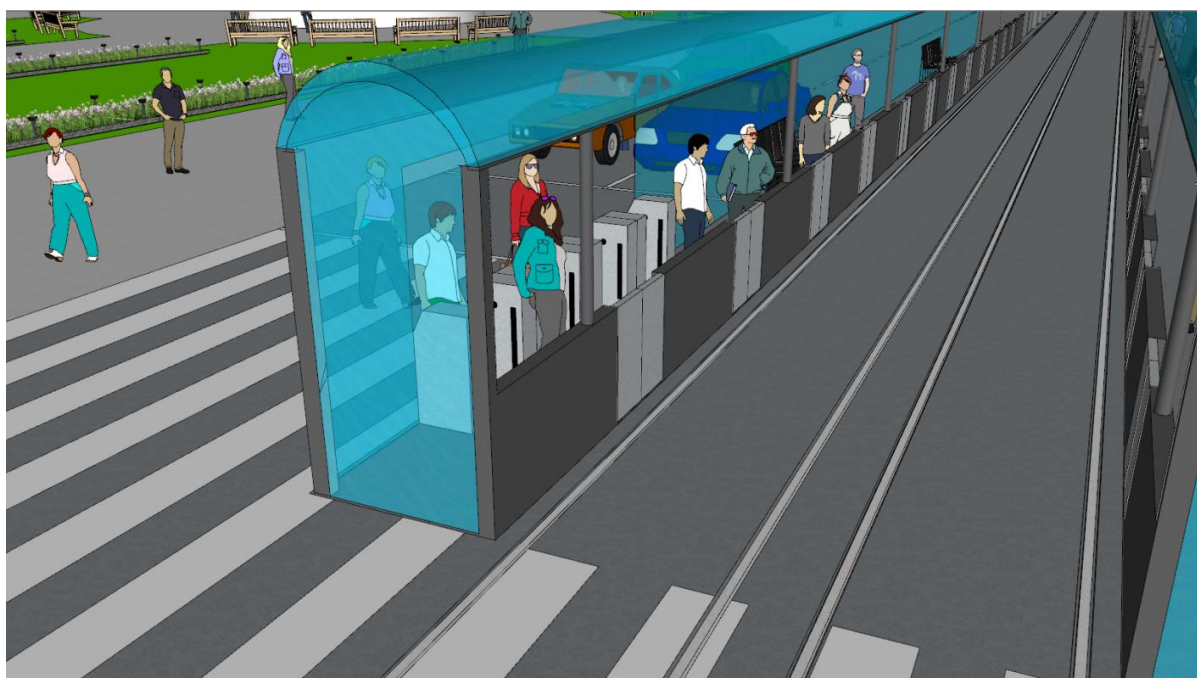


Рисунок 6.9 – Пассажиры в ожидании приезда очередной кассеты

На рисунке 6.9 кассет нет на обеих станциях. Проходные к кассетам турникеты закрыты, пассажиры ожидают прибытия кассет. Интервал движения кассет от 20 сек. и более. В основном он плавающий, в зависимости от пассажиропотока.

Вход на станцию возможно выполнять с подземного перехода. Это более безопасно, нежели с пешеходного перехода. На рисунке 1.10 станции расположены относительно перекрестка по разные стороны. Последнее не является принципиальным, так как по подземному переходу можно пройти на станцию и в случае парного расположения их. Вход на станцию по подземному переходу выполняет также функцию обычного перехода с одной стороны магистрали на другую.



Рисунок 6.10 – Вход на станцию с подземного перехода

Суперскоростной трамвай (инфобус) имеет следующие размеры: длина – 7000 мм (7 метров), ширина – 1524 мм, высота – 2500 мм. Имеет по три двери с каждой стороны размером по 1000 мм. Удельный вес дверей по отношению к длине инфобуса довольно высокий и составляет $3/7 = 0,43$, что способствует более быстрой загрузке и выгрузке пассажиров из салона транспортного средства. Последнее сокращает время нахождения транспортного средства на остановочном пункте, а следовательно, увеличивает среднюю скорость сообщения.

В суперскоростном трамвае имеется дополнительный фактор сокращения времени выгрузки пассажиров. Все пассажиры в салоне суперскоростного трамвая следуют на одну станцию назначения, и по приезду на нее все они сразу покидают салон транспортного средства без помех со стороны других пассажиров, как это имеет место в обычном транспортном средстве.

Количество мест для сидения в суперскоростном инфобусе минимальное (2–5). Связано это с тем, что маршрут в одну сторону в 10 км он проезжает за 6 минут при средней скорости 100 км/час. Среднее время нахождения пассажира в инфобусе составляет 3 минуты. Не успеешь присесть, как надо вставать. Расчетная плотность пассажиров в инфобусе максимальная и составляет 8 пасс/м². Связано это также с незначительным временем нахождения пассажира в инфобусе.

Внутренний салон инфобуса имеет размеры: в длину – 6,5 м., в ширину – 1,5 м. Площадь инфобуса $S = 6,5 \times 1,5 = 9,75 \text{ м}^2$. При плотности 8 пасс/м² объем инфобуса составит $V = 80$ пассажиров.

6.7 Провозная способность суперскоростного трамвая

Рассчитаем предельную (максимальную) провозную способность суперскоростного трамвая на примере насыщенной матрицы корреспонденций, т. е. матрицы, в которой каждый элемент m_{ij} максимален и равен объему инфобуса V . Алгоритм развозки пассажиров состоит из последовательных этапов, каждый из которых содержит две процедуры.

В первой процедуре выполняется развозка пассажиров построчным алгоритмом (по строке матрицы корреспонденций), во второй процедуре работает алгоритм по столбцу. Таким образом, это смешанный алгоритм развозки.

Так для первого этапа развозки выбирается первая строка матрицы корреспонденций. Для ее развозки потребуется $k-1$ инфобус объемом V . С накопителя 1 (рисунок 6.11) к первой остановке маршрута подъезжает кассета из k -первого инфобуса. В каждый инфобус загружаются пассажиры, следующие до одной общей остановки назначения. Таким образом, пассажир получает возможность безостановочного проезда до своей остановки.

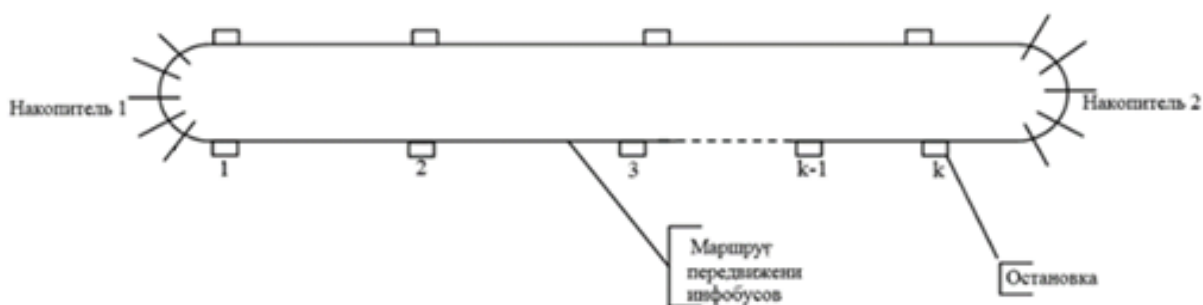


Рисунок 6.11 – Маршрут суперскоростного трамвая

В целях обеспечения бесконфликтности следования инфобусов, при развозке с первой остановки их отправка будет осуществляться сначала к дальним пунктам назначения, затем к ближним. То есть, в головной инфобус кассеты помещаются все пассажиры, следующие на последнюю k -остановку маршрута. Во второй инфобус кассеты загружаются пассажиры, следующие до k -первой остановки и т. д.

После того как загрузка пассажиров выполнена и первая строка матрицы корреспонденций обнулена, (то есть, на первой остановке больше ожидающих пассажиров нет) кассета отъезжает от первой остановки. При движении кассеты мимо второй остановки от ее конца отделяется инфобус и останавливается на остановке № 2. Из нее выходят пассажиры, следующие с остановки 1 на остановку 2 в количестве $m_{1,2}$. Это действие относится к первой процедуре первого этапа развозки пассажиров.

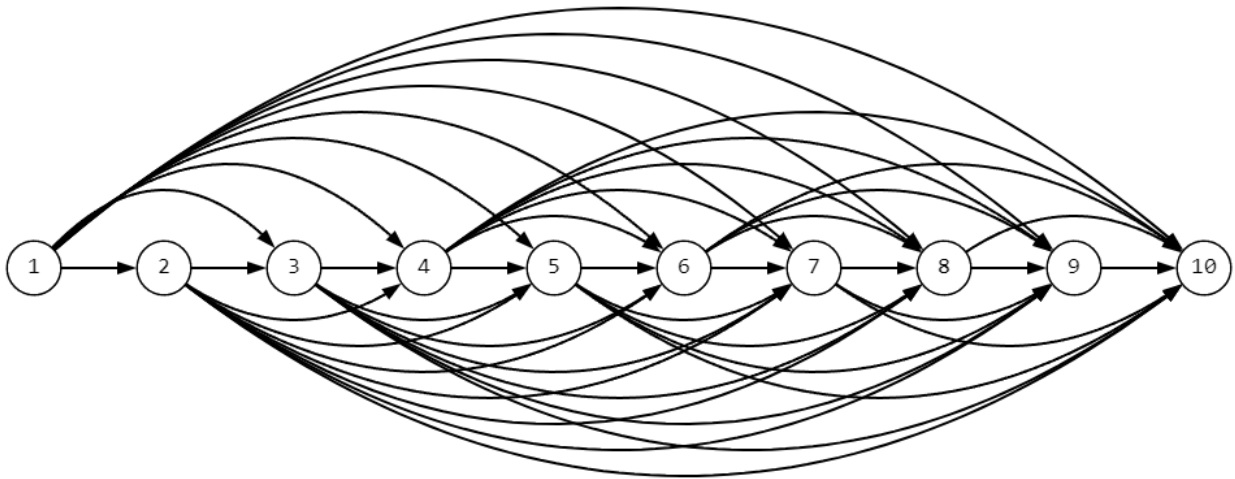


Рисунок 6.12 – Полный граф развозки G

Затем на остановке № 2 в нее загружаются пассажиры в количестве $m_{2,K}$, которые безостановочно проследуют от остановки 2 до остановки k маршрута. Это вторая процедура первого этапа развозки.

Оставшаяся часть кассеты из $k-2$ инфобусов продолжает движение к остановке № 3, где также от конца кассеты отделяется очередной инфобус и останавливается на остановке № 3 для выгрузки $m_{1,3}$ пассажиров и загрузки $m_{3,K}$ пассажиров. Загруженные на остановке 3 пассажиры в количестве $m_{3,K}$ проследуют безостановочно с остановки 3 также до остановки k . Аналогичный процесс выполняется для 4-й, 5-й и т. д. остановок вплоть до остановки $k-1$.

Этап 1

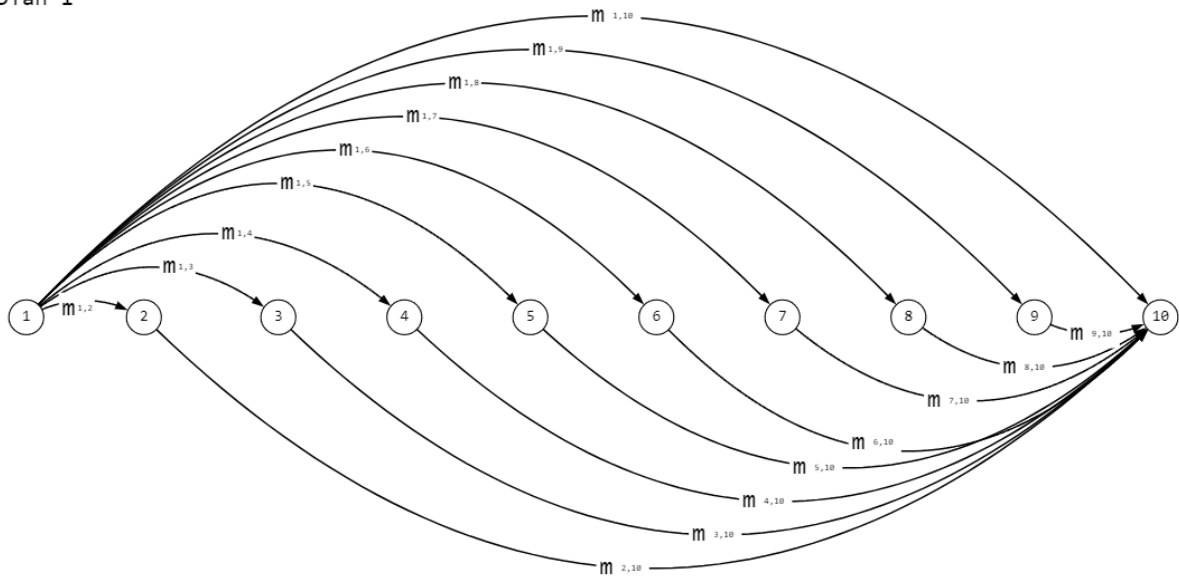


Рисунок 6.13 – Подграф G_1 полного графа развозок G

Описанный процесс иллюстрируется подграфом G_1 (рисунок 6.13) полного графа развозок G из 10 вершин (рисунок 6.12), т. е. маршрут по одному направлению состоит из десяти остановок. Ребра подграфа G_1 , расположенные выше горизонтали, на которой расположены вершины графа (рисунок 6.13) относятся к первой процедуре; ко второй процедуре относятся ребра ниже этой горизон-

тали. Процедура 1 реализует алгоритм развозки по строке, процедура 2 – алгоритм по столбцу.

В результате первого этапа выполнения процедуры 1 будут развезены все пассажиры с первой остановки (верхняя часть подграфа G_1). Первая строка матрицы корреспонденций станет нулевой.

Также будут перевезены все пассажиры маршрута, следующие до остановки k (нижняя часть подграфа G_1). Это процедура 2 первого этапа. В результате k -й столбец матрицы корреспонденций также обнуляется. После выполнения первого этапа развозки начальная матрица корреспонденций M_z принимает следующий вид:

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{23} & \dots & \dots & m_{2j} & \dots & m_{2k-1} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & m_{ii+1} & \dots & m_{ij} & \dots & m_{ik-1} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & m_{k-1k-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Инфобусы из кассеты первого этапа вновь собираются в кассету на конечной k -й остановке маршрута. На k -остановку все они придут одновременно, кроме головного инфобуса кассеты, который, в отличие от всех других инфобусов, не делает остановок на маршруте и прибывает раньше (см. подграф G_1 на рисунке 6.13). Все остальные инфобусы придут на k -ю остановку одновременно, так как все они делали по одной остановке, равной длительности t_{63} ($t_{63} = 20-30$ сек.) на выгрузку и загрузку пассажиров.

Этап 2

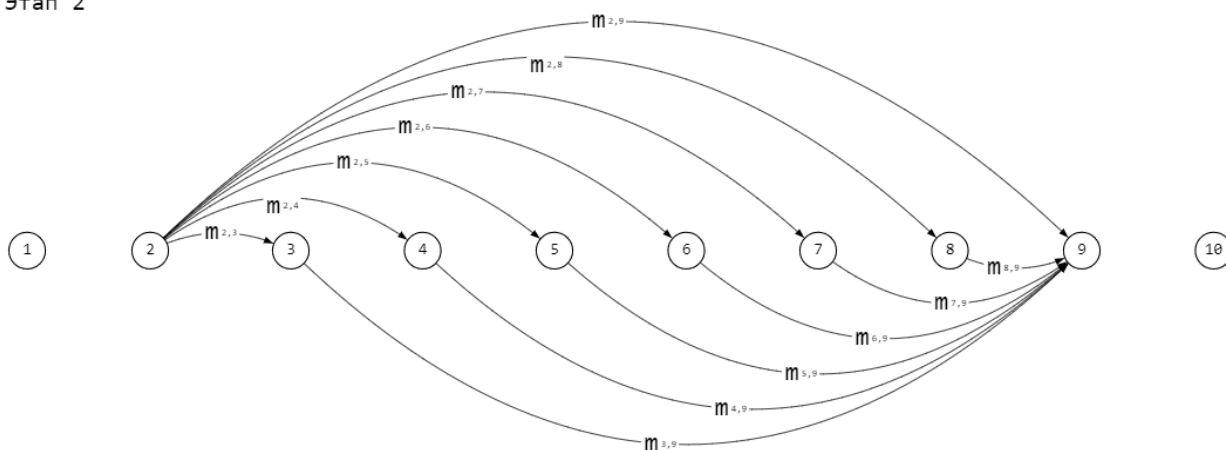


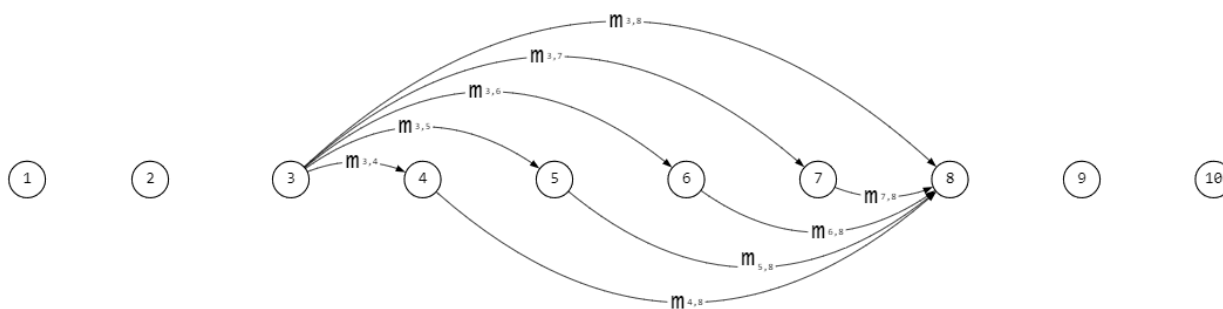
Рисунок 6.14 – Подграф G_2 полного графа развозок G

На втором этапе развозки задающей остановкой является остановка № 2, на которой выполняется формирование второй кассеты. Она пойдет по маршруту вслед за первой с задержкой t_{63} . В соответствии с процедурой 1 все пассажиры

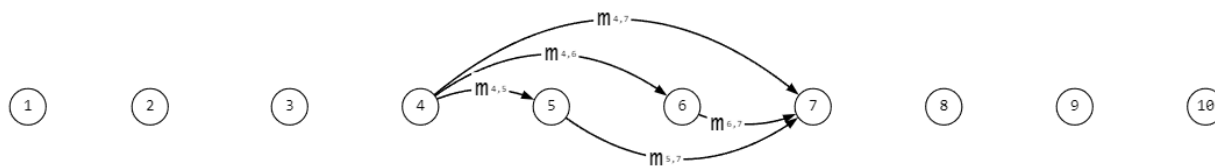
второй остановки будут развезены (алгоритм по строке), а также будут развезены все пассажиры маршрута, следующие до остановки $k-1$ (алгоритм по столбцу). В матрице корреспонденций обнуляется вторая строка и $k-1$ столбец. Граф развозки G_2 второго этапа перевозки изображен на рисунке 6.14.

Аналогичным образом выполняются третий и последующие этапы развозки пассажиров. Число этапов определяется выражением $C = \lfloor k/2 \rfloor$, где $\lfloor k/2 \rfloor$ – ближайшее целое число в сторону уменьшения, если выражение дробное. Так для маршрута на рисунке 6.11 из десяти остановок ($k = 10$) число этапов будет 5. Графы развозок 3-го, 4-го и 5-го этапов перевозки изображены на рисунке 6.15.

Этап 3



Этап 4



Этап 5

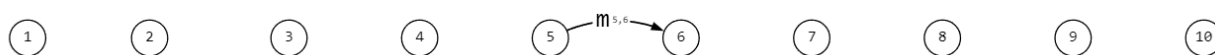


Рисунок 6.15 – Подграфы G_3 , G_4 и G_5 полного графа развозок G

Рассчитаем провозную способность транспортной системы «суперскоростной трамвай» при следующих начальных условиях:

- число остановок одного направления маршрута $k = 10$;
- протяженность маршрута $L = 10$ км;
- вместимость инфобуса $V = 80$ пассажиров;
- рабочая (максимальная) скорость движения $v = 150$ км/час;
- ускорение разгона $a = 1,5$ м/с²;
- ускорение торможения $b = 1,8$ м/с²;
- время остановки для выгрузки и загрузки пассажиров $t_{\text{вз}}$ = 20 сек.

Рассчитаем время, необходимое для полной перевозки всех пассажиров насыщенной матрицы корреспонденций. На рисунке 6.16 представлена диаграмма движения инфобуса первой кассеты (этап 1). Она состоит из дистанции разгона S_p с 1-й остановки, торможения S_T на i -й остановке (в данном случае на рисунке

6.16 – на второй), дистанции разгона S_p со 2-й остановки, дистанции S_T торможения и остановки на k -м остановочном пункте. Диаграмма движения головного инфобуса кассеты изображена на рисунке 6.17. Он движется безостановочно от первой остановки к последней k -й и у него только один разгон от первой остановки и торможение на k -й. В данном примере 10-й.

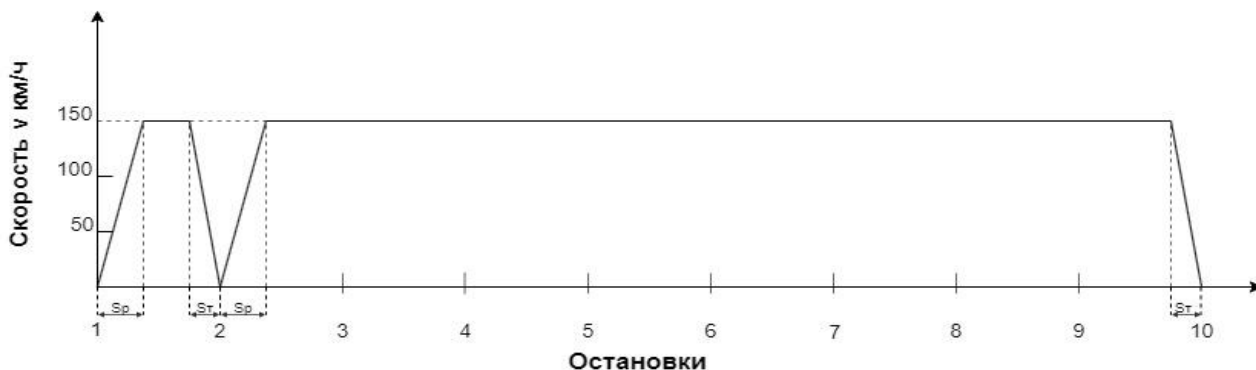


Рисунок 6.16 – Диаграмма движения инфобуса первой кассеты

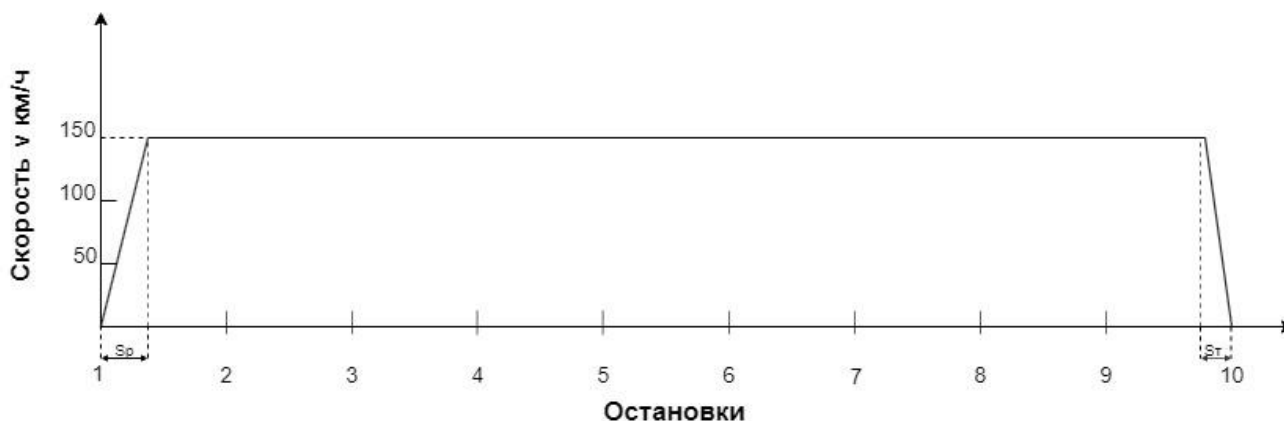


Рисунок 6.17 – Диаграмма движения головного инфобуса кассеты

Все остальные инфобусы в кассете делают по одной остановке на протяжении маршрута. На конечную k -ю остановку все инфобусы кассеты первого этапа развозки прибывают одновременно, так как с первой остановки они начали движение в единой кассете, имели равную скорость и сделали каждый по одной остановке. В процессе движения каждый инфобус отделялся от конца кассеты, чтобы сделать единственную остановку для загрузки и выгрузки пассажиров.

Рассчитаем время, необходимое для перевозки пассажиров первого этапа развозки. Это время будет состоять из времени на разгон t_p до рабочей скорости $v = 150$ км/час инфобуса от 1-й остановки, времени на торможение t_T и разгон t_p на i -й остановке, времени самой остановки $t_{\text{вз}} = 20$ сек (выгрузка, загрузка), времени t_c равномерного движения со скоростью $v = 150$ км/час и торможения на k -й (10-й) остановки (см. рисунок 6.16).

Рассчитаем время разгона t_p кассеты до рабочей скорости $v = 150$ км/час (41,6 м/сек):

$$t_p = v/a = 41,6/1,5 = 27,7 \text{ сек.}$$

Рассчитаем пройденный кассетой путь при разгоне:

$$S_p = at^2/2 = 1,5 \times 27,7 \times 27,7/2 = 575,47 \text{ м.}$$

Рассчитаем время торможения t_T кассеты до полной остановки:

$$t_T = v/b = 41,6/1,8 = 23,11 \text{ сек.}$$

Рассчитаем пройденный кассетой путь при торможении:

$$S_T = b t^2/2 = 1,8 \times 23,11 \times 23,11/2 = 480,66.$$

Рассчитаем полное время движения кассеты в режимах разгона и торможения:

$$t_{pT} = 2 (t_p + t_T) = 2 (27,7 + 23,11) = 101,62 \text{ сек.}$$

Рассчитаем длину пути движения кассеты в режиме равноускоренного (разгон) и равнозамедленного (торможение) движения. На всем маршруте движения кассеты были две дистанции равноускоренного и две дистанции равнозамедленного движения (рисунок 6.16). Суммарный путь равен:

$$S_{pT} = 2 (S_p + S_T) = 2 (575,47 + 480,66) = 2112,26 \text{ м.}$$

Рассчитаем длину пути кассеты в режиме равномерного движения:

$$S_c = L - S_{pT} = 10000 - 2112,26 = 7887,74 \text{ м.}$$

Рассчитаем время равномерного движения кассеты на маршруте:

$$t_c = S_c / v = 7887,74:41,6 = 189,6 \text{ сек.}$$

Рассчитаем полное время движения первой кассеты на маршруте с учетом времени остановки кассеты для выгрузки и загрузки пассажиров

$$T_{n1} = t_{pT} + t_c + t_{\text{вз}} = 101,62 + 189,6 + 20 = 311,22 \text{ сек. или } 0,086 \text{ часа.}$$

Выше было рассчитано полное время T_{n1} движения кассеты первого этапа. Кассета второго этапа (вторая кассета) идет вслед за первой с задержкой на время выгрузки и загрузки $t_{\text{вз}} = 20$ сек. Третья кассета также идет с задержкой $t_{\text{вз}} = 20$ сек относительно второй кассеты и т. д. Так как этапов пять (и кассет 5), то полное время задержек между кассетами составит 80 сек. Добавляем 80 сек к T_{n1} и получим $311,22 + 80 = 391,22$ сек. или 0,108 час.

Вычислим число перевезенных пассажиров по матрице корреспонденций. Число элементов матрицы корреспонденций на маршруте из 10 остановок равно $(10 \times 10 - 10) / 2 = 45$. Каждый элемент содержит 80 пассажиров. Итого перевезено 3600 за время 0,108 часа. Рассчитаем провозную способность системы «суперскоростной трамвай»: $3600 / 0,108 = 33333,33$ пасс/час., что сравнимо с метрополитеном, но на два порядка дешевле и что в 1,33 раза выше, нежели в скоростном трамвае (25000 пасс/час).

Рассчитаем среднюю скорость движения кассет на маршруте:

$$L/t = 10\,000 / 391,22 = 25,56 \text{ м/сек} = 92 \text{ км/час.}$$

Следует отметить, что кассеты второго, третьего и т. д. этапов прибывают на конечную *к-ю остановку* почти одновременно с кассетой первого этапа с задержкой $t_{63} = 20$ сек. То есть, объект движения выглядит как одна единая кассета, в которой постоянно идут процессы разъединения, выхода инфобусов из кассеты (для остановки и выгрузки и загрузки пассажиров) и вновь присоединения к кассете. При этом соблюдается принцип конвейера, то есть никто никого не обгоняет. Также такой алгоритм развозки исключает конфликтность между инфобусами, то есть при движении полная синхронизация и никто никого на маршруте не задерживает.

Таким образом, кассетность, конвейерность, синхронизированность и высокая алгоритмизированность процессов позволяют данной транспортной системе достичь параметров метро, а по некоторым позициям значительно превзойти их.

Таблица 6.2 – Сравнительная характеристика суперскоростного и скоростного трамвая

Скоростной трамвай	Суперскоростной трамвай	Преимущества
1	2	3
Система функционирует при управлении человеком	Система функционирует при полном отсутствии человека	Высокий уровень безопасности движения. Сокращение числа ДТП, травм и смертей. Минимизируется негативное влияние человеческого фактора, который по статистике является причиной почти 80 % ДТП
Нет единого контура управления	Система беспилотный суперскоростной трамвай увязана единым контуром управления	Единая система управления обеспечивает оптимальный режим эксплуатации без простоев и неэффективного использования транспортных средств
Система слабо адаптирована к пассажиропотоку	Система максимально адаптирована к пассажиропотоку	Система работает по требованию пассажира на обслуживание и перевозку с минимальным временем ответа на запрос
Общественный транспорт	Сочетает в себе признаки личного и общественного транспорта	Высокая провозная способность, минимальное время на ожидание транспорта
Выделенная полоса в общем потоке движения транспорта	Выделенная специально оборудованная полоса	Эффективное использование пропускной способности дорог. Оптимальный скоростной режим существенно сократит дорожные заторы
Работает по графику	Работает по ежедневно 24 ч. в сутки	Высокие потребительские качества
Средняя скорость движения 25–30 км/ч	Высокая средняя скорость движения 60–90 км/ч	Увеличение провозной способности системы в 1,5 раза Сокращение времени поездки пассажира

Средняя провозная способность 25 тыс. пассажиров в час	Высокая провозная способность 33,3 тыс. пасс/час	Высокая степень удовлетворения потребностей населения в перевозках
Высокий уровень изнашиваемости механических частей транспорта	Низкий уровень изнашиваемости механических частей транспорта	Сокращение эксплуатационных затрат
Высокий уровень расхода электроэнергии на километр пути	Низкий уровень расхода электро-энергии на километр пути	Экономия электроэнергии
Наличие водителя трамвая	Отсутствие водителя	Экономия на заработной плате водителя

Перечислим основные качества суперскоростной трамвайной системы:

1. Полная адаптивность к пассажиропотоку.
2. Быстрое формирование транспортного средства любого объема.
3. В два раза меньшее потребление дорогого городского пространства на прокладывание путей.
4. Меньший радиус разворота на поворотах.
5. Распределенная нагрузка на полотно имеет меньшие требования к рельсам и, следовательно, удешевляет строительство.
6. Меньшая шумогенерация в экологии города.
7. Облегченный тип эстакад, меньший радиус тоннельного входа по подземному проезду.
8. Высокая энергоэкономичность.
9. Маневренность.
10. Массовое производство однотипных и малогабаритных инфобусов трамвайного типа.
11. Малое время ожидания транспорта пассажиром.
12. Высокая скорость доставки пассажира (безостановочная) до места поездки.
13. Высокая транспортная доступность;
14. Провозная способность такой транспортной системы может варьироваться в широких пределах и приближается к провозной способности метро.
15. Низкие амортизационные расходы.

Выводы

1. Во всем мире идет процесс ренессанса трамвая. Разрабатываются новые скоростные трамвайные линии в передовых странах Европы. Обычный трамвай становится скоростным путем отделения линии его движения от других участников дорожного движения, а также за счет удлинения перегонов между остановками. Последнее ухудшает транспортную доступность остановочного пункта для пассажира.

2. Минск на полвека запоздал с разработкой скоростного трамвая. С появлением концепции суперскоростного трамвая на принципах новой транспортной технологии кассетно-конвейерных городских скоростных пассажирских перевозок Минск может пропустить фазу строительства скоростного трамвая и сразу, впервые в мире, реализовать суперскоростную трамвайную систему. Такая транспортная система в 80 % случаев может исключить строительство дорогого метро, так как имеет высокую провозную способность, приближающуюся к метро.

ГЛАВА 7 МЕТРОПОЛИТЕН. МЕТРО ЩЕЛЕВОГО ТИПА

7.1 *Метрополитен*

Метрополитен — рельсовый вид ГПТ с обособленным путевым устройством тоннельного, наземного или эстакадного исполнения. В настоящее время линии метрополитенов прокладывают преимущественно в подземном уровне, так как в наземном исполнении они нарушают другие транспортные связи города и загромождают городскую территорию.

Подземная трассировка линий определяет высокий уровень капитальных затрат на метрополитене, основная доля которых приходится на тоннели. Стоимость прокладки линий метрополитена составляет примерно 10–18 млн. руб/км одиночного пути, т. е. в 100 раз превышает стоимость прокладки двухколейного трамвайного пути современной конструкции. При прокладке линий метрополитена в тюбах глубокого заложения площадь выработки растет пропорционально квадрату диаметра тюба. Хотя стоимость тоннеля растет медленнее, чем диаметр его поперечного сечения, тем не менее по строительным затратам очевидна экономическая выгодность тоннелей малого сечения. Но малые габариты тоннелей заставляют применять малогабаритный подвижной состав с ограниченной провозной способностью, поэтому габариты тоннелей метрополитенов в разных странах приняты с учетом ожидаемых пассажиропотоков разными, включая и габариты рамных тоннелей мелкого заложения.

В соответствии с принятыми габаритами тоннелей различают три класса метрополитенов:

1. Метрополитены с железнодорожным габаритом подвижного состава (в Нью-Йорке, Лондоне на сети мелкого заложения). Основное преимущество этих метрополитенов — возможность прямой беспересадочной связи линий городских и пригородных железных дорог.

2. Метрополитены с нормальным габаритом подвижного состава (меньшим железнодорожного): шириной 2,4–2,7 м, высотой 3,4–3,7 м и длиной 16–19 м. К таким метрополитенам относятся Московский, Парижский и др. Подвижной состав отечественных метрополитенов имеет габаритную длину 18,77 м, ширину 2,7 м, высоту 3,795 м и базу 12,6 м.

3. Метрополитены с трамвайными габаритами подвижного состава (мини-метрополитены). Такие метрополитены часто называют подземным или скорост-

ным трамваем, в особенности, если их трасса проходит и в подземном, и в наземном уровнях. В настоящее время они получают широкое распространение.

В связи с прямой экономической выгодой возможно более полного использования габарита тоннелей требования к точности габаритов на метрополитенах значительно выше, чем на трамвае и других видах наземного ГПТ.

Строительство метрополитенов требует значительного времени. Их тоннели рассчитаны на эксплуатацию до 500 лет, маневренность транспортной сетью практически исключается. Однако мобильность градостроительства, развитие городов во времени от этого практически не страдают. Линии метрополитенов оказывают глубокое градообразующее влияние на окружающую застройку и в то же время при подземной трассировке не загромождают улиц и не мешают застройке.

Эксплуатационные расходы на метрополитенах значительны, что определяется главным образом необходимостью постоянного наблюдения за протечками грунтовых вод. Количество точек протечки грунтовых вод на новых линиях метрополитенов может достигать до 1000–1500 на 1 км пути. Большие эксплуатационные расходы связаны также с обслуживанием станций, эскалаторов и переходов между станциями.

В связи с высокой стоимостью станций, а также по соображениям повышения скоростей сообщения подвижного состава перегоны на линиях метрополитенов принимают 1–2,5 км — примерно в 2–3 раза большими, чем на линиях наземного ГПТ. При таких перегонах реализуются скорости сообщения подвижного состава до 35–40 км/ч.

Требования безопасности движения на метрополитенах выше, чем для наземного ГПТ вследствие особой опасности наездов в тоннелях и весьма ограниченной видимости пути. Максимальную безопасность движения обеспечивает трассировка линий метрополитена с пересечениями в разных уровнях, принятая в Москве, Париже и других городах, но она исключает маневренность маршрутной системы и затрудняет пересадку пассажиров, которая связана с большими затратами времени на переходы между станциями и внутри них. С учетом этого реальная скорость сообщения пассажиров метрополитена примерно вдвое ниже по сравнению со скоростью сообщения подвижного состава, а при поездках на короткие расстояния не превышает иногда 10–15 км/ч, т. е. даже ниже, чем при использовании наземного ГПТ. Поэтому метрополитен используется пассажирами в основном как скоростной вид транспорта при поездках на большие расстояния. В метрополитенах, например, Нью-Йорка, Лондона и некоторых других городов линии трассированы частично с пересечениями в разных уровнях и частично в одном, что позволяет создавать маршрутные системы, подобные трамвайным. Однако это снижает условия безопасности движения поездов и приводит к увеличению времени ожидания их на станциях.

По экономическим соображениям метрополитены используют в качестве основных скоростных транспортных систем в столичных и крупнейших городах I и II групп с населением не менее 500 тыс. человек, а линии их прокладывают

по наиболее пассажиронапряженным направлениям с устойчивым пассажиропотоком не менее 25–30 тыс. пасс/ч в одном направлении движения. Экономическая плотность транспортной сети вследствие больших капитальных затрат в тоннели сравнительно невелика и не превышает 0,5 км/км² селитебной территории города.

Подвижной состав метрополитенов по конструкции и основным узлам оборудования, за исключением более жестких габаритных ограничений и требований надежности, близок к подвижному составу трамвая. Вагоны проектируют, как правило, четырехосными на двух двухосных поворотных тележках или шарнирно-сочлененными. Внутреннюю планировку, а также количество и расположение дверей выбирают с учетом сравнительно короткого времени пребывания пассажиров в подвижном составе и требований ускорения пассажирообмена в целях сокращения времени стоянок на станциях. В связи с большим пассажирообменом на станциях, в 2–4 раза превышающим пассажирообмен подвижного состава трамвая, вагоны метрополитена выполняют с большим количеством дверей, продольным расположением сидений, широкими проходами и большими накопительными площадками у дверей. Специализация дверей на вход и выход пассажиров, требующая переходов пассажиров внутри вагонов, обычно отсутствует. Общая ширина дверей составляет около 0,4 длины вагонов против приблизительно 0,2 у вагонов трамвая. Для ускорения и облегчения пассажирообмена уровень пола вагонов метрополитена располагают на уровне посадочных платформ.

Оборот подвижного состава метрополитенов с целью экономии площадей производят обычно на тупиковых путях без оборотных колец, поэтому вагоны имеют двустороннее управление и двустороннее симметричное расположение дверей.

Энерговооруженность вагонов (мощность тяговых двигателей в расчете на единицу массы вагона без пассажиров) составляет 8–15 кВт/т, т. е. соизмерима с энерговооруженностью трамвайных вагонов. Тот же порядок цифр имеют и динамические показатели подвижного состава (за исключением более высокой скорости): среднее пусковое ускорение и замедление при служебном торможении 0,9–1,5 м/с², замедление при экстренном торможении 1,0–2,5 м/с², максимальная скорость движения 70–90 км/ч.

Современный подвижной состав метрополитенов имеет, как правило, групповую автоматическую систему управления, обеспечивающую управление всеми вагонами поезда по «системе многих единиц» из кабины машиниста головного вагона от одного контроллера управления. Для управления пуско-тормозными режимами обычно используют системы реостатного регулирования. В последнее время на подвижном составе метрополитенов и наземного ГПТ (трамвая и троллейбуса) внедряют бесконтактные тиристорно-импульсные системы управления, обеспечивающие снижение до 30 % расхода электрической энергии на движение, повышенную плавность пуска и торможения и эксплуатационную надежность. Снижению расхода электрической энергии на движение и

облегчению динамического режима работы поездов метрополитена способствует также специальная трассировка пути в профиле на перегонах между станциями. Особенность метрополитенов по сравнению с наземным ГМПП — использование железнодорожных систем автоблокировки, так как система организации движения по принципу прямой видимости транспортной обстановки, принятая на наземном ГПП, для метрополитенов неприемлема. Автоблокировка обеспечивает необходимую безопасность движения при достаточно высокой частоте движения поездов.

Вследствие сравнительной легкости автоматизации управления движением подвижного состава, обусловленной отсутствием помех движению, на метрополитенах в настоящее время широко применяют системы автомашиниста — управление и оптимизацию режимов движения поездов с использованием электронных вычислительных машин (ЭВМ). Впервые в мире система автомашиниста была осуществлена и испытана в 1957–1958 гг. в СССР. В настоящее время различные варианты автомашиниста внедрены и внедряются на Московском, Ленинградском, Парижском, Стокгольмском и других метрополитенах.

Одним из главных преимуществ метрополитенов перед другими традиционными видами ГПП, кроме сравнительно высокой скорости сообщения подвижного состава, является высокая провозная способность, определяемая большой вместимостью поездов и сравнительно высокой частотой движения. При интервале 1,5 мин (40 поездов/ч в одном направлении движения), вместимости вагона 170 пасс. и 8-вагонном поезде теоретическая провозная способность линии метрополитена составляет $40 \cdot 170 \cdot 8 = 54\,400$ пасс/ч. Минимальный интервал движения на линиях отечественных метрополитенов в часы пик составляет около 90 с, а частота – 28–40 поездов в час. В настоящее время ведутся большие работы по повышению пропускной и провозной способности наиболее загруженных линий за счет разработки и внедрения систем автомашиниста, автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) и автоблокировки, оснащения метрополитенов новым подвижным составом с улучшенными характеристиками, разработки и внедрения автоматизированных систем управления (АСУ) метрополитена.

Метрополитены функционируют сегодня во множестве городов по всему миру: с 1955 по 2010 г. количество этих транспортных систем выросло с 20 до 110. Сооружение метрополитенов преследует две главные цели.

Во-первых, при выполнении больших объемов пассажирских перевозок в мегаполисах метрополитены превосходят любой иной вид транспорта по показателям скорости, надежности, безопасности, а также удельных затрат в расчете на одного пассажира. Это главное преимущество метрополитенов в равной мере проявляется в крупнейших городах как развивающихся, так и промышленно развитых стран – к примеру, в Каракасе, Сан-Паулу, Москве, Токио, Сеуле и Пекине.

Во-вторых, метрополитены (при соблюдении надлежащих стандартов надежности, комфортной скорости и качества перевозок) способны создать привлекательную альтернативу автомобильным поездкам. Наличие метрополитенов ока-

зывают значительное влияние на развитие городов, характер застройки и землепользования. Эти транспортные системы обеспечивают высокую мобильность населения на всей территории крупных городов, включая плотно застроенные городские центры и транспортные коридоры, связывающие центр и периферию. За счет высоких провозных возможностей и внеуличного трассирования метрополитены в значительной мере снижают загрузку улично-дорожной сети и спрос на места для парковки. В результате город становится более удобным для жизни, а его функционирование – более устойчивым.

7.2 Предельные возможности метрополитена как транспортной системы

7.2.1 Скорость перемещения пассажира. По статистике средняя дальность поездки пассажира на Московском метрополитене составляет сегодня около 10,8 км. На метрополитенах с менее развитой сетью линий она еще меньше: на метрополитене Санкт-Петербурга средняя дальность поездки пассажира — 9,7 км, на Бакинском метрополитене — 8,4 км, а на Ташкентском метрополитене — 6 км. На Московском метрополитене скорость сообщения (средняя скорость движения с учетом времени остановки) метropоездов между станциями, расположенными под землей, составляет 41,3 км/ч, на метрополитене Санкт-Петербурга — 39 км/ч, а на Ташкентском метрополитене — 39,4 км/ч. Самая высокая скорость сообщения метropоездов сегодня — на Минском метрополитене — 41,4 км/ч.

Как известно, за время поездки среднестатистический пассажир проводит в сооружениях метрополитена от 25 до 40 мин. Из них примерно половину времени он находится непосредственно в подвижном составе. А остальное время затрачивает на подход к подвижному составу, включая спуски «под землю» на эскалаторах, на ожидания прибытия метropоездов, на посадку и высадку из вагонов, на пересадки, на подъем на поверхность земли и выход в город.

Провозная способность электроподвижного состава (основного транспорта метро) значительно превышает провозную способность эскалаторов — вспомогательного (встроенного) транспорта метро. Поэтому возле входа на эскалаторы в часы «пик» часто возникают «пузыри». Это — своеобразные «пробки», «узкие места» любого, даже самого современного, метрополитена. Они затрудняют посадку на эскалаторы и заметно увеличивают время, затрачиваемое пассажирами на спуск к вагонам и подъем в город из глубины подземных станций. В это время у пассажира особенно остро проявляется и нарастает транспортная усталость от поездки. Как в «пробках» перегреваются машины, так люди (особенно с вещами) переутомляются в «пузырях».

Хронометраж перемещений пассажира в помещениях метрополитена показывает, что в часы «пик» при поездках по одной линии на спуски и подъемы на эскалаторах, на подходы к ним и на перемещения по вестибюлям станций пассажир затрачивает от 8 до 10 мин. При поездке по одной линии на расстояние 10,8 км пассажир проводит в помещениях метрополитена около 24 мин. Из них 15 мин он едет в вагоне со скоростью сообщения 41–42 км/ч, а 9 мин затрачивает на подход к подвижному составу и на выход в город после завершения поездки. Скорость передвижения пассажира по городу при этом составляет:

$$10\,800\text{ м} / 1440\text{ сек} = 7,5\text{ м/с} = 27\text{ км/ч.}$$

При поездке с пересадкой (поездка средней дальности 10,8 км, как правило, включает одну пересадку) пассажир дополнительно проводит в помещениях метрополитена около 8 мин. В общей сложности на среднестатистическую поездку с одной пересадкой на расстояние 10,8 км пассажир метрополитена затрачивает: 9 мин + 15 мин + 8 мин = 32 мин (1920 сек). Скорость поездки по городу на метро с одной пересадкой составляет: $10\,800\text{ м} / 1920\text{ сек} = 5,625\text{ м/с} = 20\text{ км/ч}$. При поездке с двумя пересадками скорость передвижения пассажира по городу на метро снижается до 16 км/ч и становится такой же, как на трамвае.

Таким образом, сегодня метрополитен, в зависимости от числа пересадок, обеспечивает среднестатистическому пассажиру передвижение по городу со скоростью 16–27 км/ч (в среднем — 22 км/ч).

Предельная скорость сообщения между подземными станциями, которую смогут в будущем обеспечивать технически более совершенные, чем сегодня, вагоны метрополитена, не превысит 50 км/ч [1]. Она ограничена условиями сцепления колес с рельсами, предельно допустимыми для пассажира ускорениями и замедлениями вагонов, мощностью систем энергоснабжения, мощностью тягового электропривода, условиями стабильности и безопасности движения метропоездов и пр. Под стабильностью движения здесь понимается возможность для метропоездов устойчиво реализовывать заложенную в график движения скорость сообщения даже при случайных задержках на станциях.

В случае задержки на станции метропоезд должен обеспечить нагон упущенного времени непосредственно на следующем перегоне. Если ему не удастся этого сделать, то на следующей станции его будет ожидать большее, чем обычно, количество пассажиров и вероятность очередной задержки на станции возрастет... Следствием этого может стать сбой графика движения.

Внеплановые задержки метропоездов на станциях в часы «пик» происходят регулярно и составляют от 5 до 10 с. Для возможности «вписывания» в график режим движения метропоезда должен быть таким, чтобы после задержки он мог проехать по перегону на 5–10 с быстрее, чем по расписанию, и компенсировать задержку. Если этого «запаса хода» в расписании нет, то стабильная работа метропоездов на линии не может быть гарантирована. Необходимость иметь 10-секундный запас времени хода на нагон случайных опозданий в наибольшей степени ограничивает возможность построения графика движения метропоездов со скоростями сообщения более 50 км/ч.

При скорости перемещения пассажира «под землей» — 50 км/ч скорость его передвижения по городу составит:

при поездках дальностью 10,8 км без пересадки	— 29 км/ч;
при поездках дальностью 10,8 км с одной пересадкой	— 21,5 км/ч;
при поездках дальностью 10,8 км с двумя пересадками	— 17 км/ч.

Эти цифры показывают, что скорость, с которой пассажир метрополитена сможет передвигаться по городу в недалеком будущем, составит (в среднем) около 25 км/ч. Поскольку сегодня средняя скорость передвижения по городу на

метро составляет 22 км/ч, то можно сказать, что сегодняшний метрополитен реализует свои предельные (с точки зрения скорости передвижения пассажира по городу) возможности на 90 %. Это очень высокий показатель. И он был достигнут уже в прошлом веке.

7.2.2 Провозная способность метрополитена. Провозная способность ограничена пропускной способностью его подземных станций. Пропускная способность станций тесно связана со скоростью сообщения. При росте скоростей сообщения возрастают скорости движения метropоездов по перегонам. Как следствие, возрастают скорости начала торможения метropоездов, а значит и тормозные пути. Поэтому с целью обеспечения безопасности движения увеличивают расстояние между идущими друг за другом метropоездами. Здесь полная аналогия с автодорогой: чем больше скорость движения автомобилей, тем большими должны быть безопасные расстояния между ними.

Повышение скорости движения не способно компенсировать увеличение расстояний между метropоездами с точки зрения частоты следования метropоездов. В результате при росте скоростей движения частота следования метropоездов уменьшается, пропускная способность станций и провозная способность линий метрополитена сокращаются. Во многом и по этой причине, стремиться повышать скорость сообщения метropоездов между подземными станциями сверх 48–50 км/ч практически нецелесообразно.

Провозная способность линий метрополитена определяется пропускной способностью станций и наполнением вагонов следующих метropоездов. Пропускная способность станции измеряется количеством метropоездов, проследовавших через нее в течение одного часа и определяется минимально возможным интервалом между идущими друг за другом метropоездами.

Минимальный интервал между проходящими через станцию метropоездами $T_{\text{мин}}$ определяется временем занятия метropоездом зоны станции и технологическим запасом, необходимым для обеспечения безопасности движения метropоездов :

$$T_{\text{мин}} = t_{\text{эв}} + t_{\text{с}} + t_{\text{т}} + t_{\text{зап}},$$

где $t_{\text{эв}}$ — время эвакуации метropоезда со станции, с; $t_{\text{с}}$ — время стоянки метropоезда на станции, с; $t_{\text{т}}$ — время торможения метropоезда в зоне станции, с; $t_{\text{зап}}$ — технологический запас времени (складывается из времени подхода метropоезда к станции, времени его выбега в зоне станции, запаса на технологическую погрешность приемных и путевых устройств автоматического регулирования скорости).

Время стоянки и время запаса практически стабильны. Поэтому минимальный интервал между метropоездами определяется, в основном, временами торможения и эвакуации. Время эвакуации — это время от начала движения метropоезда до его полного ухода за пределы станции (до прохождения им в процессе разгона пути длиной около 200 м).

Чем большие ускорения (замедления) реализует метropоезд во время разгонов (торможений), тем меньше времени он «занимает» станцию и тем большей пропускной способностью отвечают ему станции, встречающиеся на его пути.

В таблице 7.1 представлена зависимость пропускной способности станции от ускорения (замедления) метropоезда.

Таблица 7.1 – Зависимость пропускной способности станции

a(b), м/с ²	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
П, поезд./час	21,9	32,3	39	43,8	47,3	50,5	52,9	54,8	56,5

В представленной зависимости присутствует эффект «насыщения»: при увеличении ускорения от 0,2 м/с² до 1,2 м/с² пропускная способность растет почти пропорционально росту ускорений (замедлений), а при дальнейшем росте ускорений (замедлений) темп роста пропускной способности заметно сокращается.

Для эксплуатируемых сегодня метropоездов характерны следующие средние ускорения при разгоне до скоростей 60–70 км/ч и средние замедления в диапазоне скоростей 70–0 км/ч (таблица 7.2).

Таблица 7.2 – Средние ускорения и замедления

Модель вагона	Среднее ускорение, м/с ²	Среднее замедление, м/с ²
мод. 81.717/714	0,98	1,28
мод. 81.720/721 (Яуза)	0,79	1,11

Пропускная способность станций метрополитена составляет:

- для метropоездов из вагонов мод. 81.717/714 — 47 поездов/час;
- для метropоездов из вагонов мод. 81.720/721 (Яуза) — 43 поезда/час.

На Московском метрополитене метropоезда эксплуатируют сегодня с частотой движения 40 поездов/час и скоростью сообщения 41 км/ч. Но технические характеристики вагонов позволяют эксплуатировать их с частотой движения 47 поездов/час и скоростью сообщения около 48 км/ч.

На каждой радиальной линии Московского метрополитена имеются 5–6 наиболее загруженных в часы «пик» перегонов. Составы, следующие друг за другом, проезжают эти перегоны за 15–20 минут. В это время их вагоны наиболее загружены. *В районе этих перегонов на практике достигаются реальные пределы провозной способности метрополитена как транспортной системы.*

Обследование пассажиропотоков на этих наиболее загруженных участках линий показало, что в часы «пик» средняя за час нагрузка вагонов, проезжающих в течение часа по этим 5–6 наиболее загруженным перегонам, составляет около 200 пассажиров на вагон (средняя за 15 мин загрузка вагонов составляет около 270 пасс/вагон). При работе на линии семивагонных составов, следующих с частотой 47 поездов в час, часовая провозная способность линии метрополитена составит

$$П = 200 \times 7 \times 47 = 66 \text{ тыс. пасс/ час.}$$

Пиковая «пятнадцатиминутная» провозная способность линии составит:

$$P_{15} = 270 \times 7 \times 47 = 89 \text{ тыс. пасс/час.}$$

При эксплуатации на линии метropоездов, составленных из вагонов с «идеальными» тяговыми и тормозными характеристиками («идеальных» вагонов пока еще нет, но технически их сегодня уже можно построить), пропускная способность станций метрополитена достигнет 52 поезда/час в одном направлении. При этом провозная способность линии при эксплуатации на ней семи вагонных метropоездов длиной 135 м составит около 73 тыс. пасс/час в одном направлении, а при эксплуатации 8-ми вагонных метropоездов длиной до 160 м — около 83 тыс. пасс/час в одном направлении. Пиковая «пятнадцатиминутная» провозная способность линии составит

$$P_{15} = 270 \times 8 \times 52 = 112 \text{ тыс. пасс/час.}$$

7.3 Метро щелевого типа «Кротовые норы»

Нарастающие транспортные проблемы крупных городов России и Беларуси вызваны сегодня очевидным несовершенством организации передвижения по городу значительной части населения. Наиболее подвижная его часть предпочитает передвигаться на частных автомобилях. Как следствие, резко сокращаются безопасность передвижения и скорость поездки. Это заставляет по-новому взглянуть на перспективы развития скоростного общественного транспорта.

Абсолютно ясно, что экологически чистый и экономичный городской общественный транспорт, который сможет обеспечить пассажиру большие удобства и безопасность поездки, а также более высокие скорости передвижения по городу, чем индивидуальный автомобиль, кажется невозможным. Такой транспорт для внутригородских пассажирских перевозок был бы способен составить реальную конкуренцию частному автомобилю.

Человек уже успел привыкнуть ко всем удобствам и комфорту, который предоставляет личный транспорт. У него время ожидания транспорта близко к нулю (спуститься от квартиры к автомобилю, открыть дверь и завести его). Он позволяет от пункта отправления и до пункта назначения проехать без промежуточных остановок. Чтобы заставить современного человека пересесть на общественный транспорт необходимо, чтобы этот общественный транспорт приближался по комфорту проезда к личному транспорту и одновременно обладал высокой провозной способностью. Кажется, требования совершенно несовместимые в одном транспортном средстве. Тем не менее, уже известны исследования в области возможности создания такого транспорта [125, 126].

При существующем уровне развития техники массовые пассажирские перевозки в крупных городах наиболее эффективно выполняет рельсовый скоростной внеуличный транспорт (СВТ). Поэтому и за рубежом, и в России этот транспорт активно разрабатывается и внедряется. За рубежом его называют легкорельсовый транспорт (ЛРТ). В России — это наземное метро (НМ), монорельсовая дорога (МД) и метротрамвай (МТ) [127–128]. Основные требования, предъявля-

емые сегодня к СВТ, — это безопасность и комфортабельность поездки, удобство посадки и высадки из вагонов, высокая технико-экономическая эффективность и самокупаемость при относительно невысокой плате за проезд.

7.3.1 Метро щелевого типа «Кротовые норы» в приложении к арктическому региону

Во многих странах Европы и в некоторых республиках экс-СССР скоростные трамваи (Stadtbahn) выполняют функцию своеобразного наземного метро: они недороги в эксплуатации, передвигаются со скоростью от 25 до 35 км/ч, экологичны, надежны и комфортабельны. Строительство путей для них на два порядка ниже строительства метро. Но скоростной трамвай на порядок не дотягивает до метро по провозной способности. Таким образом, в городах с высокой численностью населения (свыше 1 млн) нет альтернативного транспорта, способного конкурировать с метро по провозной способности.

Вторым существенным достоинством метро как вида городского транспорта является отсутствие влияния на него внешних погодных воздействий, что очень важно в арктических условиях снегопадов и низких температур. Низкие температуры ухудшают работу всех систем наземного транспорта, выводят их в режим неоптимального функционирования, а часто и вообще из строя, что снижает надежность городских транспортных систем перевозки пассажиров. В условиях низких температур необходимы немалые дополнительные энергозатраты для подогрева салона транспортного средства для обеспечения комфортного проезда пассажиров. Так при температуре окружающей среды $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ на обогрев салона пассажирского транспортного средства тратится до 40 %, расходуемого двигателем топлива, а при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ эти потери уже составляют 60 %. Снегопады также снижают надежность функционирования городских транспортных систем.

Таким образом, самым удобным видом транспорта для городов арктического региона может стать метро. Основным препятствием для его использования является его высокая стоимость (так стоимость 1 км метро составляет от 40 до 60 млн долларов), а также большая длительность его строительства (8–10 лет и более). В СССР существовал ценз на строительство метро только в тех городах, где численность населения достигала 1 млн человек. Этот уровень сохраняется и для России.

Современное состояние информационно-коммуникационных технологий позволяет на базе мобильных автономных роботов построить дешевую подземную транспортную систему (при полном отсутствии в ее контуре управления человека) высокой производительности, достигающей производительности современного метро, надежной и безопасной. Метро, сроки строительства которого на порядок ниже, а стоимость на два порядка ниже. Теперь этот ценз (в 1 млн человек) можно снизить, и построение метро становится экономически выгодным и возможным в городах арктического региона, где в основном численность населения не превышает 300 тыс. человек.

7.3.2 Концепция метро щелевого типа. Основными недостатками современного метрополитена являются:

- высокая стоимость строительства [133];
- низкая скорость строительства (300–350 м в месяц); отсюда длительные сроки строительства, до 10 лет;
- наличие эскалаторов;
- высокие энергозатраты на перевозку;
- недостаточная адаптивность к пассажиропотоку. Так, в вечерние часы вагоны идут полупустые, либо с большим интервалом движения;
- большие дистанции между остановками метро (1,5–2 км), что снижает транспортную доступность этого вида транспорта для населения в то время как у наземных видов транспорта эта дистанция составляет 0,3–0,5 км;
- недостаточно высокая средняя скорость движения электропоездов метро. Так, на Московском метрополитене скорость сообщения (средняя скорость движения с учетом времени остановки) метропоездов между станциями, расположенными под землей, составляет 41,3 км/ч, на метрополитене Санкт-Петербурга — 39 км/ч, а на Ташкентском метрополитене — 39,4 км/ч. Самая высокая скорость сообщения метропоездов сегодня — на Минском метрополитене — 41,4 км/ч.

Как известно, за время поездки среднестатистический пассажир проводит в сооружениях метрополитена от 25 до 40 мин. Из них примерно половину времени он находится непосредственно в подвижном составе. А остальное время затрачивает на подход к подвижному составу, включая спуски «под землю» на эскалаторах, на ожидания прибытия метропоездов, на посадку и высадку из вагонов, на пересадки, на подъем на поверхность земли и выход в город. Провозная способность электроподвижного состава (основного транспорта метро) значительно превышает провозную способность эскалаторов — вспомогательного (встроенного) транспорта метро.

Все, указанные выше достаточно серьезные недостатки современного метрополитена, устранены в метро щелевого типа «Кротовые норы». Теперь большинство городов, и не только миллионников, могут иметь метро, так как стоимость его на два порядка ниже традиционного метро, а скорость строительства в три раза выше (до 1000 м в месяц).

Это совершенно новый тип полностью автоматического подземного городского общественного транспорта (метро) на базе беспилотных электрокаров (инфобусов) вместимостью до 50 человек, курсирующих в узких тоннелях неглубокого заложения и обслуживающих пассажиров по требованию [134–138].

Данный тип транспорта высокопроизводителен (не уступает традиционному метро), безопасен, энергоэкономичен, значительно более дешев в сравнении с традиционным метро, имеет более высокую транспортную доступность. Данный тип транспорта является транспортом по запросу, т. е. адаптирован к любому пассажиропотоку (большому, среднему, низкому). Время ожидания пассажиром транспорта минимально и составляет 20 секунд. При этом пассажирам предоставляется возможность движения из пункта А в пункт В без остановок.

Метрополитен щелевого типа «Кротовые норы» является новым видом городского транспорта. Это полностью автоматическая, интеллектуальная роботизированная транспортная система городской перевозки пассажиров нового типа. Технические характеристики, которыми он обладает, недоступны ни одному виду городского пассажирского транспорта, известному на сегодняшний день.

В отличие от традиционного метрополитена, вагоны которого имеют большую вместимость (250–300), данный тип транспорта имеет небольшой объем (до 50 пассажиров) вагона-робота (беспилотного) и ширину вагона всего один метр, что позволило решить три задачи:

- обеспечить минимальную ширину ствола тоннеля для движения беспилотных вагонов-роботов, что ведет к снижению стоимости строительства на два порядка за счет сокращения объема железобетонных конструкций и работ и перевода их в область готовых конструкций заводского панельного исполнения. Последнее ускоряет сроки строительства метро на порядок;

- создать транспорт, адаптивный к пассажиропотоку. В режиме реального времени идет мониторинг числа прибывающих пассажиров на станции метрополитена и, в зависимости от их количества, на линию выходит требуемое для их обслуживания число вагонов-роботов;

- предоставить пассажирам транспортную услугу преимущественного проезда без промежуточных либо с минимальным числом остановок от пункта отправления до пункта назначения. Этим экономится не только время пассажира на поездку, но и удельные электрозатраты на провоз одного пассажира сокращаются в несколько раз.

7.3.3 Описание конструкции метро щелевого типа. Для строительства метрополитена щелевого типа «Кротовые норы» не нужны большие котлованы с огромным использованием железобетонных работ (строительство открытым способом) или трудоемкие тоннели при строительстве закрытым способом.

Строительство выполняется следующим образом. В городе выбирается магистраль с большим пассажиропотоком. Обычно такая магистраль имеет от трех до пяти полос шириной по 3–4 метра по каждому направлению движения. От разделительной линии магистрали отделяется по полосе слева и справа, т. е. от каждого направления движения изымается по полосе. Таким образом, формируется зона строительства шириной до 6 метров. По разделительной линии роется траншея шириной 1,5 м. (0,75 м. слева и 0,75 м. справа от разделительной линии) и глубиной 3 метра вдоль всей магистрали, в которую по мере частичного прорытия траншеи вставляются готовые железобетонные конструкции (изготовленные в заводских условиях) и сборные рельсовые конструкции с междурельсовой шириной 1 м (ширина инфобуса).

Магистраль при проведении работ не закрывается, и полосы движения вне зоны строительства функционируют в обычном режиме. Единственным неудобством является некоторое снижение пропускной способности магистрали (рисунок 7.1).



Рисунок 7.1 – Изготовление траншеи метро

Либо возможен вариант работы в ночное время. Тогда магистраль на ночное время закрывается, а утром открывается по всем полосам движения. Таким образом, строительство метро щелевого типа не сказывается на функционировании города. В то время как при традиционном строительстве метро в г. Минске проспект Независимости был закрыт для движения транспорта на 8 лет.

Устройство ствола тоннеля под разделительной линией магистрали гарантирует отсутствие подземных инженерных коммуникаций, что значительно снижает стоимость строительства в сравнении с традиционным метро, в стоимости строительства которого до 20 % могут достигать работы по переносу коммуникаций.

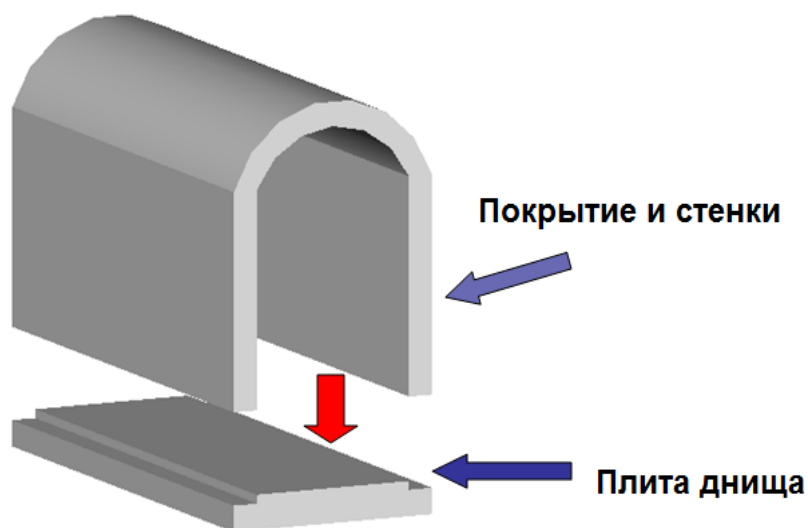


Рисунок 7.2 – Сборные элементы для устройства метро

Рассмотрим некоторые строительные конструкции. Следует отметить, что конструктивные решения для таких видов транспорта, в свою очередь, должны

обладать низкими показателями стоимости и трудозатрат по сравнению с существующими решениями метро. Так как данные конструкции проектируются из условия небольшого заглубления, отпадает вопрос необходимости проведения глубоких геологических исследований, а также устройства котлованов, что ведет к существенному снижению сроков строительства.

Соответствующим выбором конструктивного решения, применяемых материалов и назначения наиболее рациональных сечений и пролетов элементов можно также существенно повысить скорость строительства, уйти от сложных систем опалубки (в отличие от применяемого монолитного варианта) и тем самым снизить стоимость строительства.

Предлагаемый вариант щелевого метро, выполняемый в сборном (из отдельных модульных секций) варианте, обладает всеми вышеперечисленными достоинствами. В качестве конструктивного решения щелевого метро типа «Кротовые норы» выбран сборный вариант. Это позволяет существенно увеличить скорость строительства при имеющейся заводской линии, настроенной на производство отдельных секций.

К основным сборным элементам можно отнести элемент, объединяющий покрытие, стенки и плиту днища, в которой изначально закладываются элементы устройства путей для инфобуса (рисунок 7.2).

При выполнении покрытия и стенок как единого элемента сокращается количество стыков сборной конструкции, и повышается темп монтажа. Назначение размеров элементов производится исходя из размеров инфобуса. Для выполнения криволинейных участков наиболее рациональным можно назначить длину секции 6 метров. На линейных участках длина секции может быть увеличена.

Стыковка плиты днища со стенками осуществляется с применением системы постнапряжения (без сцепления с бетоном). Канаты пропускаются в специальные пазы в стенках, после чего производится их натяжение на элементы секции.

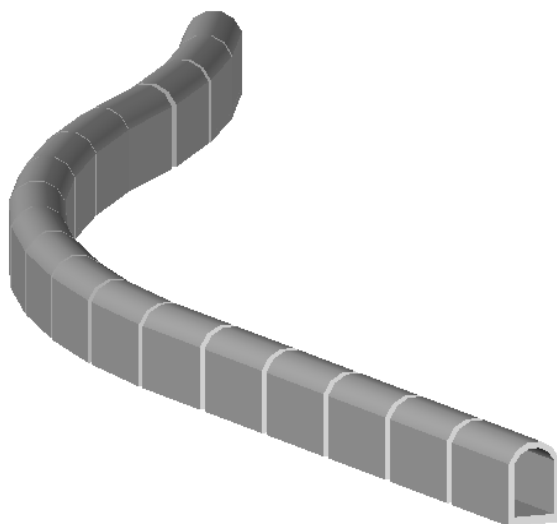


Рисунок 7.3 – Создание путей движения криволинейной конфигурации

На рисунке 7.3 представлен участок трассы с криволинейным участком. Стыковка секций по длине осуществляется так же с помощью системы постнапряжения (posttension). Канаты пропускаются в заложенные по проекту отверстия в

стенках вдоль секции. После чего производят натяжение на стенки, выполняя таким образом их стягивание и обеспечивая неразрезность конструкции в продольном направлении.

Необходимо отметить, что преимуществом такой системы является то, что создание криволинейной трассы не вызовет больших трудозатрат, чем при строительстве прямолинейной, за счет рационально подобранных размеров секций и способа их стыковки.

7.3.4 Особенности метро щелевого типа. На рисунке 7.4 изображен тоннель с кассетой из шести инфобусов, движущейся со скоростью 200 км/ч. Такая высокая скорость движения обеспечивается разреженностью атмосферы в тоннеле, создающейся выходом сжатого первым инфобусом воздуха наружу через дроссель, который закрывается при прохождении возле него последнего инфобуса кассеты.

Второй причиной, обеспечивающий столь высокую скорость, является безостановочное движение инфобусов от пункта отправления и до пункта назначения, т. к. в одном инфобусе собраны пассажиры одной станции назначения. Когда инфокассета проезжает очередную станцию, то конечный инфобус отделяется от кассеты и начинает торможение с остановкой у станции и высадкой пассажиров. Оставшаяся часть кассеты продолжает движение с прежней скоростью 200 км./ч.

На рисунке 7.5 изображен вход на станцию метро непосредственно с тротуара. Для этой станции эскалаторы не нужны, так как она находится на глубине трех метров от поверхности. Размер станции (площадка перед посадкой 3 x 40 метра; в традиционном метро длина станции составляет от 160 метров и выше). Поезда на станциях щелевого метро только одного направления движения (метро закольцовано).

Собственно понятие «станции метро» для метрополитена «Кротовые норы» в традиционном, классическом виде, к которому мы привыкли, отсутствует. Больше это похоже на подземный пешеходный переход. Сразу с тротуара пассажир попадает на площадку для посадки в поезд. Предварительно он проходит через турникет, где делает оплату за проезд, а также фиксирует себя в системе путем указания конечной станции назначения. На рисунке 7.5 видны спуски к станции. На рисунке 7.6 частично видны турникеты для входа на станцию в виде ряда блестящих точек.

Расстояния между станциями не более 600–800 метров (в обычном метро это 1500 метров и более). В результате транспортная доступность для пассажиров такого вида метро выше, и меньше потребуется наземного транспорта для связи между станциями метро.



Рисунок 7.4 – Кассета из шести инфобусов в тоннеле

Средняя скорость традиционного метро составляет 35–40 км/час. Щелевое метро будет иметь среднюю скорость 180 км/час, так как инфобус не делает промежуточных остановок, и все пассажиры одной станции назначения едут без остановок. Это стало возможным благодаря развитой системе предварительного сбора информации о пассажирах, т. е. пассажирский поток сразу при проходе через турникеты дифференцируется по станции назначения и инфобусы формируются пассажирами одной станции назначения. Такой способ организации перевозок на порядок более энергоэкономичен, а для пассажиров более комфортен.

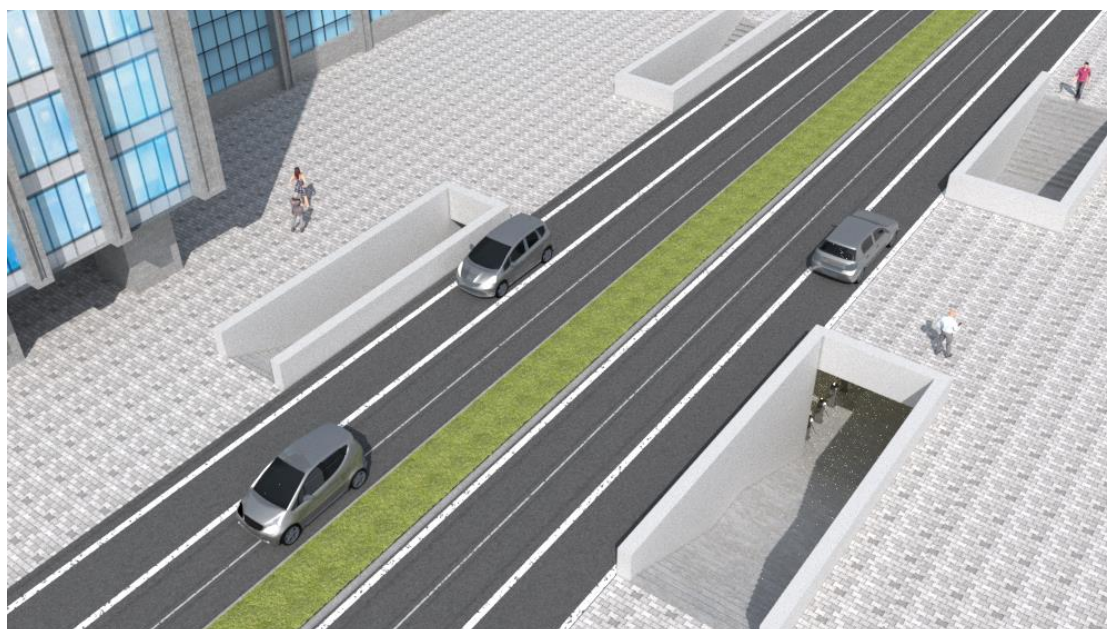


Рисунок 7.5 – Вход на станцию метро

Вагоны метрополитена «Кротовые норы» характеризует прежде всего относительно небольшой габарит подвижного состава, который в свою очередь ограничен размерами тоннелей, при том, что последние должны быть как можно меньше, что дает экономию в строительстве метрополитена.

Так, в метро щелевого типа ширина траншеи составляет 1,5 метра. Ширина инфобуса – 1,2 метра и высота – 2,2 метра. В то время, как ширина советских/российских вагонов метрополитена (типы Г, М5, Д, Е и их производные) составляет 2686 мм, высота — 3700 мм, а ширина и высота вагона электропоезда ЭР2, соответственно, 3480 мм и 5086 мм.

Основной характеристикой линии метрополитена является провозная способность:

$$П = P \times B \times V \text{ тыс. пасс./ час,} \quad (7.1)$$

где P – плотность посадки пассажиров в вагоне чел/м²; B – ширина вагона; V – скорость движения вагона.

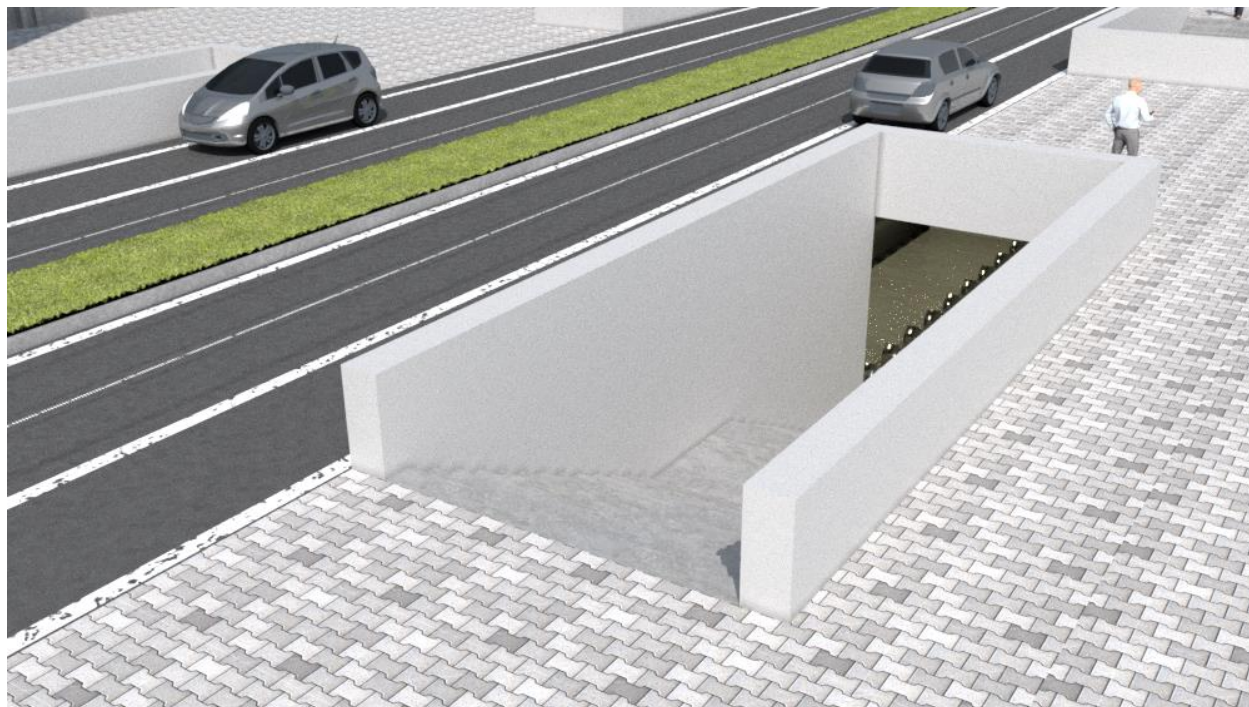


Рисунок 7.6 – Входные турникеты на спуске к станции

Следуя (7.1) можно вычислить, во сколько раз может быть увеличена провозная способность метрополитена как $K = П_2 / П_1$ или $(P \times B_2 \times V_2) / (P \times B_1 \times V_1) = (P \times 1,2 \times 180) / (P \times 3,48 \times 42) = 1,5$, то есть провозная способность щелевого метро в сравнении с традиционным может быть увеличена в 1,5 раза.

Особенностью инфобусов является увеличенное количество дверей и, как следствие, меньшее количество сидячих мест, что связано в первую очередь с необходимостью быстрой посадки и высадки пассажиров.

Практически по всем основным показателям щелевое метро «Кротовые норы» превосходит традиционный метрополитен. Ему не нужны дорогостоящие подземные станции и огромное, тратящее около 30 % всей электроэнергии на метрополитене, эскалаторное хозяйство.

Для щелевого метро «Кротовые норы» не требуется строить подземные станции (их сооружение «весит» до 40 % в общей стоимости строительных работ) и эскалаторное хозяйство (около 10 % стоимости). В крупных и средних (что раньше было невозможно) городах оптимальным, с точки зрения удобства для пассажиров, является расстояние между станциями 600–800 м

(на Московском метрополитене среднее расстояние между станциями — 1700 м). Более частое размещение станций повышает долю их стоимости в общих строительных затратах до 50–60 %. Поэтому реальные затраты на строительство линии щелевого метро «Кротовые норы» будут, как минимум, в несколько раз меньше, чем затраты на сооружение традиционного метрополитена. Да и строить тоннели щелевого типа гораздо проще, чем тоннели, подземные станции и эскалаторное хозяйство традиционного метрополитена. Все это сокращает строительные объемы, цены и сроки строительных работ.

Выводы

1. Важной составляющей общего экономического эффекта от строительства и эксплуатации щелевого метро «Кротовые норы» является экономический эффект от ускорения доставки пассажиров и сокращения их транспортной усталости от поездки.

2. Метрополитены в городах являются крупнейшими потребителями электроэнергии. Поэтому сокращение расхода электроэнергии на метро «Кротовые норы» по сравнению с традиционным метро явится не только заметной составляющей общего сокращения эксплуатационных затрат, но и энергетических.

3. Потенциальными потребителями данной разработки, помимо уже рассмотренных средних городов, являются города-миллионники России. Например, Красноярск, Ростов-на-Дону, Краснодар и др., которые имеют очень острые городские транспортные проблемы и высокую нагруженность дорог, но не имеют достаточных средств для построения метро в его современном виде.

4. Данный тип метро может стать резервным, параллельно работающим с уже имеющимся в городе традиционным метро. Это разгрузит основное метро и повысит надежность всей транспортной системы города. Особо это становится актуальным в условиях достижения предельных возможностей метрополитена как транспортной системы.

ГЛАВА 8 СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАРШРУТНЫМИ ТАКСИ С ЭЛЕМЕНТАМИ КАССЕТНО-КОНВЕЙЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

8.1 Предпосылки создания системы управления маршрутными такси

В настоящее время активно развивается инфраструктура общественного транспорта в городах по всему миру. Активно внедряются элементы информационных технологий в перевозочный процесс городов, развивается автоматический городской интеллектуальный пассажирский транспорт [139]. Это обусловлено как ростом численности населения, так и тем, что общественный транспорт является более экологически чистой альтернативой личному транспорту.

Современный общественный транспорт является результатом технологического развития, и к нему со стороны общества предъявляются повышенные требования, такие как, например, оптимальное расписание движения, повышение уровня мобильности пассажиров и т. д. Не так давно проблемы координации и управления транспортными потоками на улично-дорожных сетях не были столь актуальными, однако, в условиях урбанизации городов и растущей нагрузки на

транспортную сеть и, как следствие, неэффективного ее использования, все большее внимание уделяется исследованию новых, наиболее оптимальных и прибыльных моделей городского транспорта [140].

Существует множество решений задач в области транспортных потоков: диспетчеризация транспортных потоков [141], внедрение систем учета пассажиров [142], оплата проезда [143] и др. Приведенные примеры свидетельствуют об актуальности создания интеллектуальных транспортных систем перевозки пассажиров.

Если говорить о действующей модели городского общественного транспорта Республики Беларусь, то она осуществляется в соответствии с Законом Республики Беларусь от 17 июля 2017 г. № 278-З «Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках» [144].

Применяемая система составления расписания движения транспортных средств неоптимальна. Имеются как оставленные на остановочных пунктах пассажиры (из-за переполненности ТС), так и полупустые транспортные средства, следующие по маршруту. Наиболее остро этот вопрос встает для такси, в частности, маршрутного.

Значительный процент пассажирских перевозок охватывает система маршрутного такси, которые не полностью интегрированы в регулярную систему общественного транспорта. В большей степени система маршрутного такси основана на установленном расписании выезда с конечных остановочных пунктов. Для промежуточных остановочных пунктов расписание не установлено, а сообщение информации об ожидающих на маршруте пассажирах и прибывающем пассажиропотоке осуществляется посредством голосовой связи между водителями маршрутного такси. В зависимости от информации, предоставляемой водителем впереди идущего маршрутного такси, водители могут ускоряться/замедляться при передвижении по маршруту, регулировать время выезда с конечных остановочных пунктов. Однако это не решает проблем пропускной способности транспортной системы.

Периодичность движения транспорта не изменяется в течение дня [145], что не соответствует изменениям интенсивности прибывающего пассажиропотока, зависящего от различных показателей (погодные условия, рабочие часы, выходные и праздничные дни и др.). Количество маршрутных такси не связано с количеством пассажиров, ожидающих на остановочных пунктах из-за недостатка информации. Это ведет к тому, что в часы высокой интенсивности пассажиропотока на остановочных пунктах остаются пассажиры, ожидающие транспорт длительное время, которые решают использовать другой транспорт или вовсе меняют планы и покидают остановочные пункты.

С другой стороны, в часы низкой интенсивности пассажиропотока маршрутные такси продолжают движение по маршрутам следования вне зависимости от того, есть ли пассажиры, ожидающие на остановочных пунктах, или их нет. Результатом такого расписания движения маршрутных такси являются экономические убытки, связанные с тем, что наполняемость маршрутных такси минимальна, а отдельные маршрутные такси и вовсе могут следовать по маршруту пустыми. При этом, затраты на топливо остаются, что ведет к экономическим потерям.

Можно сделать вывод о том, что существует возможность с использованием элементов касетно-конвейерной технологии оптимизировать процесс работы маршрутного такси, что приведет не только к увеличению прибыли, но и к улучшению комфорта транспортной сети. На данный момент не существует системы решения этих проблем для маршрутного такси, однако известен ряд подобных систем для такси (сервисы «Яндекс Такси», Такси «Попутчик», Такси «Командир» и др.), когда клиент с любого места города может заказать ближайшее к нему свободное такси.

8.2 Общее описание системы

В связи с вышеописанными проблемами была предложена оптимизированная модель городского транспорта, основанная на модели «Транспорт по запросу». Разрабатывается клиент-серверная система, компонентами которой являются приложения для двух основных участников процесса перевозки маршрутным такси – пассажира и водителя, а также программная реализация сервера. Пользовательская часть системы представлена двумя отдельными клиент-серверными приложениями. Оба приложения ориентированы, в первую очередь, на использование мобильными устройствами с операционной системой Android. Взаимодействие в системе происходит путём обмена запросами с сервером. Модель взаимодействия компонентов системы представлена на рисунке 8.1. Взаимодействие компонентов происходит согласно архитектуре REST.

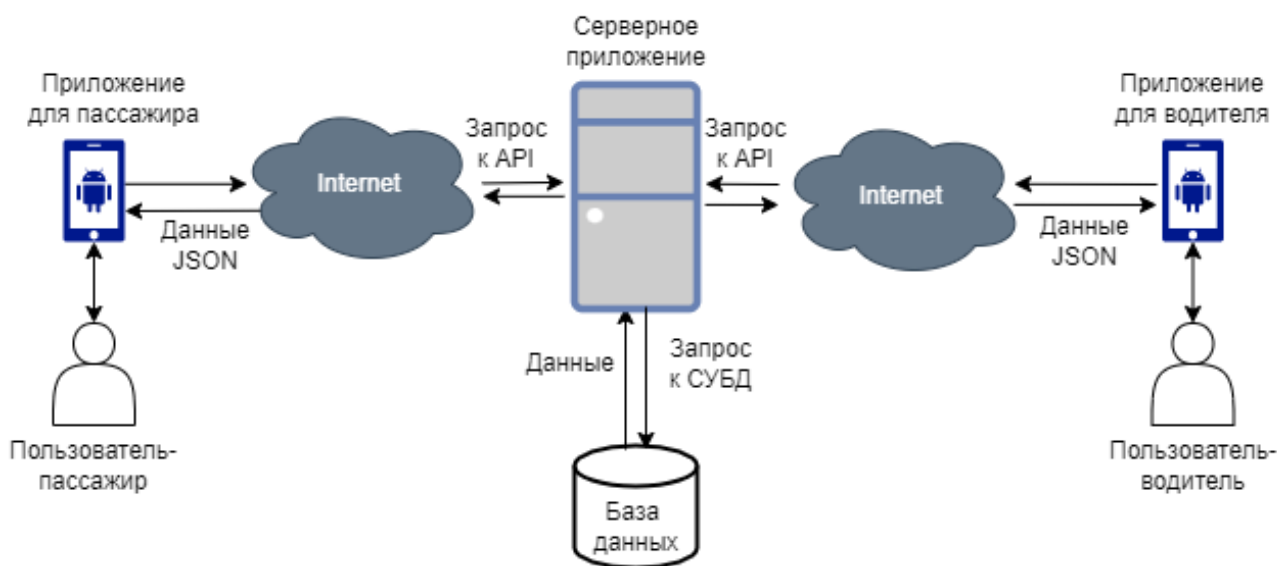


Рисунок 8.1 – Модель взаимодействия компонентов системы

Основные задачи системы:

- создание заявки пассажира, ожидающего на остановочном пункте маршрутного такси;
- информирование пассажира о расположении маршрутных такси на карте;
- информирование водителя маршрутного такси о загруженности маршрута;

– информирование водителя маршрутного такси о количестве пассажиров, которые заполнят и покинут маршрутное такси на каждом следующем остановочном пункте.

В приложении клиент-пассажир может отправить заявку, и через определенное время к нему прибудет указанный транспорт. Также пользователь имеет возможность отследить местонахождение вызванного автомобиля. Для этого, придя на остановку, посредством приложения для клиента-пассажира, он отправляет заявку на сервер о своем местонахождении, необходимом ему маршруте, начальном и конечном остановочных пунктах. Сервер обрабатывает поступившую информацию и накапливает данные.

Увеличение числа пользователей и рекламу пользовательского приложения предполагается осуществлять при помощи функциональных особенностей приложения. Для полноценного функционирования системы и комфорта в использовании мобильного приложения для клиента-пассажира необходимо наличие QR-кодов на остановках. QR-коды позволяют при создании заявки указать начальный остановочный пункт, что позволяет значительно ускорить процесс создания заявки. В то же время QR-код может выступать в роли рекламной листовки с названием приложения и даже предоставлять пользователю ссылку для скачивания приложения. В том случае, если у клиента-пассажира не установлено на мобильном устройстве приложение для работы с этим QR-кодом, существует возможность сделать переход на страницу Play Market для установки соответствующего приложения на мобильное устройство пользователя. Каждый пассажир, придя на остановку, сможет узнать о существовании системы. Также QR-код может располагаться в маршрутных такси для информирования о существовании системы и оплаты проезда.

Выручка в проект может поступать:

- от продажи лицензий на использование программных продуктов организациям маршрутного транспорта;
- рекламы в приложении;
- сотрудничества с государственными организациями, для оптимизации маршрута.

С точки зрения информации о расписании и построении маршрутов конкурентами могут выступать «Яндекс Транспорт» и «Транспорт Брест». Они позволяют подбирать автобусные маршруты от точки А до точки В и показывают примерное расписание. Достаточно часто это расписание не соответствует действительности.

С точки зрения оплаты проезда конкурентами могут выступать сервисы «Оплати», «М-Belarusbank», «Т-рау» и «ТІХ». Если говорить об отслеживании транспорта, то существует приложение «Transport.by», которое часто, но не всегда, позволяет узнать местоположение ожидаемого маршрутного такси.

В приложении для пассажира многие из этих функций интегрированы в одном месте, что создает удобство в использовании отсутствием необходимости частого переключения между окнами различных приложений и позволяет экономить ресурсы мобильного устройства (энергопотребление, оперативную память и др.).

8.3 Математическая модель системы

В общем виде маршрут транспортного средства представлен на рисунке 8.2.

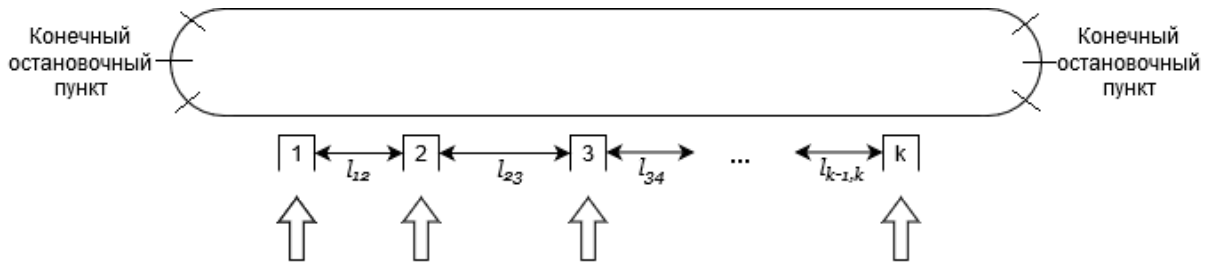


Рисунок 8.2 – Маршрут транспортного средства

На рисунке 8.2 изображен линейный маршрут, состоящий из k остановок. На данном маршруте обозначены два конечных и $k - 2$ промежуточных остановочных пункта. Через l_{ij} обозначены расстояния между i -ой и j -ой остановками, $i, j = \overline{1, k}$. Стрелками обозначена интенсивность прибывающего пассажиропотока для каждой остановки, которая обозначается как $\lambda_i \left[\frac{\text{чел}}{\text{мин}} \right]$, $i = \overline{1, k}$.

Данные о пассажирах, получаемые с помощью приложения, хранятся в виде матрицы корреспонденций, которая имеет вид

$$M = \begin{bmatrix} m_{1,1} & \dots & m_{1,j} & \dots & m_{1,k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{i,1} & \dots & m_{i,j} & \dots & m_{i,k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{k,1} & \dots & m_{k,j} & \dots & m_{k,k} \end{bmatrix} \quad (8.1)$$

где $m_{i,j}$ – количество пассажиров, севших на i -ой остановке с целью доехать до j -ой остановки при $i, j = \overline{1, k}$.

Следует отметить, что все элементы матрицы M на главной диагонали и под главной диагональю равны нулю (т. к. пассажир не может выйти на остановке, на которой сел в салон, и не может ехать назад).

Таким образом, матрица примет вид (8.2):

$$M = \begin{bmatrix} 0 & m_{1,2} & \dots & m_{1,j} & \dots & m_{1,k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & m_{i,j} & \dots & m_{i,k} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & m_{k-1,k} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (8.2)$$

Пусть S_r – заполненность транспортного средства на r -ой остановке, $r = \overline{1, k}$. V – его общая вместимость.

Обозначим m_i – общее количество пассажиров, садящихся на i -ой остановке; m_i определяется как сумма элементов i -ой строки матрицы M (8.3):

$$m_i = \sum_{j=1}^k m_{i,j} = \sum_{j=i+1}^k m_{i,j}, \quad i = \overline{1, k-1} \quad (8.3)$$

При этом $m_k = 0$.

В свою очередь обозначим n_i – число пассажиров выходящих на i -ой остановке; n_i определяется как сумма элементов i -го столбца матрицы M :

$$n_i = \sum_{j=1}^k m_{j,i} = \sum_{j=1}^{i-1} m_{j,i}, \quad i = \overline{2, k} \quad (8.4)$$

При этом $n_1 = 0$.

Тогда, после отъезда транспортного средства от остановки с номером r , количество пассажиров в транспортном средстве S_r будет равно

$$S_r = \sum_{i=1}^r m_i - \sum_{i=1}^r n_i = \sum_{i=1}^r (m_i - n_i), \quad r = \overline{2, k}. \quad (8.5)$$

На каждой остановке число заходящих пассажиров, совместно с числом пассажиров, уже находящихся в транспортном средстве, не должно превышать максимальную вместимость маршрутного такси V (далее объем). Так, после отъезда от первой остановки, заполненность транспортного средства будет составлять $S_1: m_1 \leq V$ пассажиров, т. к. первый остановочный пункт является конечным и транспортное средство прибывает на него пустым. Далее, на второй остановке, заполненность составит $S_2: m_1 - m_{12} + m_2 \leq V$ пассажиров, т. к. некоторое число пассажиров, которые едут с первого остановочного пункта на второй, покинут транспортное средство, а также зайдут еще пассажиры с целью ехать дальше по маршруту. Далее аналогично до $k - 1$ остановки. Для r -ой остановки заполненность маршрутного такси составит

$$S_k = m_1 - m_{12} + m_2 - (m_{13} + m_{23}) + m_3 - \dots - (m_{1k} + m_{2k} + \dots + m_{(k-1)k}) \leq V, \quad (8.6)$$

т. к. это конечный остановочный пункт и на нем пассажиры не заходят в транспортное средство.

Таким образом, заполненность транспортного средства на r -ой остановке имеет вид (8.7):

$$S_r = \sum_{i=1}^r m_i - \sum_{i=1}^{r-1} \sum_{j=i+1}^r m_{i,j} \leq V, \quad r = \overline{2, k}. \quad (8.7)$$

Когда выражение выше превращается в равенство, достигается предполагаемая максимальная эффективность перевозки для одной единицы транспорта (маршрутного такси).

Заполненность транспортного средства S_r на каждой остановке r можно отследить с помощью графика, который имеет вид как на рисунке 8.3.

Таким образом, можно увидеть, в какой точке маршрута заполненность транспортного средства подходит к максимальной (обозначим этот остановочный пункт – решающая точка $h_{итр}$). При появлении такой точки происходит запуск транспортного средства (маршрутного такси).

С учетом возможности прибытия ещё некоторого числа пассажиров за то время, пока транспортное средство будет ехать до необходимого остановочного пункта, вводится коэффициент требуемой заполненности a . Изначально определим $a = 80\%$ для первой остановки. Далее, чем дальше остановочный пункт находится от места ожидания транспортного средства, тем меньше коэффициент требуемой заполненности на этом остановочном пункте. График зависимости коэффициента требуемой заполненности от номера остановки представлен на рисунке 8.4.

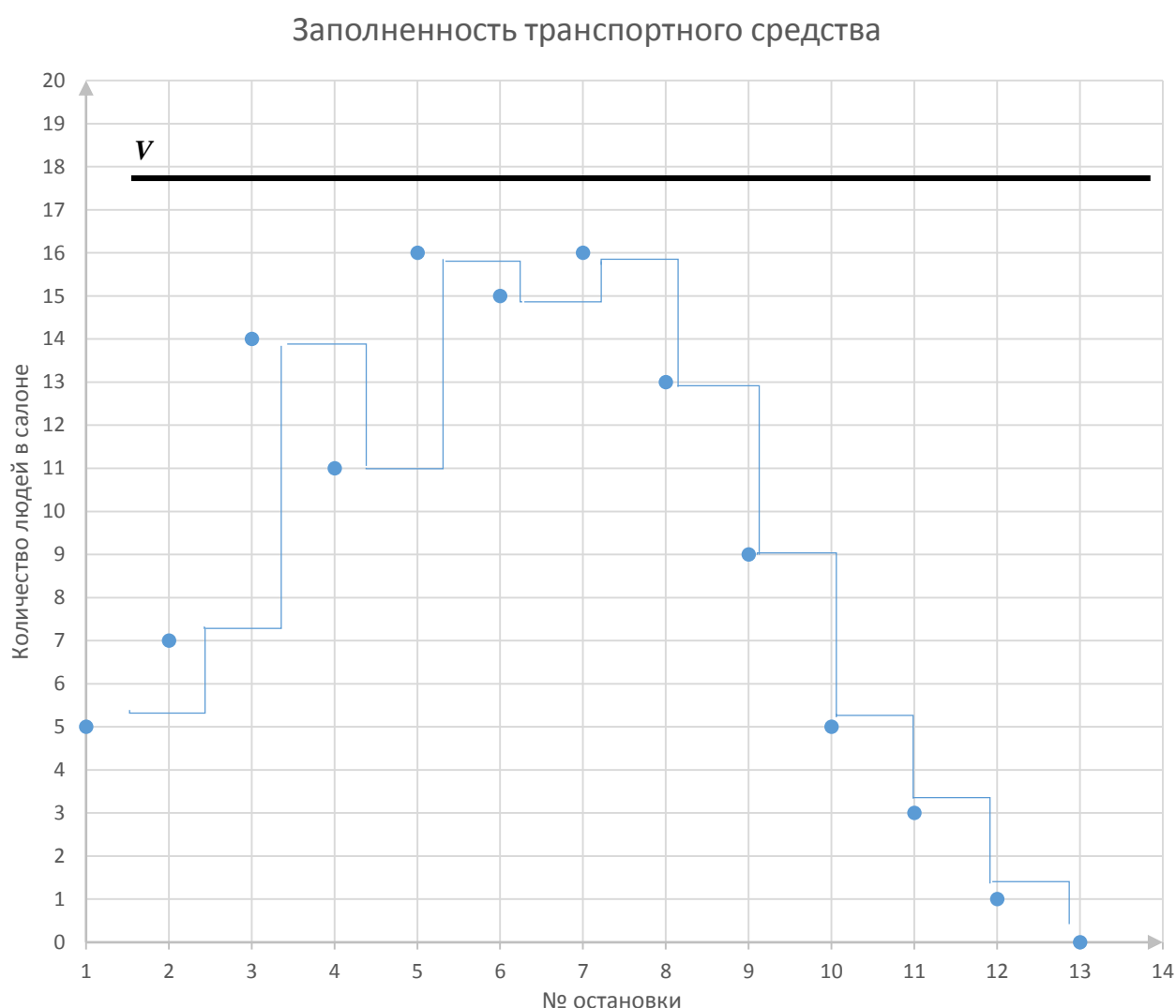


Рисунок 8.3 – График зависимости заполненности транспортного средства от порядкового номера остановки на маршруте

Коэффициент требуемой заполненности

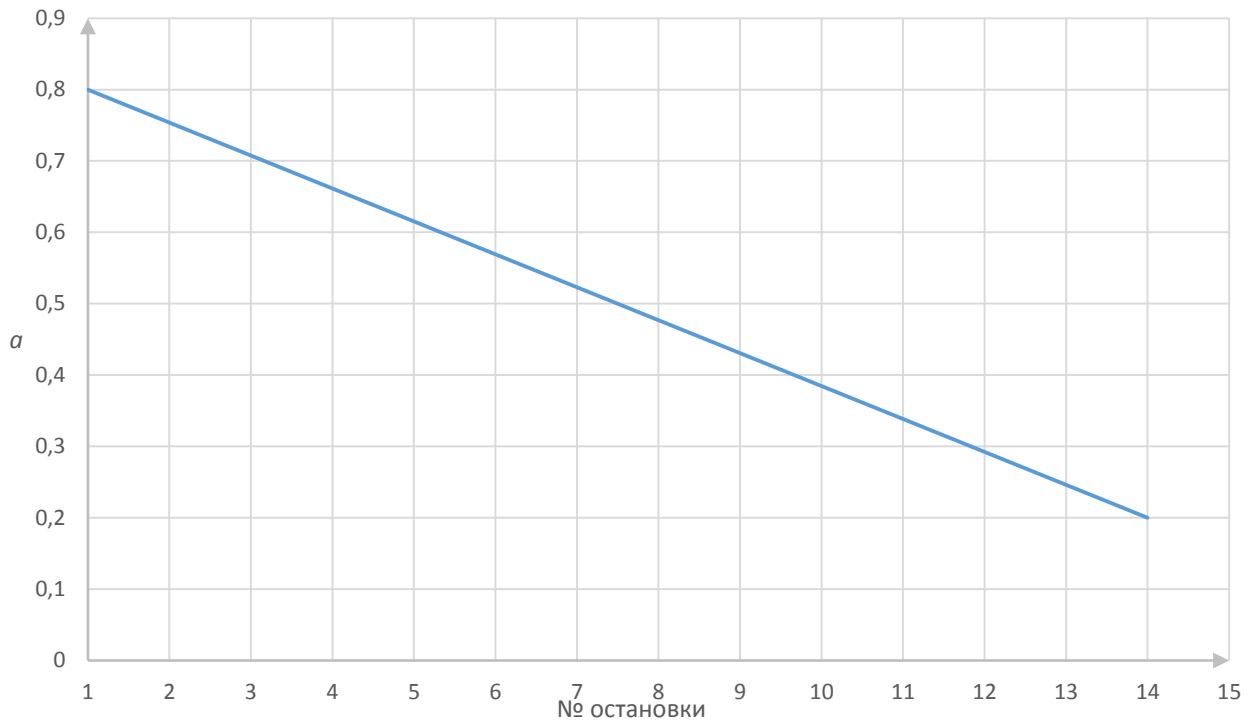


Рисунок 8.4 – График зависимости коэффициента требуемой заполненности от порядкового номера остановки на маршруте

Тогда сама требуемая заполненность S_r на остановочном пункте определяется через величину, равную $a * V$:

$$S_r \leq a * V \quad (8.8)$$

Т. к. в зависимости от остановки и времени суток прибывающий пассажиропоток меняется, его величина λ_i также будет меняться. На графике это может выглядеть следующим образом (рисунок 8.5).

При запуске транспортного средства необходимо учитывать интенсивность пассажиропотока λ – приблизительное количество людей, приходящих на остановку за единицу времени, а также учитывать время t , за которое транспортное средство доедет до точки максимума, которое определяется следующим образом :

$$t = \frac{\sum_{i=2}^{hump} l_{i-1,i}}{v} \quad (8.9)$$

где $hump$ – точка, в которой наблюдается приближение к величине $a_{hump} * V$; v – средняя скорость транспортного средства.

Учитывая интенсивность пассажиропотока λ , еще одно условие для запуска транспортного средства на маршрут можно определить следующим образом :

$$\lambda_{hump} * t \leq (1 - a_{hump}) * V \quad (8.10)$$

где a_{hump} – коэффициент заполненности; λ_{hump} – интенсивность пассажиропотока; $t_{доезда}$ – время прибытия маршрутного такси на заданную остановку.

Прирост пассажиров на маршруте в зависимости от номера остановки

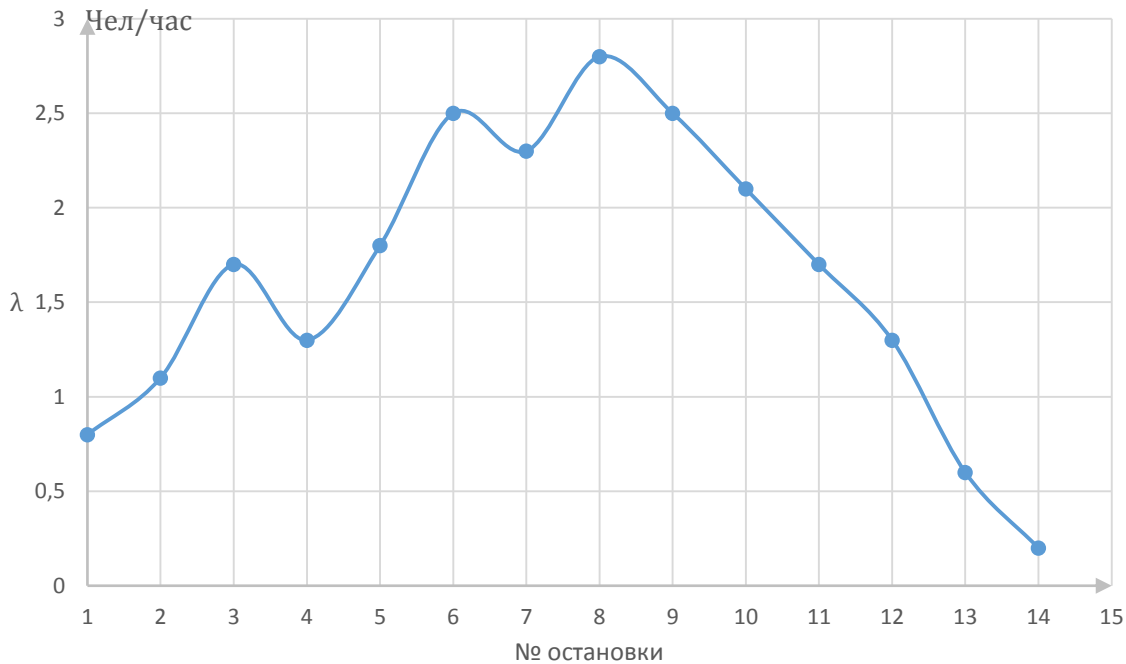


Рисунок 8.5

– Пример графика зависимости прироста пассажиров от порядкового номера остановки на маршруте

Это условие отслеживается для каждой из остановок на маршруте, при достижении равенства вышеописанного условия достигается второй предполагаемый максимум эффективности перевозки маршрутным такси на заданном маршруте.

Условие для каждой остановки соответственно:

$$\lambda_r * t_r \leq (1 - a_r) * V, \quad r = \overline{2, k} \quad (8.11)$$

Объединив два условия (8.8) и (8.11), получим:

$$S_r + t_r * \lambda_r \leq V, \quad r = \overline{2, k} \quad (8.12)$$

В реальных условиях необходимо учитывать погрешность в изменении количества пассажиров на маршруте при расчете максимально допустимой заполненности маршрутного такси, поэтому она составляет 80–90 % от реальной максимально допустимой заполненности. Более точный расчет допустимой заполненности требует учета статистики использования клиентского приложения для пассажира.

8.4 Принципы взаимодействия пользователей с системой

8.4.1 Приложение для водителя маршрутного такси. Первым шагом во взаимодействии водителя маршрутного такси с приложением является аутентификация пользователя в системе (рисунок 8.6). Учетные данные выдаются каждому пользователю-водителю ответственным лицом (это может быть администратор системы, менеджер или другое назначенное лицо). Такой подход выбран из соображений безопасности, чтобы ограничить количество создаваемых учетных записей в системе и обеспечить за ними контроль.

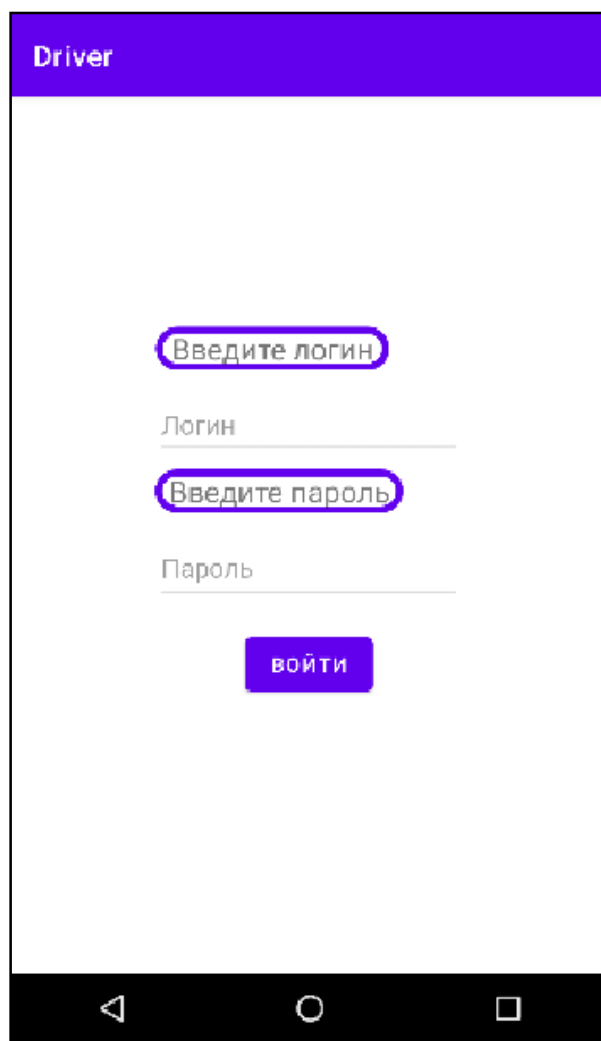


Рисунок 8.6 – Окно аутентификации пользователя-водителя

Пользователю-водителю необходимо указать информацию о себе. Приложение отправит запрос аутентификации пользователя на сервер. После первого входа (аутентификации) пользователя-водителя в систему, ему будет предложено сменить пароль. У пользователя существует возможность сохранить данные для аутентификации, чтобы упростить процесс использования приложения и не вводить эти данные при повторной аутентификации (рисунок 8.7).

Если учетные данные введены неверно, приложение уведомляет об этом всплывающим не несколько секунд уведомлением в нижней части экрана.

После успешной аутентификации пользователя-водителя в системе, ему необходимо выбрать маршрут следования маршрутного такси. После выбора маршрута пользователю-водителю необходимо нажать кнопку «Выйти на линию» для того, чтобы уведомить систему, что маршрутное такси активно и готово двигаться по маршруту. По нажатию этой кнопки начинается обмен данными между клиентским приложением для водителя маршрутного такси и серверным приложением.

Клиентское приложение для водителя в каждый момент времени показывает название текущего и следующего остановочного пункта на маршруте следования данного маршрутного такси, сумму общего количества пассажиров, ожидающих

данное маршрутное такси на всех остановочных пунктах маршрута, количество пассажиров, ожидающих на текущем и следующем остановочных пунктах, а также актуальное количество пассажиров внутри салона маршрутного такси (рисунок 8.8).

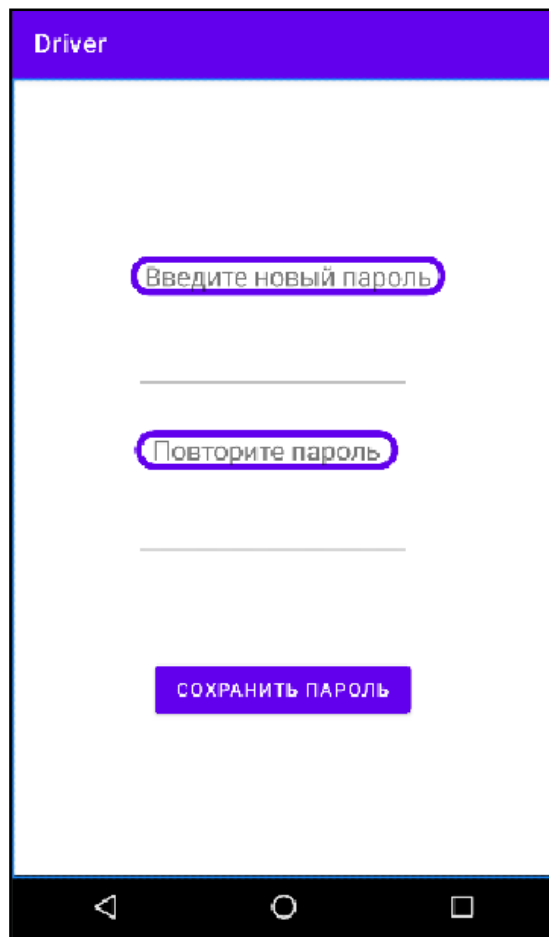


Рисунок 8.7 – Окно смены пароля пользователя-водителя

В процессе движения маршрутного такси по маршруту следования и на остановочных пунктах пользователь-водитель имеет возможность регулировать количество пассажиров в маршрутном такси в приложении. Эта возможность предусматривает случай посадки пассажира, не использующего приложения, для учета пассажира в системе. Водитель может как увеличивать, так и уменьшать число пассажиров с помощью приложения.

Система изменяет отображаемое количество пассажиров в соответствии с заявками, которые хранятся в базе данных и были созданы в приложении для пассажира. Водитель же, при необходимости, может редактировать фактическое количество пассажиров, чтобы оно соответствовало актуальному количеству пассажиров в салоне маршрутного такси.

8.4.2 Приложение для пассажира маршрутного такси. Пассажир-пользователь имеет возможность работать с приложением (системой) без аутентификации. Для работы приложения обязательным условием является наличие интернет-соединения.

Первым этапом в работе с приложением для пользователя (пассажира маршрутного такси) является создание заявки на посадку в маршрутное такси. Для этого пользователю нужно выбрать желаемый маршрут. Существует две возможности выбрать маршрут. Первый способ заключается в выборе номера соответствующего маршрута из списка возможных, а затем – выбора остановочных пунктов на этом маршруте, на которых производится посадка и высадка (пункты посадки и назначения). Второй – в автоматическом подборе маршрутов по начальному и конечному остановочному пункту (рисунок 8.9).

Оба способа выбора маршрута подразумевают определение остановочных пунктов посадки и назначения (высадки), а также номера маршрута следования. При первом способе по нажатию кнопки «Все» пользователю-пассажиру предлагается сначала выбрать номер маршрутного такси. При этом помимо номеров маршрутов пользователь видит соответствующие им конечные остановки маршрутов (рисунок 8.10). Выбрав желаемый номер маршрута, пользователю-пассажиру остается только выбрать из названий остановочных пунктов на маршруте следования пункты посадки и назначения.

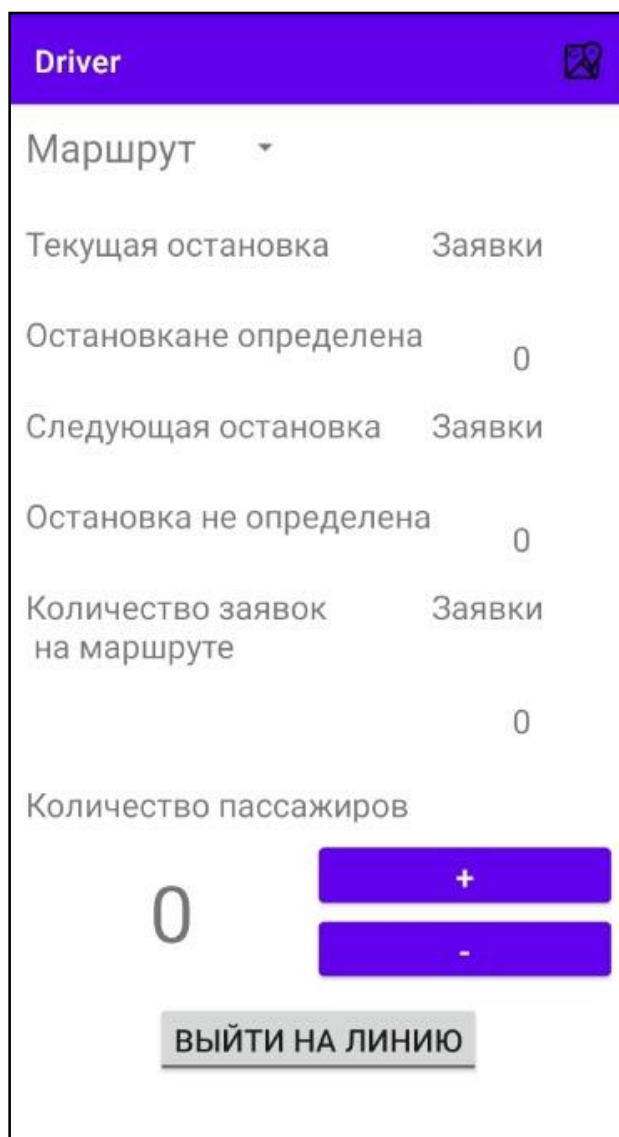


Рисунок 8.8 – Основной экран работы с приложением

При втором способе сначала выбираются остановочные пункты посадки и назначения (рисунок 8.11). Затем следующее окно предлагает пользователю выбрать номер маршрута, которым он хочет добраться от выбранного пункта посадки до пункта назначения. Если прямого маршрута не существует, приложение будет пытаться найти маршрут с одной пересадкой. Если и такого маршрута не будет найдено, приложение сообщит пользователю о том, что невозможно построить маршрут между выбранными остановочными пунктами.

Для определения остановочного пункта, на котором производится посадка, пользователь может вместо выбора названия остановки из списка отсканировать изображение QR-кода остановки (рисунок 8.12).

После выбора маршрута, начальной и конечной остановок пользователь видит модальное окно, в котором указаны введенные им данные заявки. Окно «Отправить заявку» предлагает два варианта ответа: отправить («ОК») или отказаться («NO»). Модальное окно позволяет пользователю в последний раз перепроверить введенные им данные и, в случае ошибки, отменить отправление и заполнить заявку заново корректными данными (рисунок 8.13).

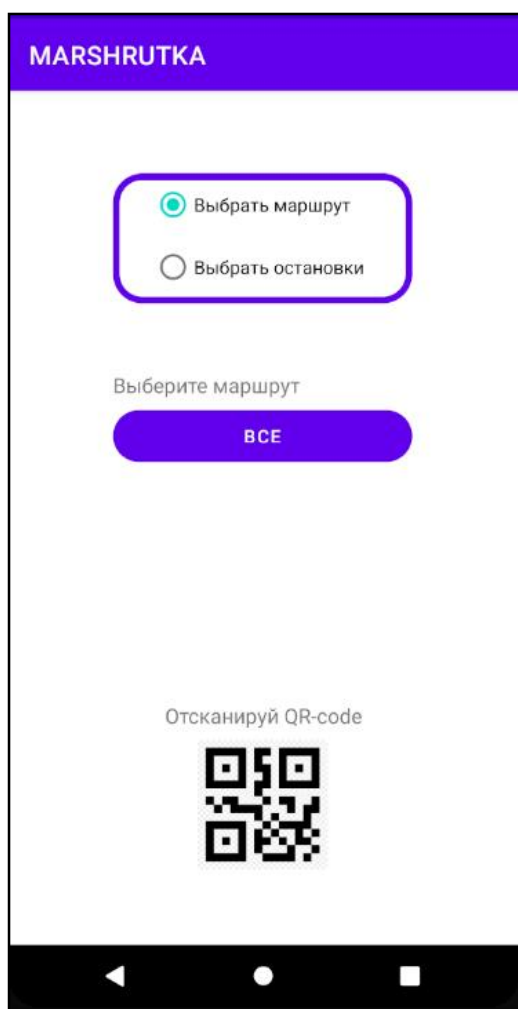


Рисунок 8.9 – Окно выбора режима создания заявки пассажира

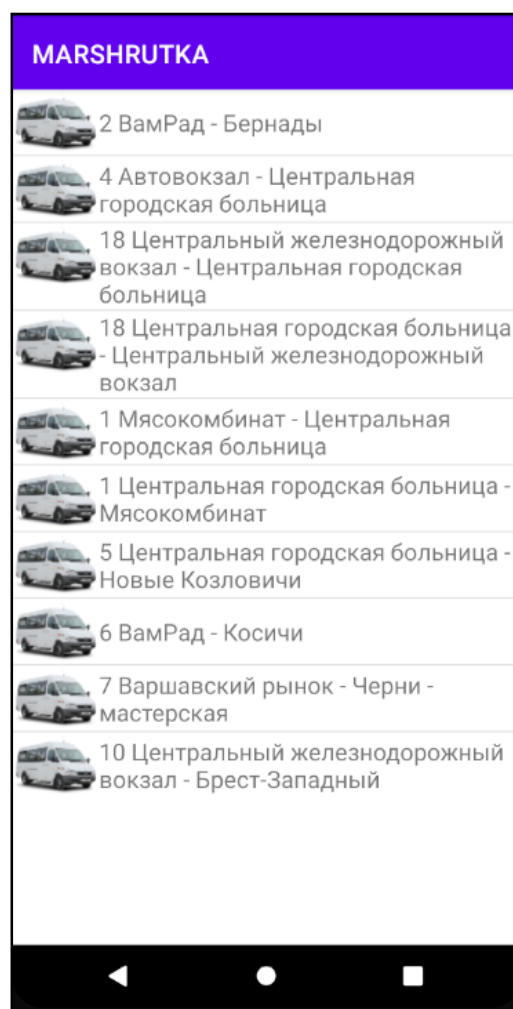


Рисунок 8.10 – Окно выбора номера маршрута

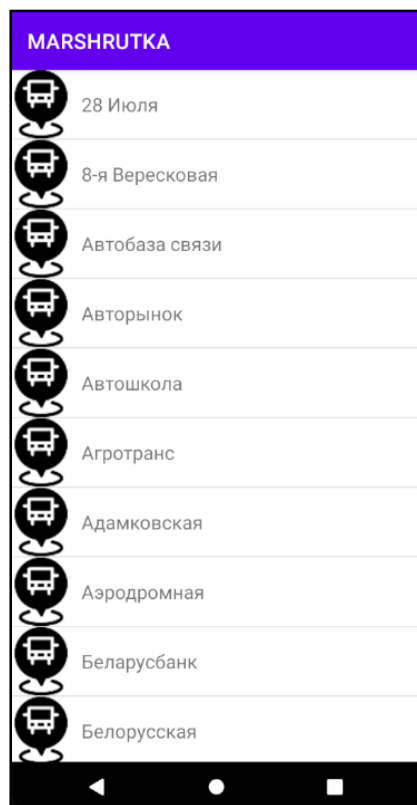


Рисунок 8.11 – Окно выбора остановочных пунктов

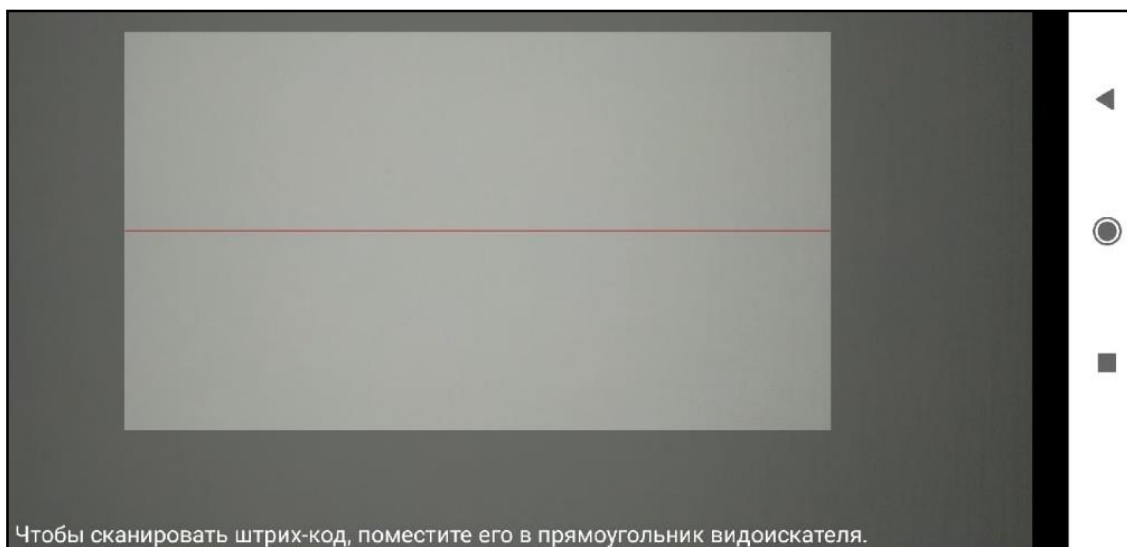


Рисунок 8.12 – Окно сканирования QR-кода

После создания заявки приложение отображает пользователю связанное с созданной заявкой окно. Заявка информирует водителя маршрутного такси о том, что пассажир ожидает на текущей остановке. Пользователь в любое время имеет возможность отменить заявку нажатием на кнопку «Отмена», до тех пор, пока первое маршрутное такси с выбранным номером не оказалось рядом с выбранным остановочным пунктом посадки (рисунок 8.14).

Еще одной функцией приложения является возможность отслеживать транспортные средства на выбранном маршруте следования. После создания заявки

приложение пользователя-пассажира имеет возможность через определенные интервалы времени получать GPS-данные о расположении маршрутных такси и отображать их на GPS-карте. Для отображения GPS-карты необходимо в окне созданной заявки нажать на значок GPS-карты. Отслеживание транспортного средства продолжается до тех пор, пока транспортное средство не доедет до остановочного пункта посадки или пассажир не отменит созданную им заявку.

По прибытию ожидаемого пассажиром транспортного средства заявка на посадку будет считаться выполненной, а приложение уведомит пользователя о прибытии транспорта на остановку (рисунок 8.15).

8.5 Описание компонентов системы

8.5.1 Используемые технологии и методы работы сервера. Сервер выступает центральным элементом системы, который, с одной стороны, обеспечивает управление потоками информации, предоставляя и принимая данные посредством запросов от клиентских компонент, а с другой – обеспечивает сохранность данных путем взаимодействия с СУБД и сохранения их в базе данных.

Серверная компонента представляет собой программный продукт, работающий только совместно с клиентскими приложениями и не имеющий собственного пользовательского интерфейса. Для работы с серверным приложением, его настройкой или изменением принципов работы, внесения данных и других операций необходим оператор (инженер), обладающий необходимыми знаниями. Чтобы администрировать данную систему, необходимы знания MongoDB, JavaScript, Express.js, Mongoose и Ecmascript5, операционных систем семейства UNIX.

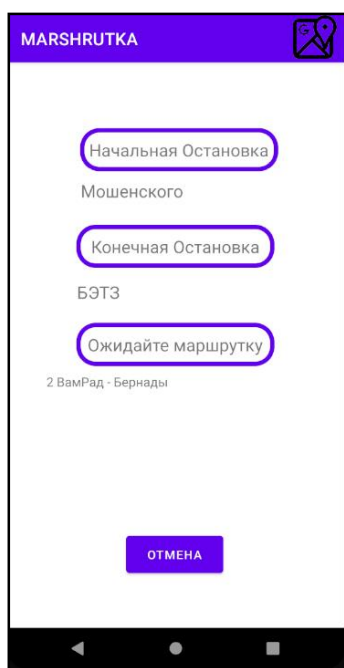


Рисунок 8.13 – Модальное окно отправления заявки пассажира

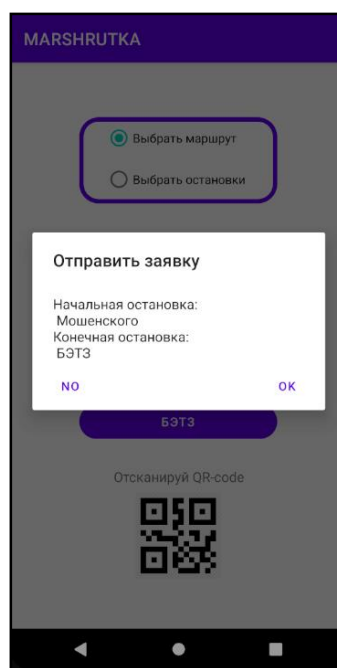


Рисунок 8.14 – Окно заявки на посадку пассажира в маршрутное такси

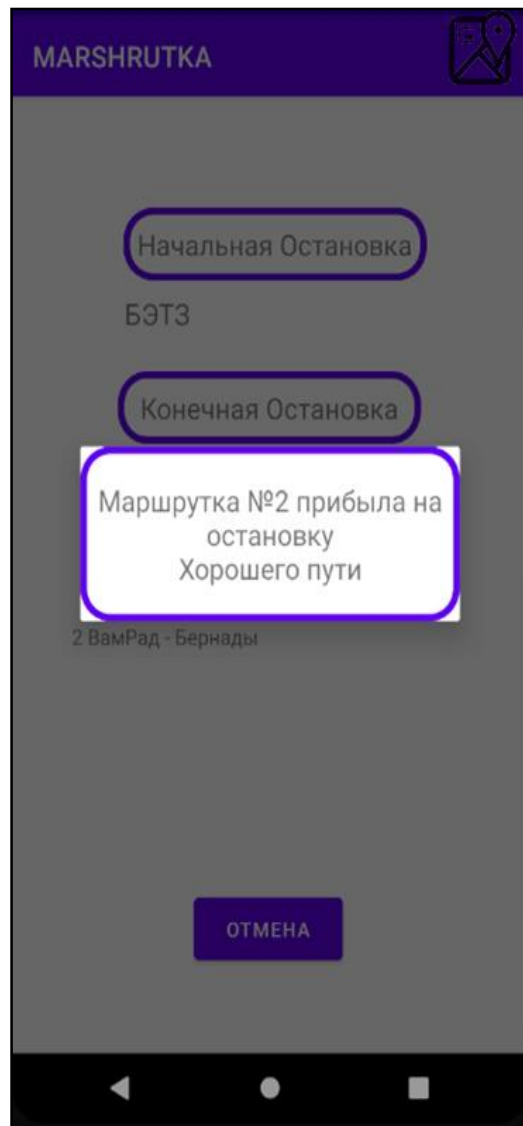


Рисунок 8.15 – Окно уведомления о прибытии транспорта на остановку

Для реализации сервера использовался язык программирования JavaScript, в частности, фреймворки Node.js, Express.js и Mongoose. Node.js – программная платформа, превращающая JavaScript из узкоспециализированного языка в язык общего назначения. В разработанной системе веб-сервер Express.js служит стандартным каркасом для Node.js и реализует механизмы работы серверной компоненты с запросами. Он необходим для создания программного обеспечения, которое позволяет двум пользователям, в нашем случае это клиент-пассажир и клиент-водитель, общаться друг с другом.

Mongoose представляет специальную ODM-библиотеку для работы с MongoDB, которая позволяет сопоставлять объекты классов и документы коллекций из базы данных. Хранение информации о пассажирах, водителях, остановках, маршрутах и других данных обеспечивает нереляционная СУБД MongoDB. Она имеет встроенную поддержку слабоструктурированных данных в формате JSON с возможностью их индексации, а также расширяемость (возможность создавать новые типы данных, типы индексов, модули расширения, подключать любые внешние источники данных).

Такой выбор был обусловлен требованием к регулярному интенсивному наполнению базы данных, а также скорости разработки решения по сравнению с другими аналогами.

Задачи, решаемые серверной компонентой:

- регистрация запроса от клиента-пассажира на перевозку по маршруту между выбранными остановками;
 - расчет и предоставление информации о количестве пассажиров, ожидающих на остановке;
 - расчет и предоставление информации о количестве пассажиров, покидающих транспортное средство на остановке;
 - сохранение информации о местоположении транспортных средств из приложения для водителя маршрутного такси;
 - передача информации о местоположении транспортных средств приложению пассажира маршрутного такси;
 - учет динамики всех поступающих заявок и запросов мобильных и статичных клиентов;
 - сбор статистической информации и формирование рекомендаций для повышения эффективности пассажирских перевозок;
 - ведение базы данных автоматизированной системы управления маршрутным транспортом;
 - регистрация и аутентификация водителей в системе;
 - предоставление последовательности остановок и маршрутов по запросу.
- Для обращения к серверу используются следующие методы HTTP-запросов:
- PUT – используется для загрузки содержимого запроса с последующим сохранением в базе данных;
 - POST – применяется для передачи пользовательских данных серверу для обработки;
 - DELETE – используется для удаления данных;
 - GET – используется для запроса данных от сервера;
 - CONNECT – устанавливает «туннель» к серверу.

8.5.2 Логическая модель базы данных. MongoDB является документно-ориентированной системой, в которой центральным понятием является документ. Документ можно представить, как объект, хранящий некоторую информацию. В некотором смысле он подобен строкам в реляционных СУБД, где строки хранят информацию об отдельном элементе. В фреймворке Mongoose объекты представляются в виде моделей данных, основанных на схемах данных. Схема данных должна повторять структуру объекта в базе данных. При этом большая часть запросов в Mongoose соответствует таковым в MongoDB. Логическая модель представления данных изображена на рисунке 8.16.

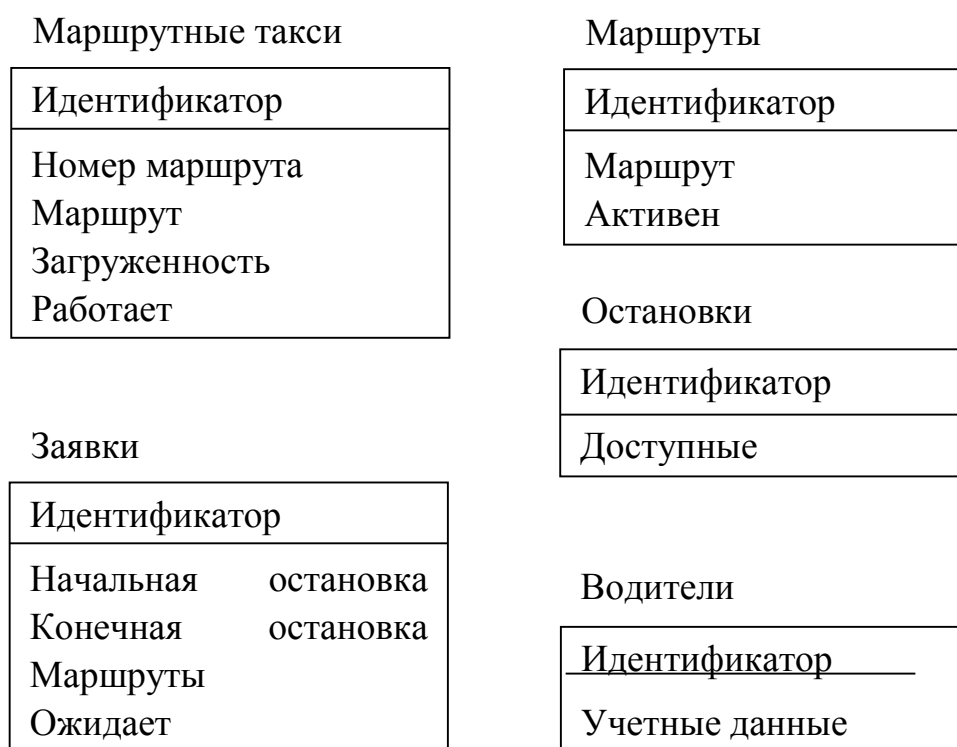


Рисунок 8.16 – Логическая модель представления данных

Сущность «Маршрутные такси» предназначена для хранения информации об активных маршрутных такси. Сущность «Маршруты» предназначена для хранения информации о маршрутах, на которых в данный момент есть транспорт. Сущность «Заявки» предназначена для хранения информации о получаемых заявках клиентов. Сущность «Остановки» предназначена для хранения информации об остановках, до которых можно добраться с текущей остановки. Сущность «Водители» хранит учетные данные клиентов-водителей маршрутных такси.

Для аутентификации используется технология JSON Web Token – это открытый стандарт для создания токенов доступа, основанный на формате JSON. Токены создаются сервером, подписываются секретным ключом и передаются клиенту, который в дальнейшем использует данный токен для подтверждения своей личности.

8.5.3 Описание приложения для пассажира маршрутного такси. Клиентское приложение для пассажира написано на языке Java в среде разработки Android Studio для мобильных устройств, работающих на операционной системе Android версии 5 и выше. Для компиляции используется Android SDK (Software Development Kit), разработанный компанией Google. При разработке применялись технологии REST API и JSON. Стандарт JSON используется для обмена данными с сервером.

Схема взаимодействия клиентского приложения для пассажира с компонентами системы представлена на рисунке 8.17.

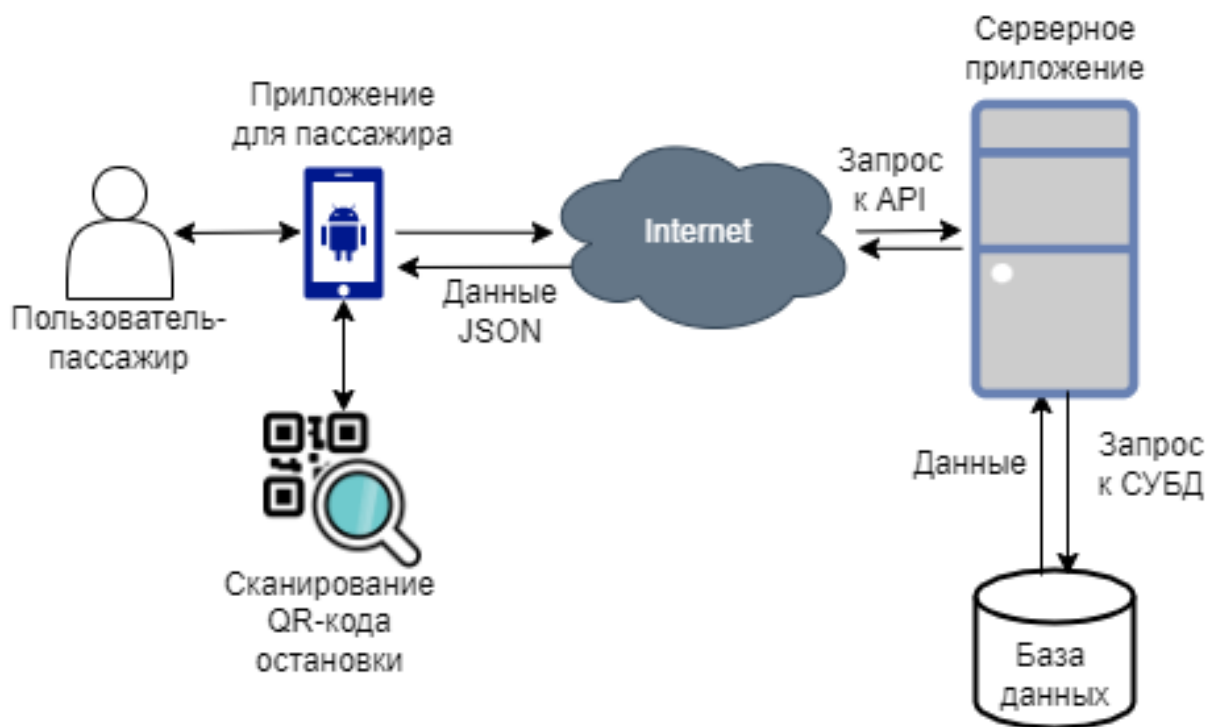


Рисунок 8.17 – Схема взаимодействия клиентского приложения для пассажира с компонентами системы

Начальный экран приложения для клиента-пассажира предоставляет пользователю возможность формирования заявок в двух режимах: с выбором желаемого маршрута или с выбором остановок.

В первом случае пользователь выбирает номер маршрута, начальный и конечный остановочные пункты, после чего заявка считается сформированной и может быть отправлена на сервер. Во втором случае пользователь указывает только начальный и конечный остановочные пункты, а приложение предлагает подходящий номер маршрута или сообщает о том, что на данный момент нет прямого маршрута между двумя указанными остановочными пунктами.

Изначально видна только одна кнопка «Все» в зависимости от выбранного режима работы – для выбора маршрута или для выбора остановочных пунктов. При нажатии на нее для выбора маршрута, в новом окне будут отображаться номера активных маршрутов, на которых есть хотя бы один водитель. В окне выбора остановок отображается список всех доступных остановочных пунктов или остановок конкретного маршрута (зависит от выбранного режима работы приложения). Если выбор маршрута происходит после выбора остановок, приложение предоставляет список маршрутов, которыми можно добраться от остановочного пункта посадки до остановочного пункта назначения (далее – начальный и конечный остановочные пункты).

Вместо того, чтобы указывать начальный остановочный пункт, существует возможность отсканировать QR-код для автоматического выбора начального остановочного пункта. Приложение использует QR-коды размера 21 x 21 пиксель (рисунок 8.18).

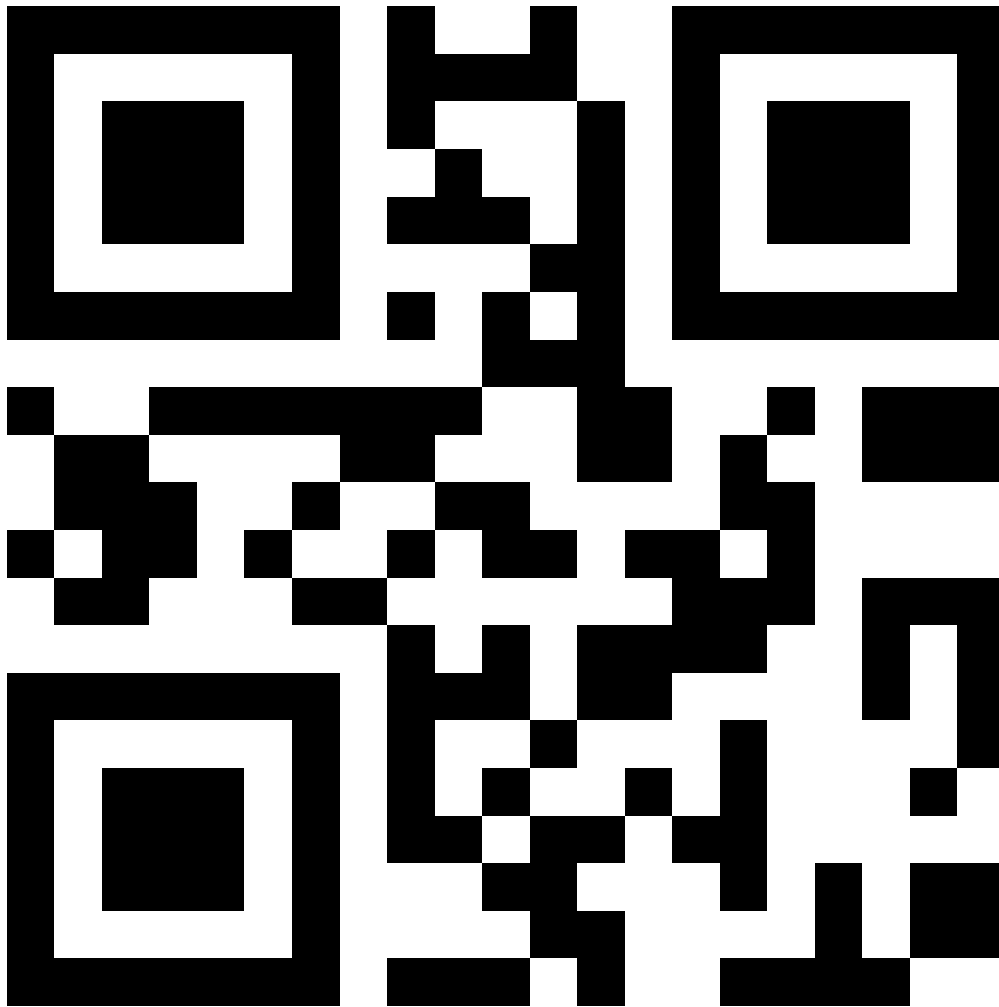


Рисунок 8.18 – Пример сгенерированного QR-кода

Существует четыре способа кодировки QR-кодов: цифровое, буквенно-цифровое, байтовое кодирование, а также тип кодирования «кандзи». QR-коды данного приложения используют цифровое кодирование. Данный тип кодирования требует 10 бит на 3 символа. Вся последовательность символов разбивается на группы по три цифры, и каждая группа (трехзначное число) переводится в 10-битное двоичное число и добавляется к последовательности бит. Если общее количество символов не кратно трем, то, если в конце остается два символа, полученное двузначное число кодируется семью битами, а если один символ, то четырьмя битами [146].

Каждый подобный QR-код содержит в себе цифровое значение – уникальный идентификатор остановки, по которому в дальнейшем осуществляется выбор и загрузка данных посредством мобильного интернета. Приложение осуществляет фоновую проверку на наличие прав использования камеры мобильного устройства.

QR-код удобен тем, что он позволяет не только сократить время поиска нужного остановочного пункта в перечне всех остановочных пунктов города (или конкретного маршрута), но и удостовериться, что пассажир действительно находится на остановочном пункте в ожидании транспорта.

После выбора маршрута, начальной и конечной остановок пользователь видит диалоговое окно с возможностью подтвердить или отклонить отправление заявки на сервер.

Еще одной функциональной возможностью приложения для пассажира является возможность отслеживания транспортного средства на GPS-карте. Идея заключается в использовании приложения для водителя и возможностей взаимодействия современных мобильных устройств с GPS-системами. В абсолютном большинстве современных мобильных устройств присутствует GPS-трекер, который позволяет достаточно точно вычислять местоположения устройства.

Реализация функциональности отслеживания GPS-координат позволяет удалять и деактивировать заявку пассажира на посадку в маршрутное такси в тот момент, когда полученные координаты маршрутного такси и остановки совпадут с допустимой погрешностью. Поскольку приложение для пассажира получает информацию только о маршрутных такси, номер маршрута которых совпадает с созданной заявкой, то совпадение координат означает, что маршрутное такси прибыло, и держать заявку активной больше нет необходимости.

Фактическое удаление заявки происходит только на стороне клиентского приложения. На сервере выполненные заявки переходят в неактивные и сохраняются в базе данных.

Реализация функциональности состоит из двух подзадач. Первая из них состоит в разработке возможности отправки GPS информации из каждого приложения водителя на сервер через определенные интервалы времени.

Вторая подзадача заключается в добавлении приложению пассажира виджета, который будет содержать GPS-карту и производить отрисовку местоположения транспорта, информация о котором будет получена от сервера.

Алгоритм можно описать следующим образом:

- каждое приложение для водителя отправляет информацию о местоположении мобильных устройств на сервер;
- сервер собирает GPS-данные водителей, и отправляет приложениям пассажиров данные, согласно номеру маршрута, указанному пользователем в заявке;
- приложение для пассажира отображает на GPS-карте местоположение транспорта по полученным данным.
- когда GPS-координаты остановочного пункта посадки и отслеживаемого маршрутного такси совпадают (с некоторой погрешностью), происходит удаление и деактивация заявки пассажира.

Блок-схема алгоритма отслеживания маршрутного такси на GPS-карте приведена на рисунке 8.19.

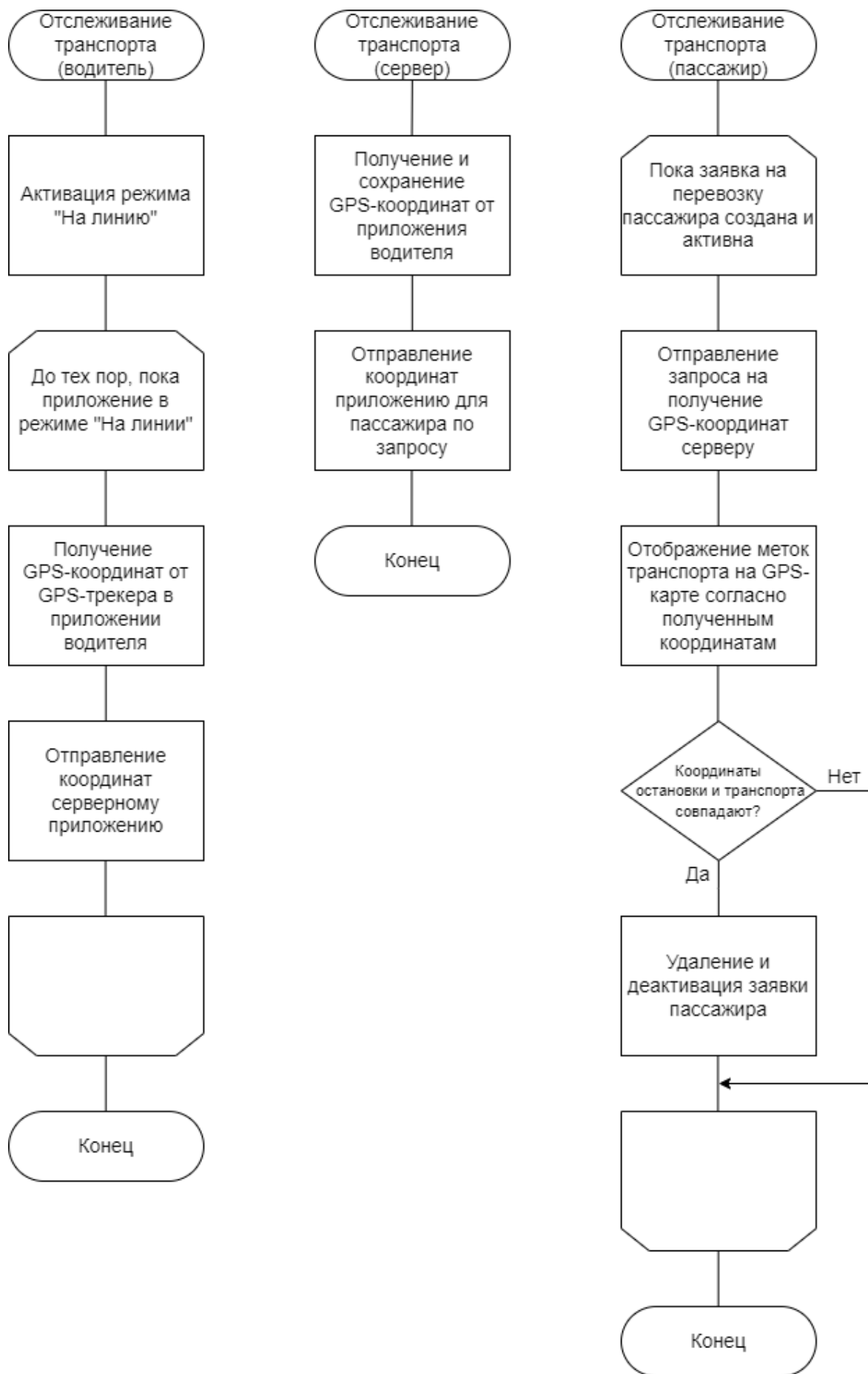


Рисунок 8.19 – Схема алгоритма отслеживания маршрутного такси на GPS-карте

Задачи, решаемые компонентой клиента-пассажира:

- отображение списка всех остановочных пунктов для выбора пунктов посадки и назначения;
- возможность определения остановки, на которой находится пользователь посредством QR-кода;
- предоставление информации по маршрутам, проходящим через выбранные остановки;
- возможность выбора маршрута с пересадками;
- отображение информации по всем маршрутам;
- формирование заявок на перевозку и отправка их на сервер системы;
- отслеживание выбранных маршрутных такси на GPS-карте.

Схема работы приложения клиента-пассажира представлена на рисунке 8.20.

Схема алгоритма создания заявки пассажира на перевозку маршрутным такси представлена на рисунке 8.21.

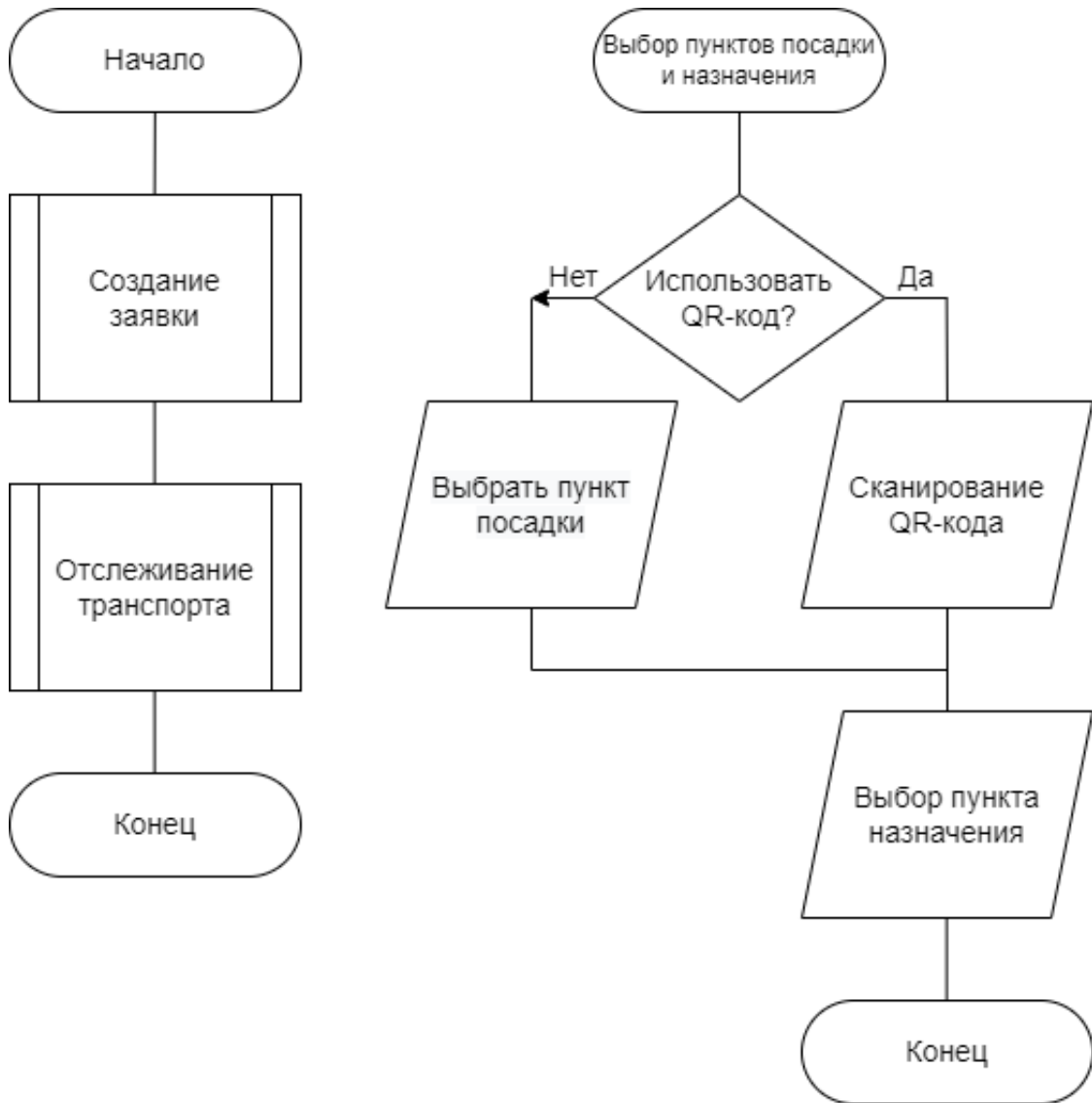


Рисунок 8.20 – Схема работы приложения для клиента-пассажира

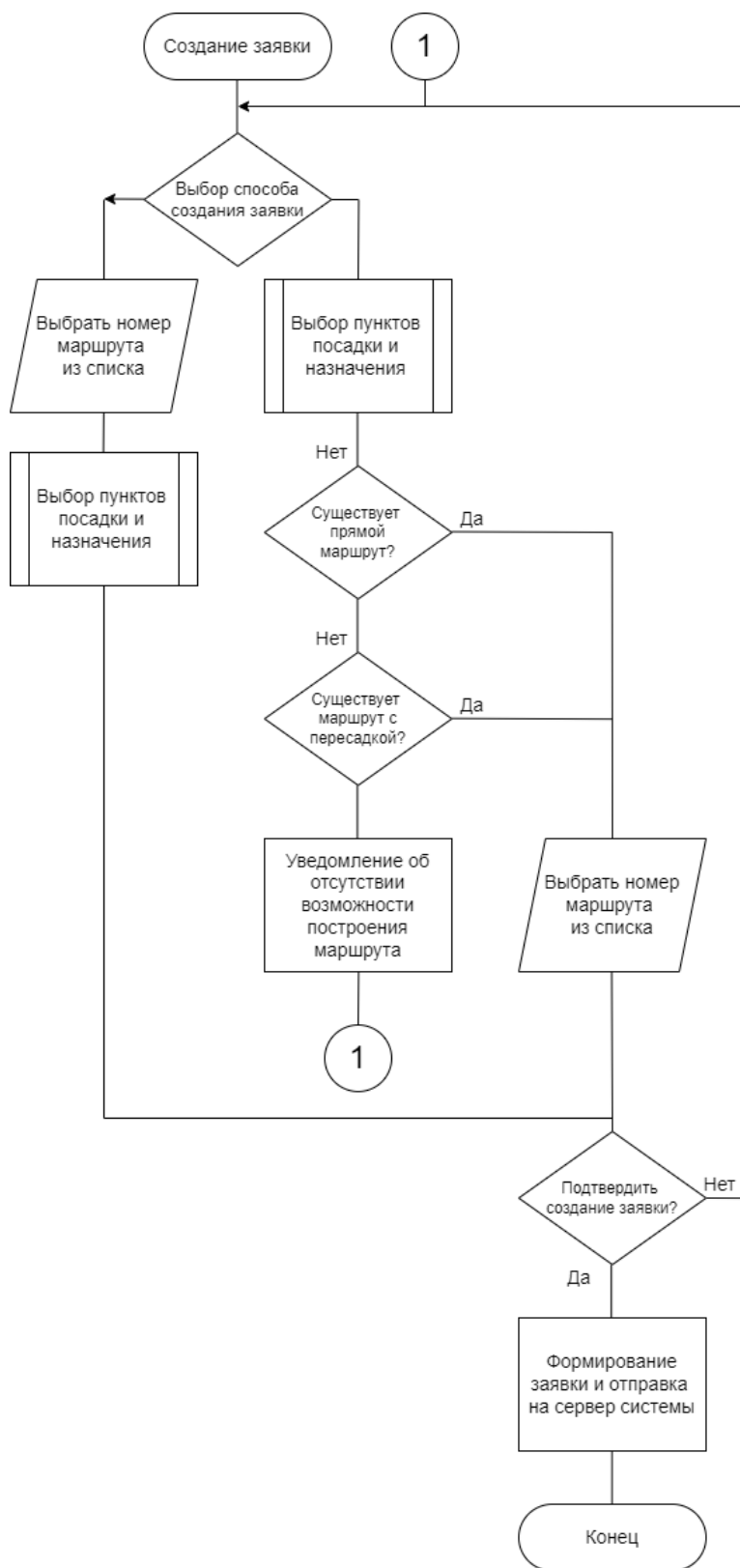


Рисунок 8.21 - Схема алгоритма создания заявки на перевозку маршрутным такси

8.5.4 Описание приложения для водителя маршрутного такси. Клиентское приложение для водителя написано на языке Java в среде разработки Android Studio для мобильных устройств, работающих на операционной системе Android версии 5 и выше. Для компиляции используется Android SDK (Software

Development Kit), разработанный компанией Google. При разработке применялись технологии REST API и JSON.

Схема взаимодействия клиентского приложения для водителя с компонентами системы представлена на рисунке 8.22.

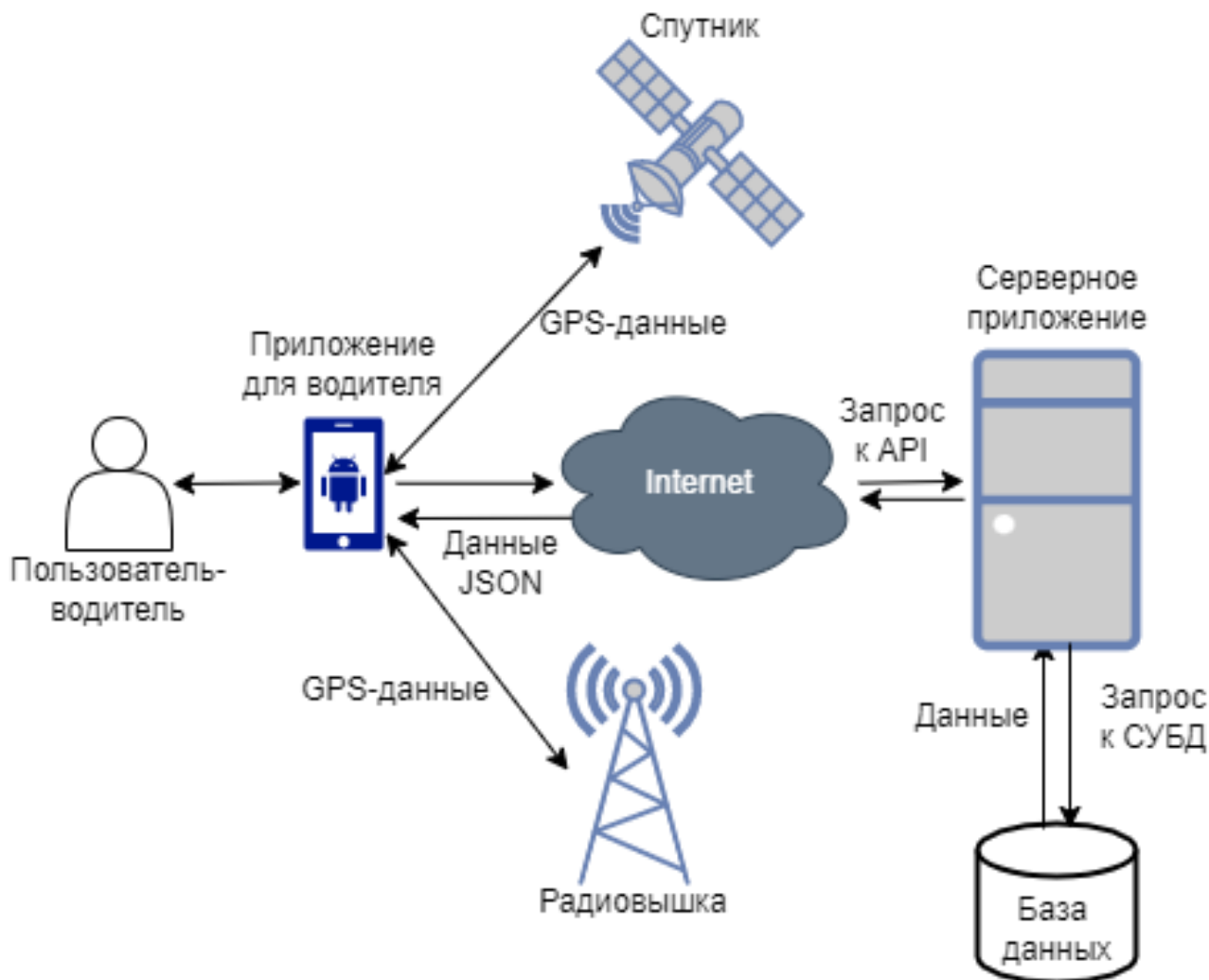


Рисунок 8.22 – Схема взаимодействия клиентского приложения для водителя с компонентами системы

Начальный экран приложения клиента-водителя предназначен для входа в систему. Содержит поля для ввода логина и пароля, а также кнопку «Войти». По нажатию кнопки «Войти» происходит отправление запроса на аутентификацию пользователя в системе, и в случае, если данные введены неверно, сервер возвращает ошибку, которая отображается в виде «Toast»-уведомления, всплывающего на несколько секунд, а затем исчезающего.

Регистрационные данные пользователей выдаются администратором системы. Такой способ регистрации пользователей выбран из соображений безопасности, поскольку, при размещении приложения такого типа в открытом доступе, большое количество пользователей, проходящих регистрацию и аутентификацию, потребует значительных вычислительных ресурсов. Это открывает

возможность для DoS-атак и захламления базы данных ненужными регистрационными данными.

При первой аутентификации пользователю-водителю будет предложено ввести свой собственный пароль и сохранить аутентификационные данные для быстрого входа в приложение при следующем его использовании.

После прохождения аутентификации, пользователю-водителю будет представлено основное рабочее окно приложения. Оно поделено на 3 основных блока: информационный, функциональный и специальный .

В информационном блоке пользователь-водитель может выбрать номер (и направление) своего маршрута. Водителю отображается следующая информация: текущий номер маршрута, ближайшая остановка для посадки/высадки пассажиров и следующая за ней, количество созданных пассажирами заявок на посадку в транспорт на этих остановках, количество выходящих на следующей остановке пассажиров, число сформированных заявок пассажиров на следующей остановке, а также сумма всех активных заявок для текущего маршрута (количество пассажиров, ожидающих посадку на маршруте).

Так как велика вероятность, что не все пассажиры будут использовать приложение для регистрации заявки, то указанное системой количество пассажиров может не соответствовать реальной ситуации. Эта проблема учтена и решается в функциональном блоке.

Функциональный блок предназначен для решения проблемы определения фактического количества пассажиров в транспорте. В нем отображается количество пассажиров в салоне маршрутного такси на текущий момент в соответствии с информацией, получаемой от сервера. В этом блоке находятся две кнопки «+» и «-», которые позволяют корректировать количество пассажиров в салоне маршрутного такси. Через небольшой промежуток времени после редактирования числа пассажиров обновленная информация отправляется запросом на сервер для сохранения.

Данный подход позволит не только следить за количеством человек в салоне транспорта, но и вести статистику количества человек, использующих и не использующих приложение. Сбор этих данных важен для оценки динамики роста числа пользователей.

Третий блок позволяет водителю выйти на маршрут или перейти в неактивный режим. По умолчанию пользователь-водитель находится в неактивном режиме. Для перехода в активный режим необходимо нажать кнопку «Выйти на линию». По нажатию кнопки приложение для водителя начинает отправлять данные о местоположении маршрутного такси (мобильного устройства с установленным приложением для водителя). Неактивный режим предназначен для внешних ситуаций в случаях, когда водителю приходится сойти с маршрута (поломка, авария, другие причины).

Помимо этого, по нажатию значка GPS-карты пользователь-водитель может перейти на экран отображения транспорта на карте.

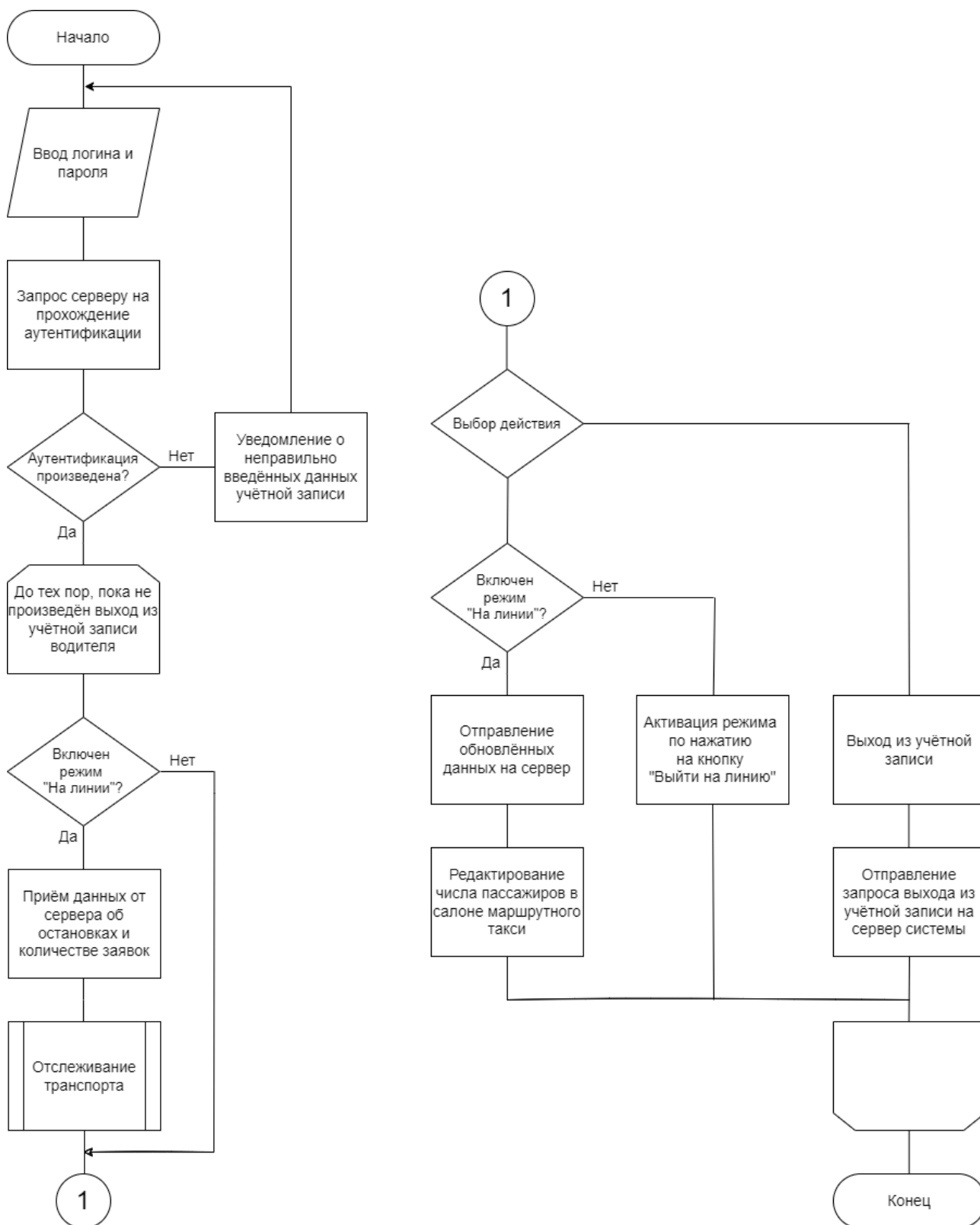


Рисунок 8.23 – Схема работы приложения клиента-водителя

Задачи, решаемые компонентой клиента-водителя:

- аутентификация водителя маршрутного такси в системе;
- отображение информации о количестве пассажиров в транспортном средстве с возможностью корректировки;

- отображение информации о количестве пассажиров, покидающих транспортное средство на следующем остановочном пункте;
- отображение информации о количестве пассажиров, ожидающих транспортное средство на следующем остановочном пункте;
- отображение информации о количестве пассажиров на маршруте;
- передача информации о местоположении маршрутного такси.

Схема работы приложения клиента-водителя представлена на рисунке 8.23.

8.6 Перспективы развития системы

8.6.1 Рекомендация по времени выезда для водителя. Одной из центральных функций приложения для водителя маршрутного такси является рекомендация по времени его выезда с конечного пункта на маршрут. В соответствии с информацией, поступающей на сервер, водителю будет подан сигнал активации, когда ему следует выехать с остановочного пункта, на котором он находится. Выезд происходит, когда на одном из остановочных пунктов предполагаемая заполненность транспортного средства подходит к максимально допустимой в данной точке.

Сигнал информирует водителя маршрутного такси о том, что на маршруте следования появилось достаточное количество пассажиров, ожидающих маршрутное такси на остановочном пункте (создавших заявку в системе на проезд до определенного остановочного пункта). Остановочный пункт фиксируется, и происходит запуск транспортного средства. Далее, по мере приближения к данной точке, осуществляется высадка уже подобранных пассажиров и забор ожидающих на промежуточных остановках. На конечном остановочном пункте транспортное средство останавливается и ожидает следующего сигнала о запуске.

Условие запуска транспортного средства, в случае, когда все пассажиры используют приложение для маршрутного такси, описано в математической модели. Необходимо произвести расчет для каждой остановки фактического числа созданных заявок, а также числа заявок, которые будут созданы с учетом текущей интенсивности пассажиропотока.

Для этого серверное приложение производит расчет числа пассажиров согласно уже созданным заявкам S_r для каждой остановки, а затем к полученным значениям добавляет произведение $t_r * \lambda_r$ времени, за которое маршрутное такси доберётся до этой остановки на интенсивность пассажиропотока. Интенсивность пассажиропотока может, например, быть рассчитана как средняя частота создания заявок за последний час на этой остановке.

На данный момент заявки пассажиров маршрутного такси сохраняются в базе данных с меткой времени. Это означает, что для каждой заявки известно время, когда она была создана, и остановочный пункт, на котором производится посадка пассажира. Отсюда следует, что расчет числа заявок за последний час на конкретной остановке может быть выполнен одним запросом к базе данных.

Когда на одной из остановок условие (1.12) выполняется, серверное приложение отправляет запрос клиентскому приложению для водителя, сообщающий

о том, что описанный выше сигнал может быть подан, после чего приложение для водителя информирует об этом пользователя.

Таким образом, когда возникает ситуация, необходимая и достаточная для того, чтобы отправить транспорт по данному маршруту, сервер отправляет сигнал приложению для клиента-водителя о потребности выйти на маршрут. В ситуации отсутствия пассажиров транспорт не выйдет на маршрут и тем самым затраты на бензин будут сокращены.

8.6.2 Голосовой чат. В процессе перевозки пассажиров маршрутным такси было замечено, что водители на одном маршруте часто общаются между собой о количестве пассажиров на маршруте, пробках, ситуации на дороге и прочих рабочих ситуациях.

Автоматизированная система управления маршрутным такси нацелена на объединение в себе всех необходимых компонентов для комфортного использования, и голосовой чат не является исключением. Поскольку для использования приложения в любом случае необходим мобильный интернет, то логичным решением является интернет-телефония, также известная как IP-телефония.

Такое решение позволит созваниваться как двум водителям, так и, при необходимости, создать голосовую конференцию для большего количества участников. Стоит отметить, что реализация IP-телефонии требует наличия знаний в области телеком-технологий, поэтому добавление и тестирование такой функциональности является непростой задачей, требующей значительного объема времени и определенного опыта у разработчиков.

8.6.3 Статистика использования приложений. На данный момент в системе, в том числе ни в серверной компоненте, ни в клиентской компоненте, не реализована возможность вести статистику использования пользователями приложений. Под статистикой использования, прежде всего, понимается отношение количества пользователей приложения к общему количеству людей, пользующимися услугами перевозки городским маршрутным такси на маршрутах, для которых применяется описываемая автоматизированная система.

Применяемая математическая модель, без использования статистических данных, не способна точно определять количество пассажиров на маршруте. Этот недостаток может быть устранен как увеличением числа пользователей приложения, так и использованием точно рассчитанного поправочного коэффициента. На данный момент, без использования поправочного коэффициента и ведения статистики, по причине большой погрешности в подсчете числа прибывающих пассажиров на остановку, эффективность функции подачи сигнала для водителя снижается.

С учетом описанной математической модели, пассажиры маршрутного такси могут быть поделены на четыре класса: пользователи (Users) U , прибывающие на остановочный пункт пользователи U^* , пассажиры, не использующие приложение (Passengers) P , и прибывающие пассажиры, не использующие приложение P^* (рисунок 8.24).

	Используют приложение	Не используют приложение
Уже находятся на остановке	U	P
Ещё не находятся на остановке	U^*	P^*

Рисунок 8.24 – Классы пассажиров маршрутного такси

В математической модели учитываются классы пассажиров: U – текущие созданные заявки, и U^* – как количество пассажиров, прибывающих на остановку за время прибытия транспорта в виде произведения $t_r * \lambda_r$. Для учета количества пассажиров в классах P и P^* может быть применен поправочный коэффициент β . Точное значение поправочного коэффициента для конкретной остановки может быть рассчитано по формуле:

$$\beta = \frac{U + U^*}{U + U^* + P + P^*} \quad (8.13)$$

База данных хранит активные заявки для каждого номера маршрутного такси. Реализована функциональность, которая позволяет изменять количество пассажиров в салоне маршрутного такси. Тогда для ведения статистики с точки зрения клиентских приложений достаточно отправлять информацию по каждому маршруту о количестве пользователей, которые создали заявку и количестве пользователей, которые были добавлены в систему из приложения водителя кнопками редактирования числа пользователей в салоне (т. е. о количестве пользователей, не использующих приложение).

На сервере должен производиться подсчет в конце маршрута, а результаты должны быть сохранены в базу данных. В целом за маршрут число перевезенных пассажиров-пользователей входит в класс U , а число пассажиров, не использующих приложение, в класс P . Тогда значение поправочного коэффициента β для всего маршрута рассчитывается по формуле :

$$\beta = \frac{U}{U + P} \quad (8.14)$$

Учитывая поправочный коэффициент, точная формула допустимой заполненности транспортного средства для любой остановки :

$$S_r + t_r * \lambda_r \leq \beta * V, \quad r = \overline{2, k} \quad (8.15)$$

Приведенная формула определяет условие необходимой загруженности маршрута с учетом числа созданных заявок, интенсивности пассажиропотока и статистическим числом пользователей, приложением для пассажира на заданном маршруте и позволяет более точно определять момент подачи сигнала водителю о необходимости выехать на маршрут в связи с достижением необходимой степени загруженности маршрута.

8.6.4 Отзывы о поездках. В ситуациях, когда пассажир может выбрать одну из нескольких маршрутных такси, когда пользователь может добраться от пункта посадки до пункта назначения несколькими способами, может быть полезна возможность просмотреть отзывы о водителях. Это может быть особенно важно пассажирам с ограниченными физическими возможностями, пассажирам, перевозящим хрупкие предметы, перевозки с домашними питомцами, и т. д.

Оставляя отзывы, пользователи будут делиться впечатлениями о поездке, указывать на проблемные моменты, которые могли быть не замечены водителями такси. При этом как руководство, так и сами водители также должны иметь возможность просматривать отзывы о поездках. С точки зрения руководства это является еще одним стимулом увеличить премии для водителей, выполняющих свою работу ответственно (и соответственно уменьшить премии для грубых и неосторожных).

Для самих же водителей отзывы могут быть как похвалой за качественное выполнение должностных обязанностей, способом пассажиров сказать «Спасибо», так и способом указать недостатки и направления профессионального развития.

8.6.5 Рекомендация смены маршрута. Рассмотрим ситуацию, когда интенсивность пассажиропотока повышается только в отдельных районах города. Это может быть связано с проведением массовых мероприятий (концертов, торжеств, салютов и др.), приуроченных к конкретным датам. Может возникнуть ситуация, когда на одном или нескольких маршрутах накопилось слишком большое число заявок, в то время как на других маршрутах заявок почти нет.

Эффективным решением будет отправить маршрутное такси с одного маршрута на другой. Алгоритм работы, оптимальный с точки зрения удобства пассажиров, следующий:

- Система выбирает самый загруженный маршрут (маршрут, сумма количества заявок на остановочных пунктах которого максимальна), и записывает его номер.

- Система выбирает наименее загруженный маршрут (маршрут, сумма количества заявок на остановочных пунктах которого минимальна) и предлагает каждому водителю маршрутного такси на этом маршруте поменять маршрут. При этом система отображает записанный номер наиболее загруженного маршрута, куда предлагает перейти водителю.

- Система уведомляет пользователей (водителей маршрутных такси) на обоих маршрутах, если один из водителей подтверждает смену маршрута (переходит со своего маршрута на предложенный). При этом, если на маршруте остается только один последний водитель (последнее маршрутное такси), система

перестает предлагать переход. Система оставляет хотя бы одно маршрутное такси на каждом маршруте.

Таким образом, идея заключается в возможности адаптации к изменяющимся условиям, влекущим за собой изменение интенсивности пассажиропотока, чтобы переводить простаивающие ресурсы на наиболее загруженные маршруты и повышать эффективность системы городских пассажирских перевозок в целом.

8.6.6 Интеграция системы оплаты проезда. Электронная оплата проезда в общественном транспорте на сегодняшний день является хоть и не новой, но достаточно актуальной темой. С течением времени появляются новые сервисы, предлагающие все более надежные и удобные способы оплаты проезда. Так, например, недавно в Бресте появилась новая система оплаты проезда в транспорте – сервис «Т-Рау», который позволяет оплатить проезд с помощью мобильного приложения или Telegram-бота [147]. Существует возможность добавить электронную оплату проезда и для маршрутного такси. Для этого необходима интеграция платежных систем в приложение.

Такая разработка является одной из наиболее сложных, поскольку для этого необходимо не только интегрировать приложение для пассажира маршрутного такси со сторонними сервисами (например, банковскими сервисами), но и вносить изменения на серверной стороне. Как пример таких изменений, требование по повышению степени безопасности системы, чтобы, в случае использования мобильного устройства другим человеком, у него не было возможности доступа к данным платежной карты.

Выводы

1. Описанная система позволяет решать поставленные задачи, способна оптимизировать и автоматизировать различные процессы взаимодействия участников движения, повысить эффективность работы транспортной системы в целом. Минимальный набор компонентов предложенной автоматизированной системы состоит из двух клиентских приложений для водителя и пассажира, серверного приложения и базы данных. Каждый из компонентов является неотъемлемой частью системы, а их взаимодействие позволяет эффективно выполнять возложенные на систему задачи и функции.

2. Для маршрутных такси не известны аналоги систем на территории стран СНГ, удовлетворяющие требованиям к системе. Существуют приложения, позволяющие автоматизировать отдельные задачи поиска и построения маршрута, отслеживания транспорта и оплаты проезда, которые не всегда стабильно функционируют. Основным же недостатком некоторых из них заключается в отсутствии связи приложений с владельцами транспортной сети.

3. Использование описанной системы позволит увеличить прибыль и улучшить качество обслуживания в области пассажирских перевозок, повысить информированность участников регулярных транспортных перевозок маршрутным такси, сократить издержки владельцев маршрутных такси.

ГЛАВА 9 ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ АНАЛОГОВ

9.1 Многоуровневая транспортная структура

Подробное и всестороннее исследование зарубежных источников на предмет поиска подобных технологий скоростных пассажирских перевозок дал совсем немного. Среди современных технологий городских пассажирских перевозок особое место заняли подходы в организации пассажирских перевозок, используемые в городе-государстве Сингапуре.

Сингапур – это островное государство в Юго-Восточной Азии с высочайшей плотностью городского населения и ограниченными территориальными ресурсами. Последние два фактора подтолкнули власти Сингапура к поиску новых подходов в городской мобильности, поэтому системы общественного транспорта, адаптируясь к условиям высокого спроса на перевозку, приобрели многоуровневую структуру, каждый уровень которой призван выполнять свою конкретную транспортную задачу и поддерживать другие уровни (рисунок 9.1).

Верхний уровень данной иерархии занимает система скоростного транспорта (пригородная железная дорога, метро, скоростной трамвай) с высокой пропускной способностью, а нижний уровень отводится системе уличного транспорта (автобус, трамвай, троллейбус), основным назначением которой является перевозка населения по мало нагруженным маршрутам и подвоз пассажиров к остановкам высокоскоростного транспорта. Промежуточный уровень занимает система полускоростного транспорта (скоростной автобусный либо легкорельсовый транспорт), назначение которого обеспечить высокую провозную способность там, где использование верхнего уровня невозможно.

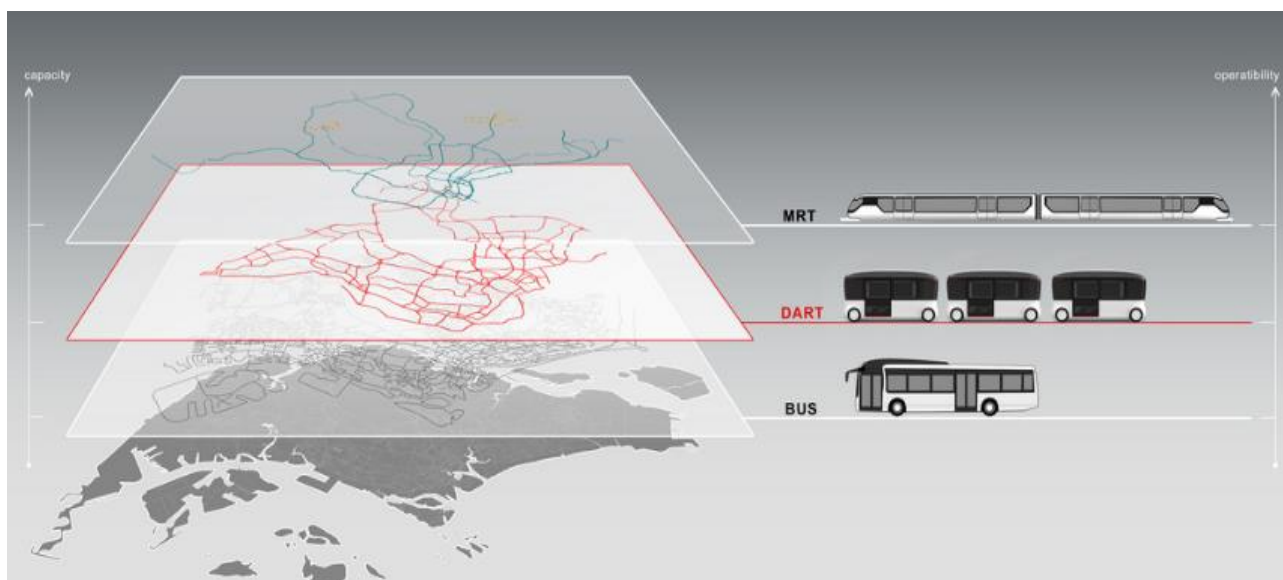


Рисунок 9.1 – Уровневая система общественных перевозок в мегаполисе

Сеть скоростного транспорта обеспечивает быструю и высокую пропускную способность, широкий спектр услуг по всей территории, но ее покрытие относительно невелико. Система уличного транспорта имеет низкую пропускную способность, но представлена широкой сетью маршрутов и предназначена для до-

ставки пассажиров к сети скоростных перевозок и обратно. Система полускоростного транспорта – это транспортно-логистическая система средней пропускной способности, призванная заполнить «пробел» между системой скоростного транспорта и системой уличного транспорта.

9.2 Транспортный проект TUMCREATE

Власти Сингапура находятся в постоянном поиске усовершенствования городских пассажирских перевозок. В качестве основного направления выбрана технология *shared mobility* (разделенная мобильность), характерной чертой которой является совместное использование одного транспортного средства группой людей. В процессе поездки ее стоимость разделяется между пассажирами пропорционально использованию ими транспортного средства. Таким образом, создается гибрид между частным и общественным транспортом.

Для реализации этих идей в Сингапуре был выбран международный транспортный проект TUMCREATE. С этой целью команда TUMCREATE представила концепцию системы динамического автономного дорожного движения (DART – Dynamic Autonomous Road Transit), базирующуюся на холистическом (целостном) подходе к планированию общественных перевозок, суть которого состоит в том, чтобы системы различных видов транспорта не конкурировали между собой за пассажира, а функционировали согласованно, поддерживая друг друга.

9.2.1 Динамическое автономное дорожное движение. Транспортная система DART, предложенная международным проектом TUMCREATE, базируется на концепции динамического автономного дорожного движения (DYNAMIC AUTONOMOUS ROAD TRANSIT) и включает в себя компоненты, представленные на рисунке 9.2:

- парк автономных транспортных средств, называемых DART Modules;
- систему интеллектуальных остановок и специальной дорожной инфраструктуры DART Infrastructure;
- единый информационный центр управления движением DART Central;
- систему управления совместным движением транспортных средств и цифровым обменом DART Connect;
- центры электрической зарядки модулей DART.

Все компоненты системы взаимодействуют между собой, образуя целостный транспортный контур, назначение которого – занять промежуточный уровень между уровнями высоко- и низкоскоростного транспорта в Сингапуре.

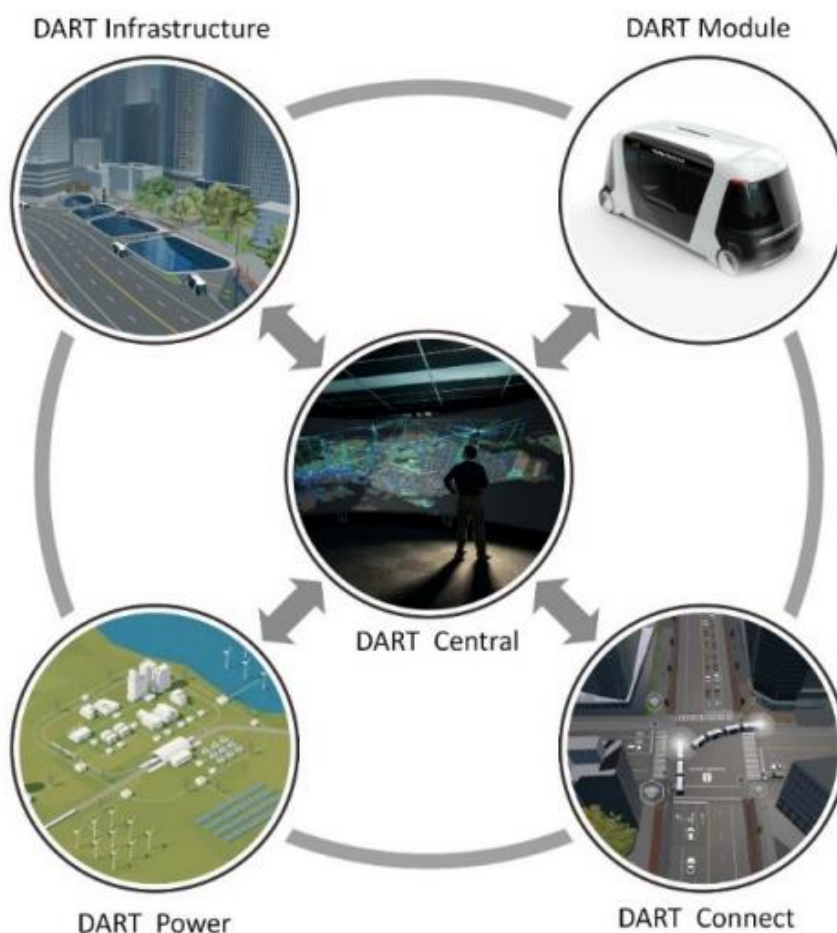


Рисунок 9.2 – Компоненты системы DART

9.2.2 DART MODULES. Транспортные средства, используемые в транспортной системе DART, предложенной международным проектом TUMCREATE, называются DART MODULES. Каждый передвижной модуль DART (DART MODULE) – это беспилотное транспортное средство, рассчитанное на 30 человек, которое имеет габариты 6 м x 3,1 м x 2,7 м, что соответствует половине обычного автобуса (рисунок 9.3). Это указывает на то, что один модуль DART не может обслужить целевой спрос выше, чем обычный автобус.

Но данное обстоятельство компенсируется способностью каждого транспортного средства DART двигаться как самостоятельно, так и совместно с другими модулями, образуя единое транспортное средство, называемое взводом (рисунок 9.4). Транспортные средства держат минимальную, но при этом безопасную дистанцию, синхронно притормаживая и набирая скорость. Связь между транспортными средствами осуществляется по беспроводному протоколу. Такое передвижение в международной практике получило название *платуниг* (platooning).

Внутренний дизайн модуля DART может быть выполнен в нескольких вариантах, которые разрабатывались с учетом требований максимального комфорта для всех категорий пассажиров: достаточное место для сидения, места для инва-

лидных колясок с блокирующими механизмами, места для детей, низкий пол салона, широкие входные двери. Сигналы от ведущего транспортного средства (ускорение, повороты, торможение) напрямую передаются остальным участникам колонны.



Рисунок 9.3 – Автономный передвижной модуль системы DART



Рисунок 9.4 – Взвод DART

Связь между модулями во взводе контролируется системой DART Connect. При необходимости модуль может отсоединиться от взвода и перестраиваться для самостоятельного движения, присоединяясь в последствии к другим взводам.

9.2.3 DART platooning. Термин «платуниг» (англ. platooning) – это синхронное движение транспортных средств на автопилоте колонной, управляемое из единого центра (чаще всего это ведущее транспортное средство автоколонны). Модули DART способны как к автономному движению, так и к движению в колонне.

На рисунке 9.5 представлен данный процесс. В части, названной на рисунке «Platoons from branches» (часть I), проиллюстрировано, как автономные модули с главной дороги и примыкающего ответвления съезжаются для того, чтобы образовать взвод, движение которого далее представлено в части рисунка, называемой «Merged platoon on trunk» (часть II). На этом участке дороги, пассажиры при необходимости могут перейти в нужный им модуль взвода и продолжить движение в соответствующем направлении после рассоединения транспортных средств, которое проиллюстрировано в части III рисунка, названной «Split to branches». Можно говорить о том, что в рассмотренной ситуации взвод DART выступает как подвижный пересадочный пункт.

По словам создателей транспортной системы DART предлагаемый способ перевозки выступает как один из самых гибких методов оптимального использования перевозочных мощностей и дорожного пространства. При этом синхронизированные расписания прибытия и отправления и взводов DART на остановочных пунктах сводят к минимуму потребное их количество, а также сокращают время ожидания пересадки пассажиров.

Таким образом, создавая взводы нужной вместимости, транспортная система DART может удовлетворить целевой спрос как на высокоинтенсивные перевозки, так и на обслуживание меньшего спроса.

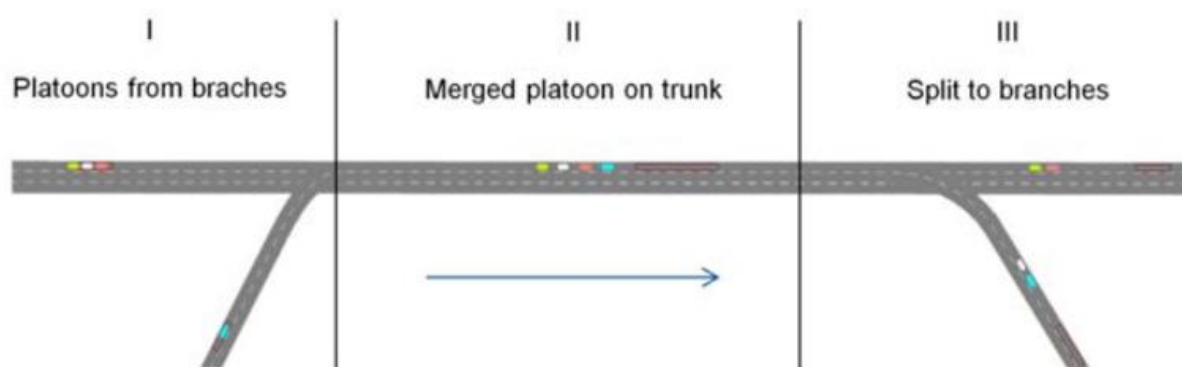


Рисунок 9.5 – Платуниг в транспортной системе DART

Если 10 модулей DART объединены в один взвод DART, то предлагаемая вместимость составляет 300 человек, что дает пропускную способность выше, чем у обычной автобусной системы. В то же время отдельный модуль DART может использоваться для обслуживания перевозок с невысокой пропускной спо-

способностью. Исходя из этого TUMCREATE определяет два варианта использования модулей DART: «Емкость меньше автобуса» и «Емкость больше автобуса»

9.2.4 Инфраструктура DART (DART infrastructure). Транспортная система DART способна осуществлять перевозки большой, средней и малой пассажироместности за счет использования совместного движения транспортных средств, называемого платунингом (platooning – движение машин на автопилоте колонной), в результате чего образуется составное транспортное средство нужной вместимости.

Таким образом, создается пропускная способность для крупных транспортных коридоров до 6000 человек в час и для средних до 1200 человек в час. Перевозка может ускоряться за счет использования обособленных путей и приоритизации движения на светофорах и перекрестках, а также за счет модернизированных остановок для размещения длинных транспортных колонн и сокращения времени ожидания на остановках.

Для этого транспортная система DART подразумевает использование специальных остановок, оснащенных информационной инфраструктурой и выделенные линии со специальным покрытием для движения DART-модулей. При этом остановки должны быть оснащены системой информирования пассажиров и адаптированы как для взводов DART, так и для отдельных автономных модулей. Также остановки должны подходить для обслуживания стандартных автобусов.

Для варианта использования «Емкость больше автобуса» существующие остановки должны быть перепроектированы так, чтобы обслуживать взвод DART длиной около 60 метров (рисунок 9.6).

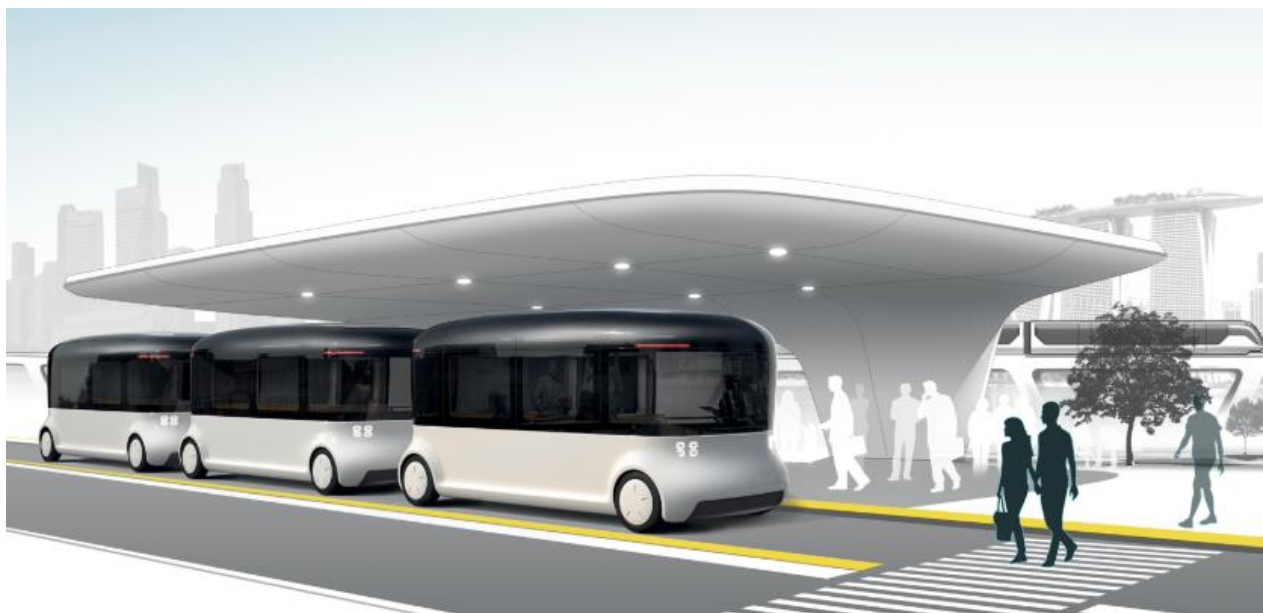


Рисунок 9.6 – Остановка для взвода DART

Для варианта использования «Емкость меньше автобуса» можно использовать существующую инфраструктуру без капитального ремонта (рисунок 9.7).



Рисунок 9.7 – DART модуль подъезжает к «обычной» остановке

Транспортные модули DART осуществляют зарядку от системы обеспечения бесперебойной зарядки DART Power.

9.2.5 Выделенная полоса движения. Традиционно выделенные полосы движения являются эффективным средством повышения скорости и надежности движения, но при этом оказывают пагубное воздействие на пропускную способность дорог и заторы на дорогах. Для устранения этого ограничения транспортная система DART предусматривает использование режима «виртуальной полосы отвода» (V-RoW), который активируется только при обнаружении приближающегося автономного транспортного средства DART (рисунок 9.8).

Пока виртуальная выделенная полоса V-RoW не активна, проезжая часть функционирует в «классическом режиме», при котором все транспортные средства, передвигающиеся по ней, имеют равный приоритет. Как только виртуальная выделенная полоса V-RoW переходит в активный режим, транспортные средства без приоритета движения по полосе должны немедленно покинуть полосу, чтобы освободить место для транспортного средства DART.

9.2.6 Информационный центр DART central. DART Central – это единая информационная инфраструктура, обеспечивающая такие ключевые функции, как стратегическое планирование и эксплуатация, расширенное управление городским движением, управление инцидентами в режиме реального времени, динамическое принятие решений. DART Central также отвечает за хранение и анализ в реальном времени нескольких типов данных: данные о спросе на перевозку, распределение маршрутов обслуживания, статус зарядки и технического обслуживания транспортных средств, остановки и терминалы и т. д.

9.2.7. Система цифрового обмена DART connect. DART Connect – это система цифрового обмена между транспортными модулями и инфраструктурой транспортной системы. Она помогает расставить приоритеты для движения транспортных средств DART, а также управляет качеством других транспортных

потоков. Управление инцидентами в режиме реального времени обеспечивает надежную работу пассажиров в случае аварийных ситуаций, особых событий (динамическое изменение маршрута пассажира в случае непредвиденного события на маршруте). Механизм непрерывной обратной связи анализирует выполненные операции и сообщения пользователей, чтобы выявить проблемы и предложить необходимые меры.



Рисунок 9.8 – Виртуальная полоса V-RoW в активном состоянии

9.2.8 Проектирование дорожной сети DART. Для внедрения транспортной системы DART необходима специальная дорожная инфраструктура, включающая в себя магистрали с подходящим уровнем трафика и спроса на перевозку с отсутствием конкурирующих перевозчиков. Поэтому при проектировании транспортной системы используется особая технология планирования коридоров движения для модулей DART, основные этапы которой представлены на рисунке 9.9 и включают в себя:

- пространственно-временной анализ потребности в услугах на перевозку;
- идентификацию и выбор транспортных коридоров;
- изучение выбранных зон;
- стратегический сетевой дизайн;
- тактический сетевой дизайн;
- операционный сетевой дизайн;
- вычисления.

9.2.9 Пространственно-временной анализ. Пространственно-временной анализ – это первый этап в разработке дорожной сети для транспортной системы DART, предназначенный для выделения частей мегаполиса, наиболее подходящих для размещения транспортной системы. Для проведения пространственно-временного анализа в первую очередь рассматривался такой фактор, как потребность в перевозке.



Рисунок 9.9 – Этапы проектирования дорожной сети DART

Наиболее важным критерием при решении данной задачи является текущий пассажирский спрос, для определения которого в Сингапуре использовалась база данных бесконтактных смарт-карт EZ-Link для оплаты проезда в общественном транспорте (рисунок 9.10). На карту EZ-Link вносится определенная сумма, которая автоматически списывается частями при выходе пассажира из транспортного средства с учетом объема использованных транспортных услуг. При этом с помощью карт EZ-Link в базу данных записываются сведения о посадке и высадке пассажиров. Среднее количество записей данных составляет около пяти миллионов в день.

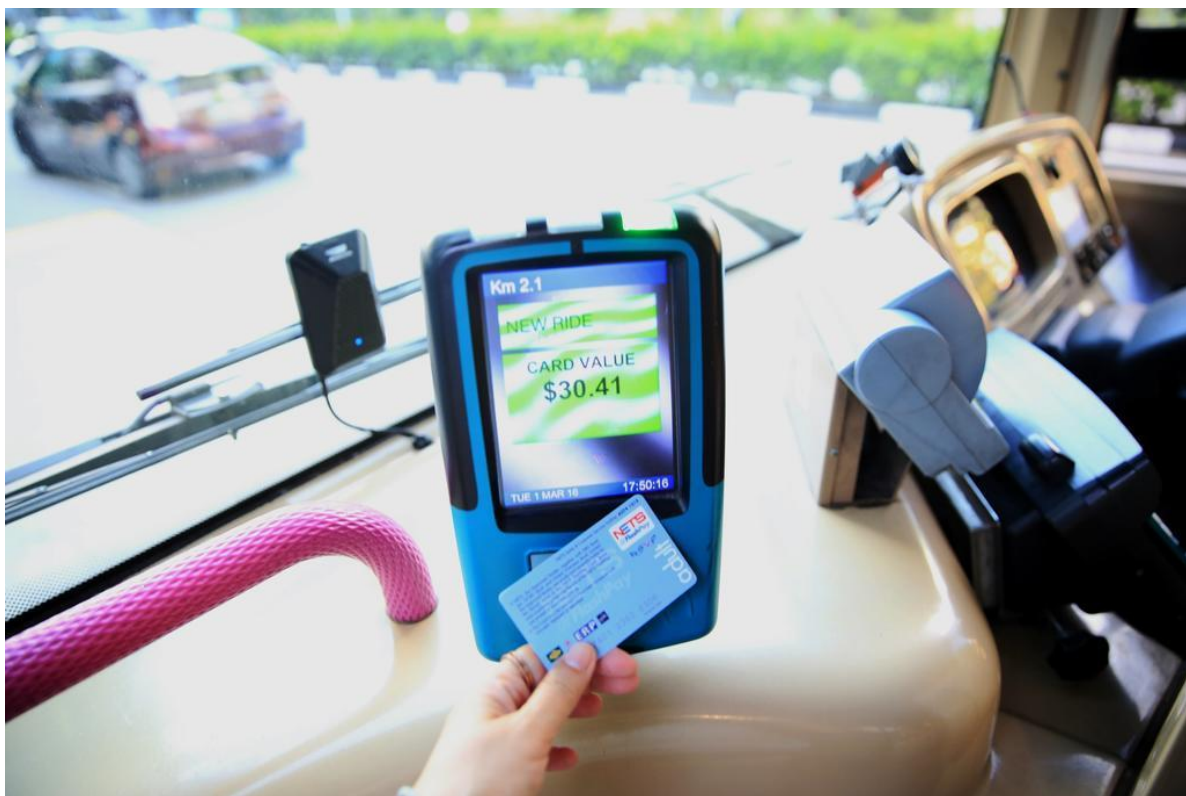


Рисунок 9.10 – Карта EZ-Link и терминал

База данных смарт-карт дала возможность получить детальную информацию о распределении спроса с точностью до нескольких минут, благодаря чему были выделены участки магистралей, пользующиеся повышенным спросом в определенное время суток. Для этого аналитиками TUMCREATE использовались данные за три месяца, с 1 августа по 31 октября 2013 г.

Полученные выборки были использованы в реконструкции с применением программного продукта PTV Visum. PTV Visum представляет собой средство для прогнозирования интенсивности пассажирских и транспортных потоков, расчета спроса на транспорт, анализа транспортной сети и оценки вариантов развития транспортной инфраструктуры, для построения сложной структуры сети общественного транспорта, расписаний движения и провозной способности транспортных средств. При этом используются реальные данные.

В результате построения имитационной модели были получены результаты распределения спроса на перевозку, которые показали существование его двух уровней: спрос на метро и спрос на автобусную перевозку (рисунок 9.11), что полностью соответствовало действительности, т. к. общественная транспортная система Сингапура рассматривает автобус как транспорт, дополняющий метро. Также исследование показало, что спрос на проезд по скоростной магистрали выше, чем по обычной дороге.



Рисунок 9.11 – Пространственный анализ спроса на перевозку

На рисунке 9.11 коричневым цветом отображаются коридоры с высоким спросом на перевозку, а зеленым – со средним и низким.

Помимо пространственного анализа проводится и временной анализ, который показывает спрос на перевозку в зависимости от времени суток (рисунок 9.12).

Полученные данные позволили выделить участки дорог, пользующихся повышенным спросом в определенное время суток.

9.2.10 Идентификация и выбор транспортных коридоров. Транспортный коридор по определению TUMCREATE – это участок дороги или смежных дорог, обслуживаемых автобусным маршрутом либо несколькими автобусными маршрутами с минимальной длиной 3 км, который имеет выделенные полосы для движения автобусов.

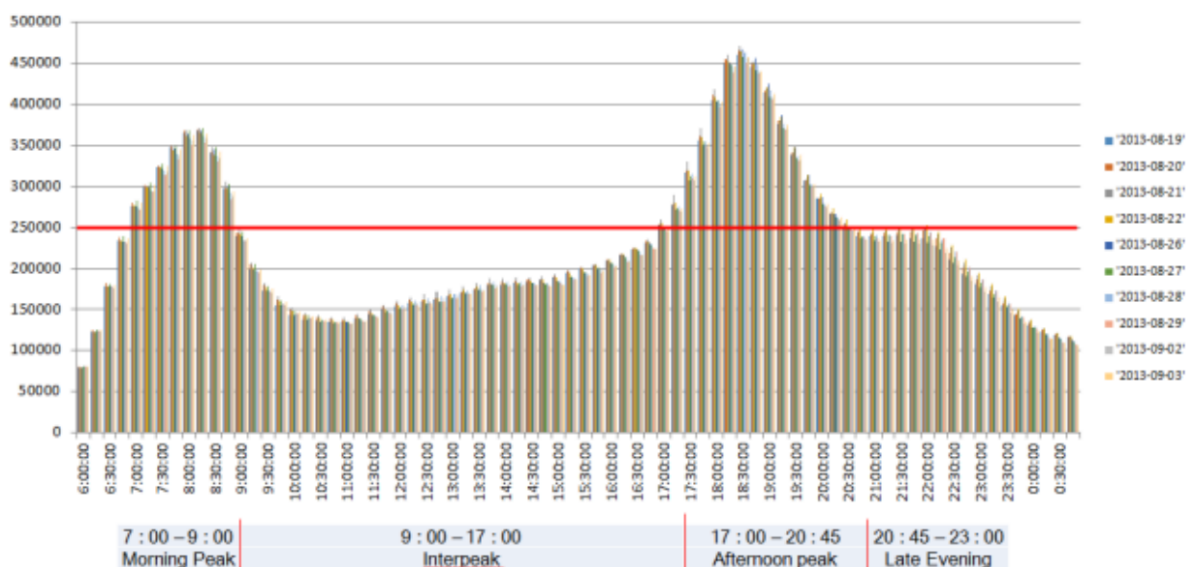


Рисунок 9.12 – Распределение десятидневного спроса на перевозку

Процесс идентификации и выбора транспортных коридоров позволяет выбрать на основе карты распределения трафика транспортные коридоры, наиболее подходящие для внедрения полускоростного автономного транспорта TUMCREATE. Данная процедура выполняется в два этапа:

- сокращение объемов анализа до подмножества сети, которая удовлетворяет критериям спроса;
- оценка коридоров выделенного подмножества сети на основе общего балла по таким критериям, как потенциал для обслуживания и концентрация поездок, присутствующие виды транспорта, соотношение скоростей, общее время поездки и т. д.

На рисунке 9.13 представлены результаты проведения этапа идентификации и выбора транспортных коридоров по данным предыдущего этапа, в результате которого был проведен пространственный анализ.

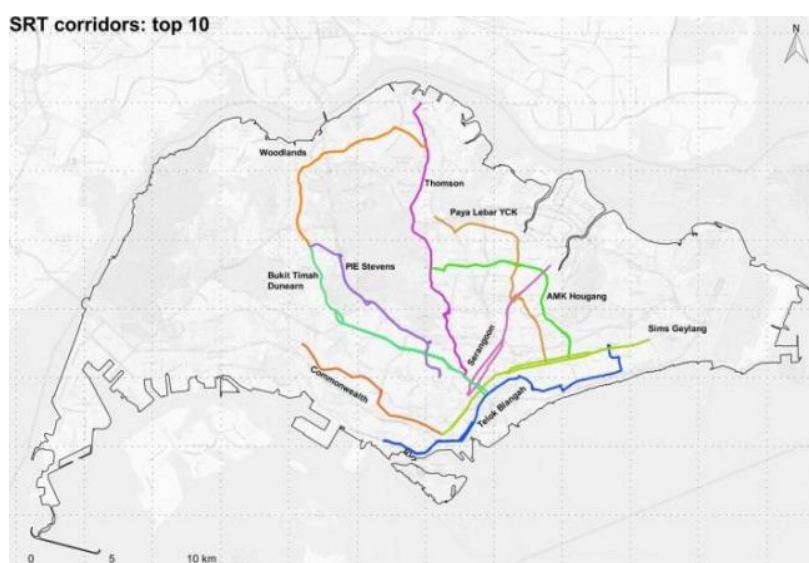


Рисунок 9.13 – Сеть транспортных коридоров на основе совокупного балла

В результате анализа полученных совокупных баллов выявляются заключительные варианты сети коридоров, среди которых выбирается наиболее оптимальный.

9.2.11 Стратегический дизайн сети. Стратегический дизайн сети – это определение маршрутов DART по выбранным на предыдущем этапе транспортным коридорам на основе различных макропараметров: интересы пассажиров и перевозчика, спрос на перевозку, возможное расстояние между транспортными средствами во время движения, дорожная инфраструктура и т. д.

Окончательная сеть движения модулей DART зависит от перечисленных параметров и выбранных целевых функций:

$$\begin{cases} Z_1 = a_1 * OWT + a_2 * InVehT + a_3 * TWT + t_p * Trans \rightarrow \min \\ Z_2 = [(V_h * c_1) + (V_{km} * c_2) + (R_{km} * c_3)] * (1 + O_c) \rightarrow \min \end{cases}$$

где OWT – время ожидания отправления; $InVehT$ – время поездки в автомобиле; TWT – время ожидания пересадки; t_p – время, уходящее на пересадку; $Trans$ – число пересадок; a_1, a_2, a_3 – весовые коэффициенты функции;

O_c – накладные расходы; R_{km} – протяженность маршрута в километрах; V_h – машиночасы; V_{km} – машинокилометры; c_1, c_2, c_3 – весовые коэффициенты функции.

В ходе стратегического дизайна разрабатывались три стратегические конфигурации сети: первая – с минимальным перекрытием маршрутов; вторая – с частичным перекрытием маршрутов; третья – с максимальным перекрытием маршрутов. Эти разные конфигурации сети демонстрируют различные аспекты: наименьшее время в пути, более дешевую эксплуатацию.

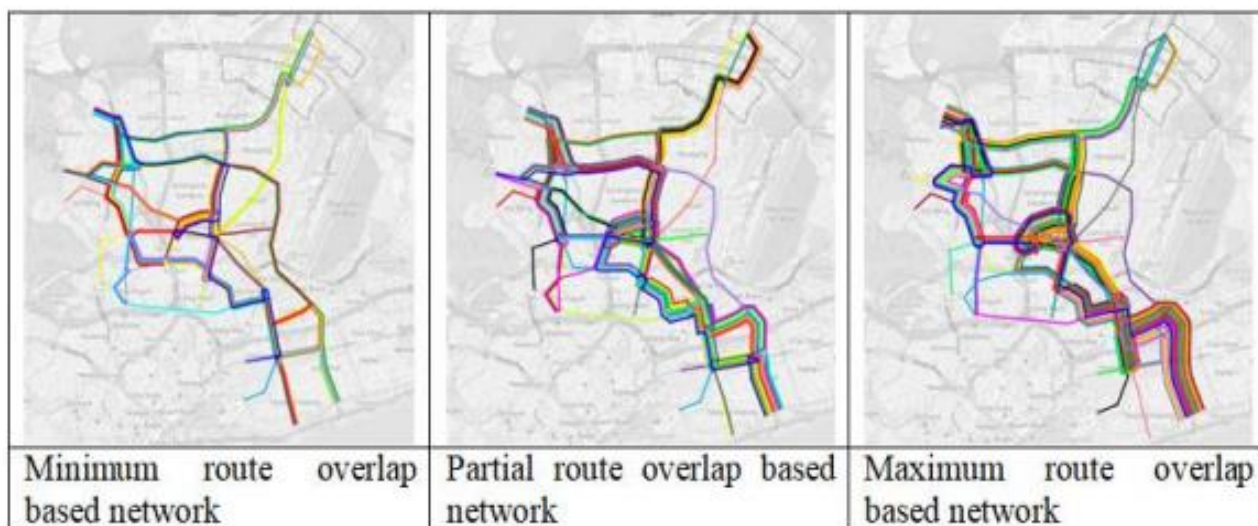


Рисунок 9.14 – Стратегические концепции сети

9.2.12 Tактический и операционный дизайн. Tактический дизайн – это определение на выбранных коридорах оптимальных маршрутов в соответствии с потребностями населения и условиями землепользования, оптимального рас-

положения пассажирских остановок и т. д. Операционный дизайн системы включает выработку алгоритмов построения взводов, платунинга и виртуальной полосы отвода.

9.3 Сравнительная характеристика двух технологий скоростных городских перевозок

Обе технологии преследуют одну цель – создание нового типа скоростных транспортных систем с высокими потребительскими качествами. Задачи также близки, но уже несколько отличаются. Кассетно-конвейерная технология оптимизирует процесс перевозки на отдельном маршруте, в то время, как Система DART оптимизирует перевозку одновременно на множестве маршрутов городской транспортной сети.

Структурно обе системы имеют схожие элементы. Так, основная транспортная единица (ТЕ) в системе DART – модуль DART, в кассетно-конвейерной системе это инфобус. Совокупность ТЕ в системе DART – это взвод, что соответствует кассете в кассетно-конвейерной системе и т. д. (см. таблицу 9.1).

Обеим системам все известно о пассажирах в онлайн-режиме: когда пассажир прибыл на остановку. Отсюда известен пассажиропоток по каждой остановке маршрута, что делает обе системы адаптивными к текущему пассажиропотоку и обеспечивает высокую степень соответствия его к объему поданных транспортных средств. Последнее делает перевозки высокоэкономичными (ТС полупустым не ездит).

Система DART получает сведения о конечной остановке пассажира только в момент, когда тот покидает ТС. Отсюда возможно в пути движения модуля DART его переполнение. В то время, как система кассетно-конвейерной технологии исключает такую возможность, так как о конечной остановке движения системе становится известно сразу, как только пассажир поступил на остановочный пункт.

По этой же причине в Системе DART невозможно организовать безостановочное движение пассажира из пункта А в пункт В. Отсюда и скорость сообщения невысокая в сравнении с системой кассетно-конвейерной технологии (таблица 9.1).

Таблица 9.1 – Сравнительная таблица двух технологий скоростных перевозок

	Показатели	Система на базе кассетно-конвейерной технологии	Система DART
1	2	3	4
1	Цель	Создание нового типа скоростных транспортных систем с высокими потребительскими качествами	Создание нового типа скоростных транспортных систем с высокими потребительскими качествами
2	Задача	Оптимизация перевозок на городском маршруте	Оптимизация перевозок на сети маршрутов

	Показатели	Система на базе кассетно-конвейерной технологии	Система DART
1	2	3	4
3	Транспортная единица (ТЕ)	Инфобус	Модуль DART (DART MODULE)
4	Совокупность ТЕ	Кассета	Взвод
5	Область движения	Выделенная полоса	Выделенная полоса
6	Остановка	Закрытая с входным турникетом и терминалом	Закрытая с входным турникетом и терминалом
7	Управление	Сервер системы	DART Central
8	Способ движения в колонне	Автокараванинг	«платунинг» (англ. platooning)
9	Адаптивность к пассажиропотоку	Высокая	Высокая
10	Режим движения	Из А в В без остановок	Из А в В с остановками
11	Скорость сообщения	90 км/час	35 км/час
12	Прибытие транспорта	По запросу пассажира	По запросу пассажира
13	Пропускная (провозная) способность	35 000 пасс./час	6000 пасс/час

Выводы

1. С начала прошлого столетия, с появлением новых городских транспортных средств, таких как автобус, трамвай, троллейбус и метро, встал вопрос эффективного их использования. За прошедшие 120 лет были исчерпаны все возможные мероприятия по повышению эффективности управления этими ТС. С развитием информационно-коммуникационных технологий стало возможным создание новых типов транспортных систем с характеристиками, недостижимыми в парадигме старых транспортных систем. Одной из таких, уже внедренных систем, безусловно является Система DART.

2. По многим характеристикам Система DART существенно уступает системам, выполненным на базе кассетно-конвейерной технологии. Прежде всего по скорости сообщения она в 2,5 раза уступает системам кассетно-конвейерной технологии. Также, из-за старт-стопного режима движения (п. 10 таблицы 9.1) энергозатраты и амортизационные расходы значительно выше.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Остается открытым вопрос: Когда и в какой стране такой транспорт появится впервые на дорогах городов?

Первоначально беспилотный общественный транспорт будет рельсовым (трамвай, метро). Последнее связано с простотой управления. К примеру, в СССР автопилот на железной дороге был успешно испытан в 1953 году. Во многих городах Европы (Лондон, Париж) поезда метро следуют без водителя.

Задача создания автоматического общественного транспорта намного проще, нежели личного транспорта, так как последний функционирует в сложной динамической среде с неограниченным числом различных вариантов и случаев. В то время как трасса автоматического общественного транспорта закрыта от внешних воздействий и обустроена системой из многочисленных датчиков.

Любая значимая идея, претендующая на кардинальное изменение определенной стороны в жизни общества, может быть измерена временной шкалой и мерой технологической готовности общества. Некоторые идеи намного опережали свое время и для их актуализации у общества не было достаточной технологической базы. С кассетно-конвейерной технологией все наоборот. Ее можно было осуществить давно, так как для ее реализации уже 30 лет назад общество имело развитые информационно-коммуникационные технологии – основу кассетно-конвейерных транспортных систем.

Представленная версия Генплана транспортного развития Минска уделяет строительству новых трамвайных линий серьезное внимание. Предусмотрены несколько соединений между центром и окраинами — в частности, прямая линия на Серебрянку, а также в район Сухарево. Минск может стать первым городом, в котором будет реализована суперскоростная транспортная система. Этому будет способствовать данная книга, в которой изложены основы кассетно-конвейерной технологии скоростных городских перевозок.

В Минске строится третья линия метро. Стоимость строительства одного километра составляет 100 млн у.е. Расточительно! Весь пассажиропоток третьей линии вполне покрывает суперскоростная кассетно-конвейерная трамвайная система, которая на порядок дешевле, надежнее, безопаснее, энергоэкономичнее. Также она более удобна для пассажиров, так как имеет в три раза более высокую скорость сообщения.

Авторы этой книги не ограничиваются только задачей донесения до широкой транспортной общественности новой технологии городских скоростных перевозок XXI века, которая идет на смену старой, классической технологии. Они активно ищут пути для ее реализации в одном из городов Республики Беларусь, Российской Федерации. Для этого они активно и плодотворно сотрудничают со специалистами открытого акционерного общества «Управляющая компания холдинга «Белкоммунмаш» — белорусским производителем общественного электротранспорта.

Авторы не случайно вынесли в предисловие эпитет из библии... *Вначале было слово...* Этим они хотели объявить, что пора переходить и к делу. То есть,

эта книга в некотором смысле является манифестом, предлагающим новое высокоэффективное направление в развитии общественного транспорта, мимо которого технологическое общество прошло.

С ростом численности населения в городах нарастают и транспортные проблемы. Это касается не только Республики Беларусь, но и Российской Федерации. На этом поле возможно объединить усилия, тем более, что в последнее время Республика Беларусь взяла курс на реализацию стратегических проектов, которые могут быть выполнены в рамках проектов Союзного государства.

Таким проектом может стать не только суперскоростная трамвайная система, но и новое метро щелевого типа «Кротовые норы». Многие российские города-миллионники, такие, как Ростов-на-Дону, Краснодар, Красноярск, Омск и другие, мечтают о метро, но из-за высокой стоимости строительства не имеют такой возможности. Данная технология позволяет им это сделать. Метро, которое на порядок дешевле, могут позволить себе не только города-миллионники, но и просто крупные города с населением свыше 500 тысяч жителей.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Перегудов, Ф. И. Основы системного анализа: учебник / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – 3-е изд. – Томск: Изд-во НТЛ, 2001. – 396 с.
2. Система // Большой Российский энциклопедический словарь. – М. : Большая Рос. энциклопедия, 2003. – С. 1437.
3. Батоврин, В. К. Толковый словарь по системной и программной инженерии / В. К. Батоврин. – М. : ДМК Пресс, 2012. – 280 с.
4. Волкова, В. Н. Теория систем и системный анализ : учебник для академического бакалавриата / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – 2-е изд. – М. : Юрайт, 2014. – 616 с.
5. Корилов, А. М. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие / А. М. Корилов, С. Н. Павлов. – 2-е изд. – Томск : Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2008. – 264 с.
6. Уёмов, А. И. Системный подход и общая теория систем / А. И. Уёмов. – М. : Мысль, 1978. – 272 с.
7. Мельникова, Л. И. Системный анализ при создании и освоении объектов техники / Л. И. Мельникова, В. В. Шведова. – М. : ВНИИПИ, 1991. – 84 с.
8. Алгоритмы: построение и анализ / Томас Х. Кормен [и др.]. – 3-е изд. – М. : Вильямс, 2013. – 1328 с.
9. Кнут, Дональд. Искусство программирования / Дональд Кнут. – 3-е изд. – М. : Вильямс, 2006. – Т. 1 : Основные алгоритмы. – 720 с.
10. Кормен, Томас Х. Алгоритмы: вводный курс / Томас Х. Кормен. – М. : Вильямс, 2014. – 208 с.
11. Игошин, В. И. Математическая логика и теория алгоритмов / В. И. Игошин. – 2-е изд., стер. – М. : ИЦ «Академия», 2008. – 448 с.
12. Крайзмер, Л. П. Кибернетика / Л. П. Крайзмер. – М. : Экономика, 1977. – 279 с.
13. Максвелл, Д. К. Теория автоматического управления / Д. К. Максвелл, И. А. Вышнеградский, А. Стодола; под ред. А. А. Андропова, И. Н. Вознесенского. – М. : Изд-во АН СССР, 1949. – 431 с.
14. Цыпкин, Я. З. Основы теории автоматических систем / Я. З. Цыпкин. – М. : Наука, 1977. – 559 с.
15. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – Изд. 3-е, испр. – М. : Наука, 1975. – 768 с.
16. Александров, В. В. Лекции по механике управляемых систем / В. В. Александров, С. С. Лемак, Н. А. Парусников. – М. : МАКС Пресс, 2012. – 237 с.
17. Ройтенберг, Я. Н. Автоматическое управление / Я. Н. Ройтенберг. – М. : Наука, 1977. – 551 с.
18. Виноградова, С. Н. Транспортное обслуживание: учебное пособие для студ. вузов / С. Н. Виноградова, Н. Г. Петухова. – Минск : Вышэйш. школа, 2008. – 221 с.
19. Загорский, И. О. Эффективность организации регулярных перевозок пассажирским автомобильным транспортом / И. О. Загорский, П. П. Володькин. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2012. – 154 с.
20. Криницкий, Е. К. Городской транспорт – проблема общая / Е. К. Криницкий // Автомобильный транспорт. – 2008. – № 1. – С. 25–30.
21. Бронштейн, Л. А. Экономика автомобильного транспорта / Л. А. Бронштейн, А. С. Шульман. – М. : Транспорт, 1976. – 350 с.

22. Бобров, Н. А. Повышение эффективности городских пассажирских перевозок / Н. А. Бобров // Информационные технологии, энергетика и экономика (экономика и менеджмент, научные исследования в области физической культуры, спорта, общественных наук и лингвистики) : сборник трудов XVII междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Смоленск, 16–17 апр. 2020 г. : в 3 т. / ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», филиал в г. Смоленске – Смоленск : Универсум, 2020. – Т. 3 : Секции 6, 7 (экономика и менеджмент, научные исследования в области физической культуры, спорта, общественных наук и лингвистики). – С. 6–8.
23. Аземша, С. А. Повышение эффективности перевозок пассажиров автобусами различной вместимости (на примере г. Мозыря) / С. А. Аземша, С. В. Скирковский // Коммунальное хозяйство городов. – 2010. – № 95. – С. 204–212.
24. Пассажирские автомобильные перевозки / Л. Л. Афанасьев [и др.]. – М. : Транспорт, 1988. – 220 с.
25. Варелопуло, Г. А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте / Г. А. Варелопуло. – М. : Транспорт, 1990. – 208 с.
26. Ефремов, И. С. Теория городских пассажирских перевозок : учеб. пособие для вузов / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин. – М. : Высшая школа, 1980. – 535 с.
27. Зильберталь, А. Х. Проблемы городского пассажирского транспорта / А. Х. Зильберталь. – М. : Гострансиздат, 1937. – 272 с.
28. Скирковский, С. В. Организация перевозок пассажиров с обоснованием параметров городского маршрутизированного транспорта : автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.22.10 / С. В. Скирковский ; Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2018. – 27 с.
29. Володин, Е. П. Организация и планирование перевозок пассажиров автомобильным транспортом : учебник / Е. П. Володин, Н. И. Громов. – М. : Транспорт, 1982. – 224 с.
30. Основы теории транспортных процессов и систем : учеб. пособие / А. А. Михальченко [и др.] ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 379 с.
31. Власов, В. М. Информационные технологии на автомобильном транспорте / В. М. Власов, Д. Б. Ефименко, В. Н. Богумил. – М. : Академия, 2014. – 256 с.
32. Горев, А. Э. Информационные технологии на транспорте : учебник для вузов / А. Э. Горев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2023. – 314 с.
33. Автоматизированные системы управления на автомобильном транспорте : учебник для образоват. учреждений сред. проф. образования / под ред. А. Б. Николаева. – М. : Академия, 2011. – 288 с.
34. Автоматизированные системы обработки информации и управления на автомобильном транспорте : учебник для сред. проф. образования / А. Б. Николаев [и др.] ; под ред. А. Б. Николаева. – М. : Академия, 2006. – 224 с.
35. Первухин, Д. А. Информационные сети и телекоммуникации / Д. А. Первухин, О. В. Афанасьева, Ю. В. Ильющин. – СПб. : СатисЪ, 2015. – 267 с.
36. Скворцов, А. В. Геоинформатика в дорожной отрасли (на примере IndorGIS) / А. В. Скворцов, П. И. Поспелов, С. П. Крысин. – М. : МАДИ, 2005. – 348 с.
37. Линдваль, В. Р. Геоинформационные системы и технологии в телекоммуникациях / В. Р. Линдваль, Е. А. Спирина, Г. И. Щербаков. – Казань : Изд-во Казанского ГТУ, 2009. – 147 с.

38. Бескид, П. П. Геоинформационные системы и технологии / П. П. Бескид, Н. И. Куракина, Н. В. Орлова. – СПб. : Изд-во Российского государственного гидрометеорологического университета, 2013. – 173 с.

39. Власов, В. М. Транспортная телематика в дорожной отрасли : учебное пособие / В. М. Власов, Д. Б. Ефименко, В. Н. Богумил ; под ред. В. М. Власова. – М. : МАДИ, 2013. – 100 с.

40. Наяшков, С. Н. Внедрение цифровых технологий в логистический бизнес / С. Н. Наяшков, О. Н. Ларин // Интеллектуальные транспортные системы : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 25 мая 2023 г. – М. : Российский университет транспорта, 2023. – С. 288–291. – DOI: 10.30932/9785002182794-2023-288-291.

41. Михеев, В. С. Цифровая трансформация в сфере транспорта и логистики / В. С. Михеев, О. Н. Ларин // Технические науки: проблемы и решения : сборник статей по материалам LXVIII Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 20 янв. 2023 г. – М. : Интернаука, 2023. – Т. 1 (63). – С. 91–97.

42. Ларин, О. Н. Совершенствование инфраструктуры транспортно-логистического объекта / О. Н. Ларин, Д. Э. Тарасов // Транспорт России: проблемы и перспективы–2016 : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 29–30 нояб. 2016 г. – СПб. : Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН, 2016. – Т. 1. – С. 89–94.

43. Железнодорожный транспорт на пути к интеллектуальному управлению / С. Е. Ададунов [и др.]. – Ростов н/Д, 2010. – 322 с.

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

45. Соловьев, И. В. Информационное пространство как инструмент управления в транспортной сфере / И. В. Соловьев, В. Я. Цветков // Государственный советник. – 2014. – № 2 (6). – С. 58–63.

46. Ваксман, С. А. Информационные технологии в управлении городским общественным пассажирским транспортом (задачи, опыт, проблемы) / С. А. Ваксман, Н. И. Герасимов, И. А. Слепухина ; под ред. С. А. Ваксмана. – Екатеринбург : АМБ, 2012. – 260 с.

47. Основы автоматизации интеллектуальных транспортных систем : учебник / Д. В. Капский [и др.]. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 412 с.

48. Скиркоцкий, С. В. Теоретические и практические подходы к созданию и развитию интеллектуальной транспортной системы города / С. В. Скиркоцкий, Д. В. Капский, Д. В. Навой ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь ; Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель : БелГУТ, 2022. – 171 с.

49. Капский, Д. В. Повышение эффективности применения информации при организации перевозок пассажиров в городах / Д. В. Капский, С. С. Семченков, О. Н. Ларин // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 323–330. – DOI: 10.21122/2227-1031-2022-21-4-323-330.

50. Ларин, О. Н. О перспективах развития транспортных систем крупных городов / О. Н. Ларин, Д. Э. Тарасов // Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Брест, 25–28 мая 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: В. А. Головки [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2016. – С. 154–157.

51. Общественный транспорт Беларуси: состояние и пути развития / Д. М. Бабицкий [и др.] ; Фонд им. Фридриха Эберта. – Минск : И. П. Логвинов, 2010. – 82 с.
52. Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь, 14 авг. 2007 г., № 278-3 // Pravo.by. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H10700278>. – Дата доступа: 20.10.2023.
53. Скирковский, С. В. Городской наземный маршрутизированный транспорт: решения по организации перевозок : [монография] / С. В. Скирковский, В. Н. Седюкевич. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 242 с.
54. Ларин, О. Н. Организация пассажирских перевозок : учеб. пособие / О. Н. Ларин ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию, Южно-Урал. гос. ун-т, Каф. экономики и упр. на транспорте. – Челябинск : ЮУрГУ, 2005. – 103 с.
55. Скирковский, С. В. Повышение эффективности городских перевозок пассажиров автобусами / С. В. Скирковский // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп. Наука и транспорт. – 2006. – № 1–2. – С. 97–101.
56. Снижение задержек транспортных средств на остановочных пунктах при городских перевозках пассажиров в регулярном сообщении / С. А. Аземша [и др.] // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп. Наука и транспорт. – 2009. – № 2. – С. 21–25.
57. Скирковский, С. В. Оптимизация интервалов движения транспортных средств при городских перевозках пассажиров в регулярном сообщении / С. В. Скирковский // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп. Наука и транспорт. – 2013. – № 2. – С. 44–54.
58. Оптимизация интервалов движения подвижного состава при городских перевозках пассажиров регулярного сообщения / С. А. Аземша [и др.] // Научный вестник автомобильного транспорта. – 2014. – № 1. – С. 4–14.
59. Скирковский, С. В. Исследование закономерностей движения автобусов и времени ожидания поездки / С. В. Скирковский // Коммунальное хозяйство городов : научно-технический сборник. – Киев : Техника, 2006. – С. 254–257.
60. Скирковский, С. В. Совершенствование структуры парка подвижного состава пассажирского автопредприятия / С. В. Скирковский // Уральский научный вестник. – 2007. – № 2 (3). – С. 26–32.
61. Скирковский, С. В. Методика повышения эффективности перевозок пассажиров городским маршрутизированным транспортом / С. В. Скирковский, В. Н. Седюкевич, П. А. Пегин // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 1. – С. 69–77.
62. Спирин, И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками : учебник / И. В. Спирин. – 12-е изд., испр. – М. : Академия, 2020. – 398 с.
63. Зенгбуш, М. В. Пассажиропотоки в городах / М. В. Зенгбуш, А. Ю. Белинский, А. Г. Дынкин. – М. : Транспорт, 1974. – 136 с.
64. Блатнов, М. Д. Пассажирские автомобильные перевозки : учебник для автотранспортных техникумов / М. Д. Блатнов. – 3-е изд. – М. : Транспорт, 1981. – 222 с.
65. Антошвили, М. Е. Оптимизация городских автобусных перевозок / М. Е. Антошвили, С. Ю. Либерман, И. В. Спирин. – М. : Транспорт, 1985. – 102 с.
66. Капский, Д. В. Определение параметров функционирования системы городского маршрутного пассажирского транспорта / Д. В. Капский // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 2 (75). – С. 4–13. – DOI: 10.53078/20778481_2022_2_4.

67. Обоснование выбора средств и процессов контроля скорости движения транспортных средств / Д. В. Капский [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2022. – № 3. – С. 54–62.

68. Капский, Д. В. Моделирование контроля скоростного режима в г. Минске / Д. В. Капский, Д. В. Ливанович // XIV Всероссийская мультиконференция по проблемам управления МКПУ–2021 : материалы XIV мультиконференции, Дивноморское, Геленджик, 27 сент. 2021 г. : в 4 т. – Ростов н/Д ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2021. – Т. 4. – С. 151–153.

69. Капский, Д. В. Методы и средства повышения привлекательности городского пассажирского транспорта / Д. В. Капский, С. С. Семченков // XIV Всероссийская мультиконференция по проблемам управления МКПУ–2021 : материалы XIV мультиконференции, Дивноморское, Геленджик, 27 сент. 2021 г. : в 4 т. – Ростов н/Д ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2021. – Т. 4. – С. 45–47.

70. Аппак, А. О. Развитие и эффективность пассажирских перевозок / А. О. Аппак. – Таллин, 1981. – 258 с.

71. Shuts, V. Mobile Autonomous robots – a new type of city public transport / V. Shuts, V. Kasyanik // Transport and Telecommunication. – 2011. – Vol. 12, № 4. – P. 52–60.

72. Пролиско, Е. Е. Высокопроизводительный вид городского пассажирского транспорта на базе современных интеллектуальных информационных технологий / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сб. науч. трудов Междунар. заочной науч.-практ. конф., Воронеж, 14–15 нояб. 2016 г. – Воронеж : ВГЛУ, 2016. – Т. 4, № 5–3. – С. 336–341.

73. Пролиско, Е. Е. Динамическая модель работы транспортной системы «инфобус» / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы : материалы науч.-техн. конф., Брест, 25–28 мая 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: В. А. Головки [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2016. – С. 49–54.

74. Шуть, В. Н. Высокопроизводительная система городской транспортировки пассажиров / В. Н. Шуть, Е. Е. Пролиско // Електроніка та інформаційні технології : матеріали VIII українсько-польської науч.-практ. конф., Львов, 27–30 авг. 2016 г. – Львов : Львовський національний університет ім. І. Франка, 2016. – С. 62–64.

75. High capacity robotic urban cluster-pipeline passengers transport / L. Persia [et al.] // Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы (Be-Safe 2016) : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Брест, 25–28 мая 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: В. А. Головки [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2016. – P. 62–68.

76. Шуть, В. Н. Автоматизированная система управления разделяющимся пассажирским транспортом / В. Н. Шуть, Е. Е. Пролиско, Е. В. Швецова // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ–2019) : доклады XVIII Междунар. конф., Минск, 21 нояб. 2019 г. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2019. – С. 176–180.

77. Shviatsova, A. The Intellectual Transport with Divisible Parts / A. Shviatsova, V. Shuts // *Society 5.0: Human-Centered Society Challenges and Solutions*. – Cham : Springer, 2022. – Vol. 416. – P. 265–274.

78. NEXT FUTURE TREANSPORTATION [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.next-future-mobility.com/>. – Date of access: 03.10.2023.

79. Shviatsova, A. The Smart Urban Transport System / A. Shviatsova, V. Shuts // *Research Papers Collection of Open Semantic technologies for Intelligent System*, Minsk, 19–22 Feb. 2020. – Minsk : Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020. – P. 349–352.

80. Shviatsova, A. The smart urban transport system based on robotic vehicles / A. Shviatsova, V. Shuts // *Artificial Intelligence*. – 2019. – № 3–4 (85–86). – P. 40–49.

81. Shviatsova, A. The cassette method principles of passengers transportation through the intelligent transportation system / A. Shviatsova, V. Shuts // *Artificial Intelligence*. – 2020. – № 1. – P. 14–18.

82. Shuts, V. Collection and analysis of data for organization of transportation in the city passenger information and transportation system / V. Shuts, A. Shviatsova, E. Proliko // *Applied questions of mathematical modelling*. – 2021. – Т. 4, № 2.1. – P. 284–293.

83. Швецова, Е. В. Использование информационных технологий при организации пассажирских перевозок посредством беспилотного транспорта / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть, Е. Е. Пролиско // *Цифровая среда: технологии и перспективы ДЕТР 2022 : сборник материалов междунар. науч.-практ. конф.*, Брест, 31 окт. 2022 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест, 2022. – С. 150–154.

84. Швецова, Е. В. Планирование и организация процесса перевозки в пассажирской информационно-транспортной системе / Е. В. Швецова, Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // *Математические методы в технологиях и технике*. – 2021. – № 4. – С. 111–118. – DOI: 10.52348/2712-8873_ММТТ_2021_4_111.

85. Жогал, А. Н. Автоматический городской интеллектуальный пассажирский транспорт / А. Н. Жогал, В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // *Транспорт и инновации: вызовы будущего : материалы Междунар. науч. конф.*, Минск, 30 мая 2019 г. – Минск : Национальная библиотека Беларуси, 2019. – С. 23–33.

86. Shuts, V. Cassette robotized urban transport system of mass conveying passenger based on the unmanned electrical cars / V. Shuts, A. Shviatsova // *Science. Innovation. Production : Proceedings of the VI Belarus-Korea and Technology Forum*, Minsk, 10 Apr. 2019. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 81–83.

87. Shuts, V. System of urban unmanned passenger vehicle transport / V. Shuts, A. Shviatsova // *ICCPT 2019: Current Problems of Transport : Proceedings of the 1st International Scientific Conference*, Ternopol, 28–29 May 2019. – Ternopol : TNTU, 2019 – С. 174–184.

88. Швецова, Е. В. Безопасность беспилотных транспортных систем / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // *Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф.*, Гомель, 28–29 нояб. 2019 г. : в 2 ч. – Гомель : БелГУТ, 2019. – Ч. 1. – С. 90–91.

89. Шуть, В. Н. Оптимизация городских пассажирских перевозок в транспортной системе на базе беспилотных электрокаров [Электронный ресурс] / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // VII Международная научно-техническая интернет-конференция «Информационные технологии в образовании, науке и производстве», Минск, 16–17 нояб. 2019 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; сост. Е. В. Кондратёнок. – Минск, 2019. – С. 486–491. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/handle/data/68249>. – Дата доступа: 28.08.2022.

90. Швецова, Е. В. Пассажирская транспортная система для новой городской мобильности / Е. В. Швецова, Т. А. Глущенко // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях : материалы XXIII Респ. науч. конф. студентов и аспирантов, Гомель, 23–25 марта 2020 г. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2020. – С. 181–182.

91. Шуть, В. Н. Суперскоростная роботизированная интеллектуальная транспортная система городской перевозки пассажиров / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Университет – территория опережающего развития : сб. науч. ст., посвящ. 80-летию ГрГУ им. Янки Купалы, Гродно, 19–20 февр. 2020 г. / Гродн. гос. ун-т им. Янки Купалы ; гл. ред. Ю. Я. Романовский ; редкол.: В. Г. Барсуков [и др.]. – Гродно, 2020. – С. 146–149.

92. Larin, O. High Speed Transport Systems for Urban Agglomerations / O. Larin, A. Bokov, L. Ponimatkina // Technological Advancements in Construction. – Cham : Springer Verlag, 2022. – Vol. 180. – P. 279–288. – DOI: 10.1007/978-3-030-83917-8_26.

93. Швецова, Е. В. Планирование и организация перевозочного процесса в интеллектуальной городской пассажирской транспортной системе / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте : материалы III Всероссийской науч.-практ. конф., Самара, 26–27 янв. 2021 г. – Самара, 2021. – С. 133–136.

94. Шуть, В. Н. Сбор и анализ данных для организации перевозок в городской пассажирской информационно-транспортной системе / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова, Е. Е. Пролиско // XXII Міжнародна конференція з математичного моделювання (МКММ-2021) : збірка тез, Херсон, 13–17 вересня 2021 р. – Херсон : ХНТУ, 2021. – С. 106.

95. Швецова, Е. В. Использование СУБД PostgreSQL для обработки данных в городской пассажирской информационной транспортной системе / Е. В. Швецова // Інформаційні технології: теорія і практика : IV Всеукраїнська інтернет-конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених : тези доповідей, Дніпро – Запоріжжя – Харків, 17–19 берез. 2021 р. – Харьков, 2021. – С. 133–136.

96. Шуть, В. Н. Концептуальная модель городской пассажирской информационно-транспортной системы / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Образование, наука и производство в XXI веке: современные тенденции развития : материалы юбилейной Междунар. конф., Могилев, 11–12 нояб. 2021 г. – Могилев : Белорусско-Российский университет, 2021. – С. 170.

97. Швецова, Е. В. Обработка данных в городской пассажирской информационно-транспортной системе на базе беспилотных электрокаров / Е. В. Швецова ; науч. рук. В. Н. Шуть // Современные проблемы математики и вычислительной техники : сборник материалов XII Респ. науч. конф. молодых ученых и студентов, Брест, 18–19 нояб. 2021 г. – Брест : БрГТУ, 2021. – С. 40–42.

98. Швецова, Е. В. Алгоритм составления плана перевозок на городских линиях в интеллектуальной системе управления беспилотными транспортными средствами / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2019. – Т. 2 (69), № 3. – С. 222–230.

99. Швецова, Е. В. Алгоритм составления плана перевозок на городских линиях в интеллектуальной системе управления беспилотными транспортными средствами / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Материалы XX международной конференции по математическому моделированию : сборник материалов конференции, Херсон, 16–20 сент. 2019 г. – Херсон : ХНТУ, 2019. – С. 115.

100. Шуть, В. Н. Алгоритм организации городских пассажирских перевозок посредством рельсового беспилотного транспорта «Инфобус» / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Актуальні проблеми фундаментальних наук : матеріали III міжнародної наукової конференції, Луцьк – Світязь, 1–5 черв. 2019 р. – Луцьк : Вежа-Друк, 2019. – С. 222–226.

101. Швецова, Е. В. Алгоритмы функционирования беспилотной городской пассажирской транспортной системы / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Математические методы в технике и технологиях : сборник трудов XXXII Междунар. науч. конф., Санкт-Петербург, 3–7 июля 2019 г. : в 12 т. / под. общ. ред. А. А. Большакова. – СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2019. – Т. 12, ч. 2. – С. 32–39.

102. Швецова, Е. В. Интеллектуальный транспорт с разделяющимися частями / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. междунар. науч. конф.: в 12 т. Т. 3 / под общ. ред. А. А. Большакова. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2020. – С. 87–93.

103. Швецова, Е. В. Алгоритмы выбора остановок доставки инфобуса для посадки пассажиров / Е. В. Швецова // Вестник Брестского государственного технического университета. Физика, математика, информатика. – 2019. – № 5. – С. 50–53.

104. Швецова, Е. В. Алгоритм организации перевозок на основе критического элемента матрицы корреспонденций / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Транспорт Урала. – 2023. – № 2 (77). – С. 34–40.

105. Shviatsova, A. The criterion of arising motion conflict of unmanned vehicles during implementing transportation plan in intelligent urban passenger transportation system / A. Shviatsova, V. Shuts // Artificial Intelligence. – 2020. – № 3, iss. 89. – P. 79–84.

106. Shuts, V. The drawing up of the motion schedule in the intelligent urban passenger transport system / V. Shuts, A. Shviatsova // Artificial Intelligence. – 2021. – № 2, iss. 92. – P. 104–109.

107. Швецова, Е. В. О построении графика движения транспортных средства в городской пассажирской транспортной системе / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Вестник Белорус. гос. ун-та трансп. Наука и транспорт. – 2021. – № 2 (43). – С. 34–40.

108. Эффективность (философия) [Электронный ресурс] // Википедия. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Эффективность_\(философия\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Эффективность_(философия)). – Дата доступа: 03.10.2023.

109. Шуть, В. Н. Оценка эффективности городской кассетно-конвейерной пассажирской транспортной системы на базе беспилотных электрокаров / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Информационные технологии в промышленности, логистике и социальной сфере: ИП*2023 : XII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 21–22 сент. 2023 г. : тезисы докладов / науч. ред.: А. В. Тузиков, П. Н. Бибило, А. Г. Гривачевский. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2023. – С. 194.

110. Шуть, В. Н. Балансовая модель интересов транспортного предприятия и пассажиров в городских перевозках автоматическим транспортом / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Инновационный транспорт. – 2023. – № 3 (49). – С. 18–22.

111. Shuts, V. Balance Model of Interests of a Transport Company and Passengers in Urban Transportation by Automatic Transport / V. Shuts, A. Shviatsova // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science : 5th International Conference, CIT&DS 2023, Volgograd, Russia, September 11–15, 2023, Proceedings / eds.: A. G. Kravets, M. V. Shcherbakov, P. P. Groumpos. – Cham : Springer, 2023. – Vol. 1909 : Communications in Computer and Information Science. – P. 538–548.

112. Швецова, Е. В. Имитация спроса на перевозку для исследования эффективности алгоритмов работы информационно-транспортной системы на базе беспилотных электрокаров / Е. В. Швецова, Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте : сборник статей междунар. науч.-практ. конф., Липецк, 20–21 апр. 2022 г. – Липецк : ЛГТУ, 2022. – С. 107–113.

113. Fitness proportionate selection [Electronic resource] // Wikipedia. – Mode of access: https://en.wikipedia.org/wiki/Fitness_proportionate_selection. – Date of access: 03.10.2023.

114. Анализ пассажиропотока в Минском метро за 1 квартал 2013 года [Электронный ресурс] // Реклама в метро. – Режим доступа: <http://reklama-metro.by/novosti-reklamy-v-minskom-metro/analiz-passazhiropotoka-v-minskom-metro-za-1-kvartal-2013-goda.html>. – Дата доступа: 21.04.2022.

115. Пассажиропоток на станциях метро Санкт-Петербурга – Статистика загрузки метро СПб [Электронный ресурс] // Рекламное бюро «Коммет». – Режим доступа: <https://www.kommet.ru/stats>. – Дата доступа: 21.04.2022.

116. Project SARTRE (Safe Road Trains for the Environment) [Electronic resource] // Road Traffic-technology. – Mode of access: <https://www.roadtraffic-technology.com/projects/the-sartre-project>. – Date of access: 03.10.2023.

117. Шуть, В. Н. Использование эффекта автокараванинга для формирования автопоезда любой размерности для адаптации к пассажиропотоку на маршруте (часть 1) / В. Шуть // Actual problems of fundamental science : материалы Междунар. науч. конф., Луцк, 1–4 июня 2016 г. – Луцк : Луцкий нац. техн. ун-т, 2016. – С. 217–220.

118. Шуть, В. Н. Использование эффекта автокараванинга для формирования автопоезда любой размерности для адаптации к пассажиропотоку на маршруте (часть 2) / В. Н. Шуть // Actual problems of fundamental science : материалы Междунар. науч. конф., Луцк, 1–4 июня 2016 г. – Луцк : Луцкий нац. техн. ун-т, 2016. – С. 220–222.

119. Матюшков, Л. П. Основы искусственного интеллекта / Л. П. Матюшков, В. А. Головкин, В. Н. Шуть. – Брест : БрГТУ, 2010. – 112 с.
120. Ракитский, А. В. Робототехническая транспортная система / А. В. Ракитский, В. Н. Шуть // Информационные технологии и системы 2013 (ИТС 2013) : материалы Междунар. науч. конф., Минск, Беларусь, 23 окт. 2013 г. / редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2013. – С. 82–83.
121. Пролиско, Е. Е. Новый тип высокопроизводительного общественного городского транспорта / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Перспективы развития транспортного комплекса : материалы II Междунар. заоч. науч.-практ. конф., Минск, 4–6 окт. 2016 г. / ред. А. В. Королев, В. С. Миленский, С. Б. Соболевский. – Минск, 2016. – С. 11–14.
122. Пролиско, Е. Е. Роботизированный городской транспорт кассетно-конвейерной перевозки пассажиров / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации : РИНТИ-2016 : XV Междунар. конф., Минск, 17 нояб. 2016 г. : доклады / [науч. ред.: А. В. Тузиков, Р. Б. Григянец, В. Н. Венгеров]. – Минск, 2016. – С. 86–91.
123. Капский, Д. В. Система городского общественного транспорта будущего / Д. В. Капский, Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Автомобильные дороги: безопасность и надежность : сборник докладов Междунар. юбилейной науч.-техн. конф., посвящ. 90-летию Белорус. дорожной науки, Минск, 22–23 нояб. 2018 г. : в 2 ч. / Белорус. дорож. науч.-исслед. ин-т. – Минск, 2018. – Ч. 1. – С. 194–202.
124. Общественный транспорт [Электронный ресурс] // Википедия. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Общественный_транспорт. – Дата доступа: 15.05.2023.
125. Шуть, В. Н. Альтернативный метро транспорт на базе мобильных роботов / В. Н. Шуть, Е. Е. Пролиско // Штучний інтелект. – 2016. – № 2 (72). – С. 170–175.
126. Shuts, Vasili. Mobile Autonomous robots – a new type of city public transport / Vasili Shuts, Valery Kasyanik // Transport and Telecommunication. – 2011. – Vol. 12, № 4. – P. 52–60.
127. Котов, В. В. Скоростной внеуличный транспорт в периферийных жилых массивах / В. В. Котов, В. Р. Власюк, Г. В. Молодцов // Метро и тоннели. – 2002. – № 6.
128. Mnatsakanov, V. A real competitor to the private car Metrotram A 21st century urban public transport vehicle / V. Mnatsakanov // Public Transport International. – 2002. – № 6.
129. Мнацаканов, В. А. Качественные характеристики и сравнительные показатели метро, трамвая и метротрамвая / В. А. Мнацаканов // Метро и тоннели. – 2002. – № 6.
130. Мнацаканов, В. А. Сколько стоит поездка на вагоне в транспортной технологии, именуемой метрополитен [Электронный ресурс] / В. А. Мнацаканов // Московское метро – проект Артемия Лебедева. – Режим доступа: <https://www.metro.ru/library/analytics/143/> – Дата доступа: 24.11.23.
131. Мнацаканов, В. А. Предельные возможности метрополитена как транспортной системы / В. А. Мнацаканов // Метро и тоннели. – 2002. – № 3.
132. Гаврилов, Я. И. Вагоны метрополитена с импульсными преобразователями / Я. И. Гаврилов, В. А. Мнацаканов. – М. : Транспорт, 1986. – 230 с.

133. Стоимость сооружения 1 км метро в Минске составляет от 40 до 60 млн долларов [Электронный ресурс] // Агентство «Минск-новости». – Режим доступа: <https://minsknews.by/stoimost-sooruzheniya-1-km-metro-v-minske-sostavlyayet-ot-40-do-60-mln-dollarov/>. – Дата доступа: 24.11.2023.

134. Нікалаева, Н. Інтэлектуальнае метро шчыліннага тыпу можа з'явіцца ў абласных цэнтрах [Электронны рэсурс] / Н. Нікалаева // Звязда. – Рэжым доступу: <https://zviazda.by/be/news/20171208/1512751621-intelektualnae-metro-shchylinnaga-typu-mozha-zyavicca-u-ablasnyh-centrah>. – Дата доступа: 24.11.2023.

135. Шуть, В. Н. Новый тип роботизированного метрополитена низкой стоимости и высокой энергоэкономичности / В. Н. Шуть, А. В. Тур, В. В. Касьяник // Актуальные проблемы исследования материалов, конструкций, технологий и организации строительства в трансграничном аспекте : сборник статей II Междунар. науч. конф., Брест, 18–20 окт. 2017 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. техн. ун-т, Белостокский техн. ун-т ; редкол.: С. М. Семенюк [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2017. – С. 243–246.

136. Шуть, В. Н. Роботизированный метрополитен щелевого типа «Кротовые норы» / В. Н. Шуть // Штучний інтелект. – 2017. – № 1 (75). – С. 111–117.

137. Шуть, В. Н. Щелевое интеллектуальное метро «Кротовые норы» / В. Н. Шуть, А. В. Тур, Г. Г. Гогоберидзе // Вестник Брестского государственного технического университета. Физика, математика, информатика. – 2018. – № 5 (113). – С. 44–47.

138. Шуть, В. Н. Подземная роботизированная транспортная система городской перевозки пассажиров кассетно-конвейерного типа высокой провозной способности и энергоэкономичности – метро щелевого типа «Кротовые норы» / В. Н. Шуть // Каталог перспективных разработок и инновационных предложений. – Брест, 2019. – С. 15–17.

139. Жогал, А. Н. Автоматический городской интеллектуальный пассажирский транспорт / А. Н. Жогал, В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Транспорт и инновации: вызовы будущего : материалы Междунар. науч. конф., Минск, 30 мая 2019 г. – Минск : Национальная библиотека Беларуси, 2019. – С. 23–33.

140. Сатунин, С. В. Применение комбинаторных аукционов для планирования маршрутов в моделировании задачи «Транспорт по запросу» / С. В. Сатунин // Бизнес-информатика. – 2009. – № 4 (10). – С. 3–9.

141. Современная система диспетчеризации [Электронный ресурс] // НИИТК. – Режим доступа: https://niitk.kz/ru/catalog/sovremennaya--sistema-dispetcherizacii_47. – Дата доступа: 15.10.2021.

142. Автоинформатор остановок общественного транспорта [Электронный ресурс] // АТЛАС-М. – Режим доступа: <https://www.atlas-m.ru/avtoinformator>. – Дата доступа: 15.10.2021.

143. Инновационное решение для оплаты проезда в общественном транспорте [Электронный ресурс] // Системные технологии. – Режим доступа: <https://www.st.by/smartcity/tix/>. – Дата доступа: 15.10.2021.

144. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H10700278>. – Дата доступа: 15.10.2021.

145. Расписание движения городских экспрессных маршрутов г. Бреста с августа 2021 года [Электронный ресурс] // Вечерний Брест. – Режим доступа: <https://vb.by/help/raspisanie-dvizheniya-gorodskih-ekspressnyh-marshrutov-g-breata.html>. – Дата доступа: 15.10.2021.

146. Алгоритм генерации QR-кода [Электронный ресурс] // Хабр. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/172525/>. – Дата доступа: 20.12.2021.

147. IBA Group запустила в Бресте систему оплаты проезда в транспорте [Электронный ресурс] // IT-JOB.BY – Режим доступа: <https://it-job.by/iba-group-zapustila-v-brete-sistemu-oplaty-proezda-v-transporte/>. – Дата доступа: 14.11.2023.

Научное издание

Шуть Василий Николаевич
Швецова Елена Владимировна

**КАССЕТНО-КОНВЕЙЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СКОРОСТНЫХ
СИСТЕМ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК**

**CASSETTE-CONVEYOR TECHNOLOGY OF HIGH-SPEED
SYSTEMS OF CITY PASSENGER TRANSPORTATION**

Ответственный за выпуск: Шуть В. Н.
Редактор: Митлошук М. А.
Компьютерная верстка: Сирота А. Р.
Корректор: Северянина А. Г.

ISBN 978-985-493-614-7



Издательство БрГТУ.

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/235 от 24.03.2014 г. Подписано в печать 27.12.2023 г.

Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Performer».

Гарнитура «Times New Roman».

Усл. п. л. 12,48. Уч.-изд. л. 13. Тираж 50 экз. Заказ № 1274.

Отпечатано на ризографе Учреждения образования
«Брестский государственный технический университет»
224017, Брест, ул. Московская, 267.