

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
Кафедра «Транспорт»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Е.С.Воеводин  
« \_\_\_\_\_ » июль 2020 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

**«Определение рациональной структуры парка автобусов городского  
пассажи́рского транспорта»**

23.04.01 – Технология транспортных процессов

23.04.01.01 – Организация перевозок и управление на автомобильном  
транспорте

Пояснительная записка

Научный руководитель \_\_\_\_\_ канд. техн. наук, доцент А.И. Фадеев

Выпускник \_\_\_\_\_ Н.В. Голуб

Рецензент \_\_\_\_\_ Зам. нач.отд.«ПРПП»А.А. Тарских  
МКУ «Красноярскгортранс»

Красноярск 2020

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме «Определение рациональной структуры парка автобусов городского пассажирского транспорта» содержит 71 страницу текстового документа, 9 иллюстраций, 57 формул, 14 таблицы, 3 приложения, 65 использованных источника, 10 листов презентационного материала.

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА,МАРШРУТНАЯ СЕТЬ ГПТ,ПРОГРАММА ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ,ПАССАЖИРСКИЕ ПОТОКИ,ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ,ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ,КОЭФФИЦИЕНТ ДИНАМИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВМЕСТИМОСТИ ПС,ОСТАНОВОЧНЫЕ ПУНКТЫ,ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА.

В разделе «Состояние вопроса. Цели и задачи исследования» представлен анализ параметров качества транспортного обслуживания населения автобусами городского пассажирского транспорта. Также дана оценка параметров качества транспортного обслуживания. проведен анализ факторов, влияющих на оптимизацию программы перевозок.

Как показал, анализ параметров качества транспортного обслуживания наиболее важными параметрами эффективности являются:

- регулярность движения транспортных средств;
- наполнение подвижного состава;
- интервал движения;
- информационное обслуживание;
- безопасность движения.

Научная новизна:

- разработана математическая модель для расчета программы перевозок пассажиров;
- сформулирован алгоритм решения задачи определения оптимальной программы перевозок пассажиров на маршрутной сети;

- проведены исследования функционирования модульной сети городского пассажирского транспорта (автобусов);
- установлена зависимость пропускной способности остановочных пунктов и параметров процесса обследования ПС на остановочном пункте;
- дана оценка работоспособности алгоритма расчета оптимальной структуры парка ПС (автобусов) на примере абстрактной маршрутной сети.

## СОДЕРЖАНИЕ

Реферат .....	2
Введение.....	6
1 Анализ параметров качества транспортного обслуживания населения автобусами городского пассажирского транспорта .....	7
1.1 Показатели качества транспортного обслуживания населения автобусами городского пассажирского транспорта.....	8
1.2 Оценка параметров качества транспортного обслуживания.....	10
1.3 Анализ факторов, влияющих на оптимизацию программы перевозок....	16
1.4 Выводы по первой главе .....	22
2 Разработка математической модели оптимизации структуры парка подвижного состава (автобусов) городского пассажирского транспорта. ....	24
2.1 Разработка математической модели рациональной структуры парка подвижного состава. ....	24
2.2 Расчет параметров программы перевозок.....	27
2.3 Нормирование параметров использования вместимости ПС .....	30
2.4 Нормирование пропускной способности маршрутной сети городского пассажирского транспорта .....	35
2.5 Выводы по второй главе .....	43
3 Методики исследований функционирования модульной сети городского пассажирского транспорта (автобусов) .....	45
3.1 Методика обследования пассажирских потоков .....	45
3.2. Анализ работы остановочных пунктов.....	50
3.3 Методика расчета программы перевозок .....	55
3.4 Нормирование использования вместимости подвижного состава городского пассажирского транспорта .....	57
3.5 Оценка работоспособности алгоритма расчета оптимальной структуры парка ПС (автобусов) на примере абстрактной маршрутной сети .....	59
3.6 Выводы по третьей главе .....	62

Заключение .....	64
Список сокращений .....	65
Список использованных источников .....	66
Приложение А. Лист обследования пассажирских потоков .....	72
Приложение Б. Результаты расчета по модельной сети .....	73
Приложение В. Презентационный материал.....	74

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования определяется остротой транспортной проблемы крупных городов, которая усугубляется высокой динамикой уровня автомобилизации. Как следствие существенно усложняется процесс проектирования систем городского пассажирского транспорта (ГПТ) и управления этими системами. Повышение качества и безопасности услуг ГПТ является важнейшим направлением решения транспортной проблемы крупных городов, поскольку привлекательность ГПТ обуславливает снижение интенсивности транспортных потоков личных автомобилей.

В настоящее время на практике транспортные организации при формировании программы перевозок в первую очередь ориентируются на подвижной состав (ПС), имеющийся в парке или доступный по финансовым критериям. Такой подход не позволяет обеспечить требуемое качество транспортных услуг и во многом усугубляет проблему крупных городов за счет неоправданного применения транспортных средств малой вместимости. Для обслуживания имеющихся пассажирских потоков автобусами малой вместимости движение по маршрутам осуществляется с небольшим интервалом. При этом наблюдаются скопления автобусов на остановочных пунктах, отказы в посадке пассажиров из-за недостаточной вместимости что, в конечном счете, негативно влияет на длительность поездки пассажиров.

Отсутствие обоснованных нормативов зачастую приводит к применению регулирующими органами нерентабельной для транспортных организаций программы перевозок, что оказывает отрицательное влияние на финансовое состояние перевозчиков и может привести к деградации ГПТ.

## **1 Анализ параметров качества транспортного обслуживания населения автобусами городского пассажирского транспорта**

Актуальность темы исследования определяется остротой транспортной проблемы крупных городов, которая усугубляется высокой динамикой уровня автомобилизации. Как следствие существенно усложняется процесс проектирования систем городского пассажирского транспорта (ГПТ) и управления этими системами. Повышение качества и безопасности услуг ГПТ является важнейшим направлением решения транспортной проблемы крупных городов, поскольку привлекательность ГПТ обуславливает снижение интенсивности транспортных потоков личных автомобилей.

В настоящее время на практике транспортные организации при формировании программы перевозок в первую очередь ориентируются на подвижной состав (ПС), имеющийся в парке или доступный по финансовым критериям. Такой подход не позволяет обеспечить требуемое качество транспортных услуг и во многом усугубляет проблему крупных городов за счет неоправданного применения транспортных средств малой вместимости. Для обслуживания имеющихся пассажирских потоков автобусами малой вместимости движение по маршрутам осуществляется с небольшим интервалом. При этом наблюдаются скопления автобусов на остановочных пунктах, отказы в посадке пассажиров из-за недостаточной вместимости что, в конечном счете, негативно влияет на длительность поездки пассажиров.

Отсутствие обоснованных нормативов зачастую приводит к применению регулируемыми органами нерентабельной для транспортных организаций программы перевозок, что оказывает отрицательное влияние на финансовое состояние перевозчиков и может привести к деградации ГПТ.

## **1.1 Показатели качества транспортного обслуживания населения автобусами городского пассажирского транспорта**

Одним из первых показателей качества системы городского пассажирского транспорта рассматривал в 30-е годы Зильберталь А.Х. [1]. Им выделены три группы факторов:

- 1 Затраты времени;
- 2 Удобство;
- 3 Безопасность [1].

Затраты времени на поездку включают время пешеходных подходов, длительность ожидания транспорта, время поездки, затраты времени на пересадку.

В соответствии с ГОСТ Р51004-96 «Услуги транспортные. Пассажирские перевозки: номенклатура показателей качества» элементы системы качества транспортного обслуживания представлены в следующем виде:

- 1 Экономичность, т.е. уровень развития маршрутной сети и величина пассажирского тарифа.
- 2 Информационное обслуживание пассажиров, перевозки.
- 3 Комфортность поездки, определяемая уровнем наполнения салона автобуса.
- 4 Скорость доставки пассажиров.
- 5 Доступность услуг, которая определяется временем пешеходного подхода к остановочному пункту и обуславливается рациональным развитием маршрутной сети.

В документе [2] система качества транспортного обслуживания населения городским пассажирским транспортом в России определяется посредством следующих показателей:

- 1 доступность, т.е. обеспечение гарантированного получения населением транспортных услуг;



2 надежность— обеспечение стабильности и предсказуемости получения транспортных услуг;

3 комфортность—удобство пользования транспортными услугами, отсутствие физиологического и психологического дискомфорта для пассажиров.

Комфортность транспортного обслуживания – это сложная категория, состоящая из следующих элементов:

- информирование пассажиров;
- уровень шума и температурный режим в салоне транспортных средств;
- соблюдение норм вместимости транспортных средств;
- количество пересадок при выполнении поездки;
- экологичность транспортной системы.

Показатели качества обслуживания пассажиров определены в американском руководстве Highway Capacity Manual (HCM) [3]. В соответствии с данным документом система показателей качества обслуживания пассажиров и эффективности работы городского транспорта формируется исходя из:

- 1 работы остановочных пунктов общественного транспорта;
- 2 характеристик работы транспорта на перегонах;
- 3 совокупности маршрутов пассажирского транспорта.

Многие исследователи [4-7] к основным показателям качества обслуживания населения городским массовым пассажирским транспортом относят:

- интервалы (интенсивность) движения подвижного состава по маршрутам;
- надежность выполнения расписания движения;
- соблюдение вместимости подвижного состава;
- использование вместимости подвижного состава, соответствующей мощности пассажирских потоков.

К основным задачам организации транспортного обслуживания, обеспечивающим указанные показатели качества транспортной системы, авторы относят:

- разработка оптимального расписания движения подвижного состава пассажирского транспорта по маршруту;
- организация труда водителей;
- выбор типа, класса и количества подвижного состава для работы на маршруте;
- анализ, моделирование и изучение пассажирских потоков.

Таким образом, качество транспортного обслуживания населения автобусами городского пассажирского транспорта, это сложная система, состоящая из значительного числа элементов, т.е. качество транспортного обслуживания – это свойство транспортной системы, которое оценивается комплексом показателей.

## **1.2 Оценка параметров качества транспортного обслуживания**

В соответствии с HighwayCapacityManual (HCM) [3] качество транспортного обслуживания оценивается посредством следующих показателей:

- 1 Интервал движения подвижного состава на маршруте;
- 2 Пешеходная доступность остановочных пунктов;
- 3 Наполнение транспортного средства;
- 4 Время работы городского пассажирского транспорта общего пользования;
- 5 Обустройство остановочных пунктов;
- 6 Надежность работы городского пассажирского транспорта;
- 7 Соотношение скорости сообщения при пользовании городским транспортом общего пользования и легковым автомобилем;
- 8 Время поездки;

## 9 Безопасность.

К основным показателям качества работы городского пассажирского транспорта общего пользования отнесены интервал движения и наполнение подвижного состава.

Рассмотрим шесть границ уровней обслуживания по условиям размещения пассажиров в салоне автобуса городского пассажирского транспорта, к числу которых относятся:

1 уровень А – пассажиры могут выбирать место в салоне автобуса и не садиться рядом друг с другом;

2 уровень В – пассажиры могут выбирать место в салоне;

3 уровень С – все пассажиры могут сидеть;

4 уровень D – заняты места для сидения, есть стоящие пассажиры;

5 уровень E – максимальная загрузка салона;

6 уровень F – переполнение подвижного состава.

Проблему обеспечения качества транспортного обслуживания рассматривали в работах многие Российские ученые [8-10]. Предложенные методы разделим на две группы:

- методы организации перевозочного процесса, т.е. формирование рациональных режимов движения автобусов на маршруте, определение оптимального количества и типа подвижного состава и т.д.;

- развитие маршрутной сети городского пассажирского транспорта.

На качество обслуживания пассажиров автобусами городского пассажирского транспорта оказывает прямое влияние общее время передвижения пассажира. Сокращение времени передвижения является основной задачей повышения качества обслуживания населения.

Структуру затрат времени на передвижение пассажиров составляют:

1 затраты времени пешеходных подходов;

2 длительность ожидания поездки;

3 время поездки.

Исследования показали, что время пешеходных подходов зависит от развития инфраструктуры маршрутной сети городского пассажирского транспорта и выражается такими показателями как плотностью транспортной сети, длиной перегонов на маршрутах, планировочных характеристик района [11].

Большое количество работ посвящено исследованию длительности ожидания транспорта. Ученые сходятся во мнении, что на длительность ожидания поездки оказывают влияния факторы, зависящие от организации перевозочного процесса, к числу которых относятся повышение регулярности, совмещение маршрутов и т.д.) [11,12].

Поездка является одним из самых продолжительных элементов передвижения пассажира, который составляет почти половину времени передвижения и зависит от таких параметров как скорость сообщения на используемых видах транспорта и длина корреспонденций[13].

Изучая длительность поездок пассажиров Chumcik A. и BraaksmJ отметили, что время поездки непосредственно влияет на качество обслуживания населения в сочетании с фактором наполнения [14].

Регулярность движения, наполнение автобусов и пересадочность это важные факторы, которые оказывают свое влияние на комфорт передвижения пассажиров. Фишельсон М.С. в своей работе [15] отметил, что показатель регулярности определяется своевременным выполнением расписания движения транспортными средствами, проходя через остановочные пункты маршрутной сети города, и зависит от организации перевозочного процесса, тем не менее, рекомендует относить его к комфорту передвижения пассажира.

Главный составляющий фактор, влияющий на увеличение времени передвижения пассажиров является пересадочность. Затраты времени на пересадки как правило зависят от развития инфраструктуры маршрутной сети и определяются планировкой пересадочных узлов, размещением остановочных пунктов и удобством передвижения между ними [7]. Все перечисленные факторы оказывают различное влияние на пассажиров: в

зависимости от погодных условий, цели передвижения, пола и возраста пассажиров [16].

Марченко А.А. обратил внимание на то, что во многих случаях, пересадочность зависит от уровня организации перевозочного процесса и обусловлена большими интервалами движения, низкой регулярностью и переполнением [17]. Пересадочность исследовали при оценке качества Думитрашиу П.П., Минин Н.П., Ольховский С.Ю., Садыхова О.С. и другие [7, 18-21].

Количество пересадок зависит от уровня развития инфраструктуры маршрутной сети города, и характеризуются такими показателями как дальность передвижения, разветвленность маршрутной сети и ее соответствия основным параметрам пассажирских потоков, а также от надежности работы городского пассажирского транспорта[22].

Наполнение оценивается коэффициентом использования вместимости, (отношением выполненной работы к максимально допустимой при полном заполнении транспортных средств), максимальное значение которого не может превышать нормативное ограниченное количеством мест для сидения и числом пассажиров, приходящихся на 1 м<sup>2</sup> площади пола автобуса. При работе подвижного состава на линии наполнение транспортных средств зависит от соответствия программы перевозок действующим пассажирским потокам и фактическому значению регулярности движения автобусов.

Согласно работ Гудкова В.А., Миротина Л.Б., Вельможина А.В., Ширяев С.А. на программу пассажирских перевозок оказывают влияние следующие факторы [23-25]:

- 1 Транспортная подвижность и численность населения. Для разработки мероприятий, повышения эффективности транспортного обслуживания пассажиров, является важной информацией о транспортной подвижности населения, особенностях ее формирования, о размере и направлениях пассажиропотоков, их изменениях по часам суток, дням недели,

периодам года и т.д. Объем передвижений во многом зависит от социального состава населения. Рассмотрим четыре социальные группы [24]:

- трудящиеся градообразующих предприятий. Градообразующие предприятия имеют большое число рабочих, располагаются обособленно и являются конечными остановочными пунктами движения многих маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования;

- трудящиеся обслуживающих предприятий – жилищно-коммунальных, торговых предприятий, культурно-бытовых центров и т.д. Маршруты движения пассажирского транспорта общего пользования проходят рядом с обслуживающими предприятиями;

- учащиеся ВУЗов, техникумов, средних профессионально-технических училищ. Места учебы представителей данной социальной группы, как правило, удалены от места их жительства. Современные крупные ВУЗы с большим числом студентов и малым количеством общежитий могут рассматриваться в качестве градообразующих предприятий;

- несамостоятельное население – дети дошкольного и школьного возраста, пенсионеры, домохозяйки, инвалиды и т.д. Считается, что несамостоятельное население совершает меньше передвижений и не создает нагрузок на работу общественного пассажирского транспорта. Во многих населенных пунктах большинство дошкольных и школьных учреждений располагаются рядом с местами проживания.

Существуют определенные факторы оказывающие влияние на формирования подвижности населения, приводящие к ее росту или снижению. К таким факторам можно отнести территориальная удаленность городских объектов, продолжительность передвижения, расстояние между остановочными пунктами, величина транспортного тарифа, характеристик подвижного состава, наличие информации и др. [24].

2. Распределения пассажирского потока между пассажирскими видами транспорта зависят от выбора способа передвижения населением. Мун Э.Е. предположил, что при многообразии факторов, определяющих уровень

обслуживания: комфортабельность, скорость сообщения, степень учета индивидуальных требований, вид пассажирского транспорта, выбор вида передвижения осуществляется пассажиром по критерию - точной или, как правило, приблизительной стоимостной оценки времени в зависимости от назначения конкретной поездки [26].

Выбор пассажиром вида транспорта для передвижения во многом зависит от характеристик этого транспорта, а именно комфортабельности поездки, регулярности движения, частоты движения подвижного состава на линии, скорости сообщения, стоимости проезда и т.д.;

3 Тип и количества подвижного состава. От типа и количества подвижного состава работающего на маршруте напрямую зависят расходы и доходы перевозчиков. Поэтому, для работы на маршруте, необходимо выбирать подвижной состав, вместимость которого соответствует мощности и характеру пассажиропотока, а эксплуатационные расходы, которого обеспечивают рентабельную работу транспортного предприятия. При решении задачи выбора подвижного состава в первую очередь необходимо определить его номинальную вместимость. От номинальной вместимости и количества подвижного состава на маршруте зависят такие показатели работы как: наполнение подвижного состава, интервал движения, время оборота, затраты на перевозки и т.д.;

4 Техническая, эксплуатационная и скорость сообщения. Скорость движения транспортного средства по маршруту зависят от многих факторов: благоустройство улиц, планировка города, технических характеристик и степени загрузки подвижного состава, интенсивности транспортного потока и характера его регулирования, числа остановочных пунктов на маршруте и уровня их оснащения, квалификации водителя и др. Скорость движения имеет разное значение в зависимости от времени суток и дней недели, напрямую влияет на себестоимость перевозок и время поездки пассажиров [24].

5 Уровень организации транспортного процесса характеризуется рациональным распределением подвижного состава по маршрутам и

составлением оптимального расписания движения подвижного состава. Организацию движения городского пассажирского транспорта можно осуществить лишь при максимально полной координации работы всех видов транспорта и транспортных компаний. Уровень организации транспортного процесса характеризуется такими факторами как: количество подвижного состава на линии, интервалы движения, наполнение, регулярность движения, уровень информационного оснащения, безопасность движения и т.д. [24].

6 Эксплуатационные затраты подвижного состава зависят от типа применяемых транспортных средств. Как известно эксплуатационные затраты подвижного состава возрастают пропорционально увеличению его вместимости. Следовательно, для транспортных средств большой вместимости характерны высокие эксплуатационные затраты. Таким образом, подвижной состав по вместимости должен максимально соответствовать мощности и характеру пассажиропотока. Общее количество и тип подвижного состава на каждом маршруте движения, влияет на такие параметры как: интервал движения, наполнение, безопасность движения и т.д. [24].

### **1.3 Анализ факторов, влияющих на оптимизацию программы перевозок**

Как упоминалось выше, к основным показателям качества работы городского пассажирского транспорта общего пользования относятся интервал движения и наполнение подвижного состава. Это два взаимозависимых параметра, которые полностью определяются программой перевозок пассажиров, т.е. определение рациональной структуры парка подвижного состава, распределение транспортных единиц между маршрутами и установление рациональных интервалов движения по маршрутам.

В Западной Германии в 60-е - 70-е гг. убыточность городского пассажирского транспорта привела к необходимости реформы транспорта, которая анализировалась в работах Бисли М.Е., Эйгена Д., Матиаса Х.,



Шлиске В., Собеля К.Л. Солимана А.Н. [27-31]. Экономический эффект был получен, когда для уменьшения затрат на эксплуатацию подвижного состава было принято решение о существенном увеличении удельного веса крупногабаритных автобусов большой вместимости на городских маршрутах пассажирских перевозок[32-38].

Над проблемами повышения прибыли транспортных компаний или снижения тарифа на перевозки работали Дрэкслер Г., Ланкастер Т.А., Майер И., Пекманн М., Самойлов Д.С., Тульчинский Л.И., Чэнд М., Шабарова Э.В., Шредер Х., Юдин В.А. [39-46].

Для определения класса автобуса используемого для перевозок пассажиров в городах были разработаны рекомендации в виде таблиц позволяющие определить вместимость транспортного средства в зависимости от мощности пассажирского потока или количества жителей города.

Над проблемой оптимизации программы перевозок для осуществления обслуживания пассажиров городским транспортом общего пользования работали следующие исследователи: Антошвили М.Е., Афанасьев Л. А., Варелопуло Г.А., Великанов Д. П., Геронимус Б. Л., Зильберталь А.Х., Кобазев П. П., Михайлов А.Ю., Островский Н. В., Спирин И. В., И., Юдин В. и другие.

Анализ исследований показал, что авторы работ по-разному подходят к проблеме определения оптимальной структуры парка подвижного состава для осуществления городских перевозок.

Наиболее распространенными являются методы, позволяющие определять необходимое количество подвижного состава исходя из суточного объема перевозок пассажиров, например, используя следующую формулу:

$$A = \frac{Q_{\text{пассаж}} \eta_{\text{ч}} \eta_{\text{уч}} t_p}{q \eta_{\text{см}} T_m} \quad (1.1)$$

где А – потребное количество подвижного состава на линии, ед.;

$Q_{\text{пасссут}}$  – суточный пассажиропоток, пасс.;

$\eta_{\text{ч}}, \eta_{\text{уч}}$  – коэффициенты неравномерности пассажиропотока по часам суток и участкам маршрута соответственно;

$\eta_{\text{см}}$  – коэффициент сменности пассажиров на маршруте;

$t_p$  – время рейса, час.;

$q$  – вместимость подвижного состава, пасс.;

$\gamma$  – коэффициент использования вместимости;

$T_m$  – время работы на маршруте, час.

При этом в работах нет рекомендаций по значению коэффициента использования вместимости подвижного состава.

В работах Гудкова В.А., Голованенко С.Л., Вельможина А.В. [47-50] расчётное количество подвижного состава на линии является показателем уровня предоставляемых пассажирских услуг.

Гудков В.А. [47] предлагает использовать следующую формулу по определению требуемого количества подвижного состава:

$$A_{\text{рас}} = \frac{Q_{\text{рас}} t_o K_T}{q T \gamma_H \eta_H} \quad (1.2)$$

где  $Q_{\text{рас}}$  – расчётный пассажиропоток пасс/ч.;

$t_o$  – время оборота автобуса на маршруте, мин.;

$K_T$  – коэффициент внутрисуточной неравномерности движения;

$q$  – вместимость автобуса, пасс.;

$T$  – период времени предоставления информации (1 час);

$\gamma_H$  – расчётное значение коэффициента наполнения;

$\eta_H$  – коэффициент неравномерности по направлению движения.

В рекомендациях Голованенко С.Л. [48], предлагается определять необходимое количество подвижного состава на маршруте из соотношения:

$$A_a = \frac{Q_{\Gamma} l_{\text{ср}} K_c K_n K_k}{365 q_c \gamma_{\text{вм}} a_{\text{в}} V_{\text{э}} T_{\text{н}} \beta} \quad (1.3)$$

где  $Q_{\Gamma}$ —годовой объём перевозок, пасс;

$l_{\text{ср}}$ — средняя дальность поездки пассажира, км.;

$K_c, K_n$ — коэффициент неравномерности перевозок соответственно по часам суток и по направлениям маршрутов;

$q_c$ — средняя вместимость транспортного средства, пасс;

$\gamma_{\text{вм}}$ — коэффициент вместимости транспортного средства;

$a_{\text{в}}$ — коэффициент выпуска транспортных средств на линию;

$V_{\text{э}}$ — эксплуатационная скорость, км/ч;

$T_{\text{н}}$ — продолжительность пребывания транспортного средства в наряде, час.;

$\beta$ — коэффициент использования пробега транспортного средства;

$K_k$ — коэффициент повышения качества транспортного обслуживания в результате улучшения технико-эксплуатационных показателей использования транспортных средств, определяемый по формуле:

$$K_k = \sqrt[4]{\frac{a_{\text{вс}} \beta_c T_{\text{нс}} R_{\text{дс}}}{a_{\text{вп}} \beta_{\text{п}} T_{\text{нп}} R_{\text{дп}}}} \quad (1.4)$$

где  $a_{\text{вс}}$ — списочный коэффициент выпуска транспортных средств на линию;

$a_{\text{вп}}$ — планируемый коэффициент выпуска транспортных средств на линию;

$\beta_c$ — списочный коэффициент использования пробега транспортного средства;

$\beta_{\text{п}}$ — планируемый коэффициент использования пробега транспортного средства;

$T_{\text{нс}}$ — списочная продолжительность пребывания транспортного средства в наряде, ч;

$T_{\text{НП}}$  – планируемая продолжительность пребывания транспортного средства в наряде, ч;

$R_{\text{дс}}$  – списочная регулярность движения на маршрутной сети;

$R_{\text{дп}}$  – планируемая регулярность движения на маршрутной сети.

Представленные рекомендации определения необходимого количества подвижного состава, в формулах (1.1–1.4) предполагают возможность безальтернативной поездки, хотя на данный момент пассажир имеет возможность выбора вида транспорта.

Спирин И.В. предлагает определять интересы транспортных компаний учитывая не только данные о пассажирских потоках, но и экономические затраты транспортных компаний, а также стоимость автобуса [51].

При формировании показателей пассажирских услуг в работе Миротина Л.Б, [24], предлагается комплексный показатель уровня пассажирского сервиса  $S$ , который может быть определён по формуле:

$$S = S_1^{K_1} S_2^{K_2} S_3^{K_3} S_4^{K_4} S_5^{K_5} S_6^{K_6} \quad (1.5)$$

где  $S_1$  – надёжность перемещения точно по графику (время поездки);

$S_2$  – доступность (частота движения общественного транспорта);

$S_3$  – безопасность (вероятность безотказной работы общественного транспорта);

$S_4$  – комфортность (качество поездки);

$S_5$  – стоимостной показатель - величина транспортного тарифа;

$S_6$  – показатель информационного сервиса (уровень информационного обеспечения);

$K_1 \dots K_6$  – показатели степени, характеризующие весомость соответствующего показателя уровня сервиса.

В условиях крупных городов при использовании автобуса приоритетным становится коэффициент наполнения салона.

Бойко Г.В предлагает уровень транспортных услуг оценивать с коэффициентом оптимизации структуры транспорта ( $K_{opt}$ ), определение значения которого основано на применении функции желательности, учитывающей такие показатели как уровень транспортного обслуживания, экологичность перевозок и безопасность дорожного движения. Рассчитывать коэффициент предлагается по формуле [52]:

$$K_{opt} = \sqrt[3]{K_{nep} K_{эк} K_{бд}} \quad (1.8)$$

где:  $K_{nep}$  – коэффициент, учитывающий уровень транспортного обслуживания пассажиров;

$K_{эк}$  – коэффициент, учитывающий экологичность перевозок;

$K_{бд}$  – коэффициент, учитывающий безопасность дорожного движения.

По замыслу автора формула (1.8) поможет рационально подобрать структуру парка в любой точке улично-дорожной сети города. Автором предлагается создать несколько вариантов структуры парка, а коэффициент выступает критерием оптимизации.

Спирин И.В. оценивает оптимальную структуру парка подвижного состава с учетом затрат времени ожидания автобуса пассажиром [52]:

$$Z_{pass} = \sum_{j=1}^m \frac{T_{ожj} S_j}{60} T_m C_{n-ч} \quad (1.9)$$

где:  $T_{ожj}$  – среднее время ожидания пассажиром автобуса на j-й остановке, мин;

$m$  – количество остановок на маршруте в прямом и обратном направлениях;

$S_j$  – интенсивность поступления пассажиров на j-й остановочный пункт, пасс./час;

$T_m$  – продолжительность работы автобусов на маршруте, час;

$C_{п-ч}$  – стоимость одного пассажиро-часа, руб.

Также выделяются методы, предлагающие оценивать структуру парка с точки зрения экологии и безопасности перевозок.

Таким образом, методы, позволяющие определить оптимальное количество подвижного состава на маршруте, можно разделить на три группы:

- 1 методы, учитывающие только мощность пассажирских потоков;
- 2 методы, учитывающие показатели качества передвижения пассажира;
- 3 методы, учитывающие влияния транспорта на окружающую среду.

Актуальность задачи состоит в разработке эффективных методов определения оптимальной программы перевозок пассажиров: тарифов и бюджетных субсидий, пропускной способности инфраструктуры маршрутной сети, провозной способности подвижного состава.

#### **1.4 Выводы по первой главе**

Нет единого определения понятия качества обслуживания пассажиров, выделяется два различных подхода:

- качество обслуживания населения характеризует уровень технического развития городского пассажирского транспорта, а также эффективность управления и планирования процессом перевозок.
- качество обслуживания населения характеризуется степенью удовлетворения пассажиров перевозочным процессом.

Как показал, анализ параметров качества транспортного обслуживания наиболее важными параметрами эффективности являются:

- регулярность движения транспортных средств;
- наполнение подвижного состава;
- интервал движения;
- информационное обслуживание;
- безопасность движения.

В связи с этим целью работы является повышение качества транспортного обслуживания населения путем нормирования технико-эксплуатационных показателей работы городского массового пассажирского транспорта общего пользования.

Для достижения поставленной цели необходимо реализовать следующие задачи:

1 Разработать математическую модель для расчета программы перевозок пассажиров с учетом взаимного наложения маршрутов, сформулировать алгоритм решения задачи определения оптимальной программы перевозок пассажиров на маршрутной сети при известном транспортном спросе.

2 Установить зависимости среднего коэффициента динамического использования вместимости ПС от пассажирских потоков, времени работы транспортной единицы на маршруте, неравномерности скорости сообщения.

3 Установить зависимости пропускной способности остановочных пунктов от количества остановочных мест и параметров процесса обслуживания ПС на остановочном пункте.

## **2 Разработка математической модели оптимизации структуры парка подвижного состава (автобусов) городского пассажирского транспорта.**

### **2.1 Разработка математической модели рациональной структуры парка подвижного состава.**

Эффективность городского пассажирского транспорта общего пользования заключается в обеспечении максимально возможного уровня качества транспортного обслуживания населения. Одно из важнейших направлений решения проблемы дорожного движения – это развитие пассажирского транспорта таким образом, чтобы обеспечить комфортабельное и безопасное транспортное обслуживание населения.

Разработаем математическую модель оптимизации структуры парка подвижного состава ГПТ с учетом взаимного наложения маршрутов, позволяющую определить программу перевозок пассажиров, обеспечивающую максимально возможный уровень качества транспортного обслуживания при установленных ограничениях.

На транспортной сети организованы маршруты, причем на сети имеются участки, по которым проложено несколько маршрутов (наложение, пересечение маршрутов). Наличие конкурирующих маршрутов приводит к тому, что некоторые пассажирские корреспонденции могут быть обслужены несколькими маршрутами. В результате за счет перераспределения пассажирских корреспонденции количество пассажиров, перевезенных по маршруту, зависит от интенсивности движения: увеличивается с уменьшением интервала движения транспортных средств и наоборот. С другой стороны, снижение интервала движения приводит к уменьшению количества пассажиров, приходящихся на одно транспортное средство. Ограниченный уровень доходов от перевозок (обуславливается действующим пассажирским тарифом и нормативом бюд-



жетных субсидий) определяет уровень финансовых ресурсов, которые могут быть израсходованы на транспортный процесс.

Расчет программы перевозок заключается в определении для каждого маршрута класса подвижного состава и интенсивности (интервала) движения при установленных ограничениях (нормативах) технико – эксплуатационных показателей. Маршруты обслуживаются подвижным составом, предназначенным для городского пассажирского транспорта общего пользования (автобусы Мз класса I).

Качество транспортного обслуживания будем оценивать степенью использования вместимости (наполнением) транспортных средств, при выполнении установленных ограничений интенсивности (интервала) движения по маршруту с учетом уровня финансовых ресурсов, обеспечивающих рентабельную работу перевозчика.

Предельный уровень финансовых ресурсов для выполнения транспортного процесса будем устанавливать через норматив расходов на 1 км пробега транспортного средства по маршруту. Размер бюджетных субсидий сегодня так же, как правило, определяется на 1 км пробега по маршруту. Соизмерение расходов с доходами будем осуществлять через количество пассажиров, приходящихся на 1 км пробега транспортного средства по маршруту. Это позволит определить удельный уровень доходов перевозчика (на 1 км пробега по маршруту).

Таким образом, требуется рассчитать программу перевозок пассажиров по маршрутной сети городского пассажирского транспорта, обеспечивающую удовлетворение целевой функции, минимума коэффициента динамического использования вместимости:

$$\bar{Y}_0 = \frac{\sum_k P_k^q}{\sum_k P r_k^q} \Rightarrow \min \quad (2.1)$$

при следующих ограничениях:

коэффициента использования вместимости подвижного состава:

$$\bar{\gamma}_{\partial k} \leq \gamma_{max} \quad (2.2)$$

интенсивности движения по участкам маршрутной сети:

$$\sum_k a_k \leq a_{ij}^{max}, i \in I_k, j \in I_k \quad (2.3)$$

интенсивности движения по маршруту:

$$a_{min} \leq a_k \leq a_{max} \quad (2.4)$$

экономической эффективности перевозок:

$$q_k^{km} \geq Q_m^{km} \quad (2.5)$$

где  $\bar{\gamma}_{\partial}$  – среднечасовой коэффициент динамического использования вместимости на сети;

$P_k^{\text{ч}}$  – среднечасовая номинальная транспортная работа по k-му маршруту, пасс-км/час;

$P'_k^{\text{ч}}$  – среднечасовая номинальная транспортная работа по k-му маршруту (транспортная работа при полном использовании вместимости подвижного состава), пасс-км/час;

$a_{min}, a_{max}$  – ограничения интенсивности движения подвижного состава по маршрутам, ед./час;

$a_k$  – интенсивность движения по k-му маршруту, ед./час;

$q_k^{km}$  – количество пассажиров на один км пробега подвижного состава по k-му маршруту;

$Q_m^{km}$  – минимальное количество пассажиров на 1 км пробега  $m$ -го класса автобуса (использующегося на  $k$ -м маршруте), обеспечивающее рентабельную работу;

$\gamma_{dk}$  – среднечасовой коэффициент динамического использования вместимости для  $k$ -го маршрута;

$\gamma_{max}$  – предельный коэффициент использования вместимости транспортных средств;

$I_k$  – множество остановочных пунктов  $k$ -го маршрута;

$a_{ij}^{max}$  – ограничение пропускной способности  $ij$  участка маршрутной сети.

В качестве норматива, определяющего рентабельную работу транспортной организации, предлагается использовать количество пассажиров, проходящих на 1 км пробега транспортного средства по маршруту ( $Q_m^{km}$ ), который устанавливается для каждого  $m$ -го класса подвижного состава.

Для решения рассмотренной задачи необходимо варьируя классом транспортных средств и интервалом их движения по маршрутам получить оптимальные значения данных показателей в смысле целевой функции (2.1). Для этого требуется установить метод численного решения поставленной задачи.

## 2.2 Расчет параметров программы перевозок

Для решения поставленной задачи рассмотрим модель маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования, которая позволит осуществлять расчет технико–эксплуатационных показателей его функционирования при известном транспортном спросе, выраженном пассажирскими корреспонденциями. Обычно (например, [53]) маршрутная сеть представляется в виде графа  $G(I, U)$  с набором остановок  $I$  и ребер  $U$ , по которым осуществляется перемещение транспортных средств. Маршрут  $G_i(I_i, U_i)$  является подмножеством  $G$ .

Данная модель маршрутной сети позволяет рассчитать параметры программы перевозок следующим образом:

1 Количество пассажиров, обслуженных  $k$ -м маршрутом, будем определять следующим образом:

$$Q_k = \sum_i \sum_j x_{ij} p_{ij}^k \quad (2.6)$$

где  $Q_k$  – количество пассажиров, обслуженных  $k$ -м маршрутом;

$x_{ij}$  – матрица корреспонденций пассажиров между  $i$ -м и  $j$ -м пунктом маршрутной сети (транспортный спрос, описанный посредством матрицы корреспонденций), пасс.;

$p_{ij}^k$  – вероятность обслуживания  $k$ -м маршрутом,  $ij$ -й корреспонденции.

2 Вероятность обслуживания  $k$ -м маршрутом,  $ij$ -й корреспонденции  $p_{ij}^k$ . На  $p_{ij}^k$  оказывает влияние соотношение интервалов движения транспортных средств разных маршрутов, предпочтения пассажиров, обусловленных параметрами комфортабельности перевозки, степень использования вместимости подвижного состава и другие факторы можно определить по формуле:

$$p_{ij}^k = \frac{a_k c_{ki} c_{kj}}{\sum_n a_n c_{ni} c_{nj}} \quad (2.7)$$

$$\sum_n p_{ij}^k = 1 \quad (2.8)$$

где  $c_{ki}, c_{kj}$  – элементы матрицы соответствия остановочных пунктов маршрутам, принимают значения 0 или единицы, в зависимости от вхождения остановочного пункта в  $k$ -й маршрут;

$a_k, a_n$  – интенсивность движения по  $k$ -му и  $n$ -му маршруту соответственно, ед./час;

$n$  – количество маршрутов.

3 Пассажирооборот к-го маршрута определим по формуле:

$$P_k = \sum_i \sum_j x_{ij} p_{ij}^k l_{ij}^k \quad (2.9)$$

где  $l_{ij}^k$  – длина ij-пассажирской корреспонденции при реализации по к-му маршруту.

4 Количество перевезённых пассажиров, приходящихся на один км пробега транспортного средства m-го класса по маршруту ( $Q_m^{km}$ ):

$$Q_m^{km} = \frac{S_m^{km}}{T_p} \left(1 + \frac{K_p}{100}\right) \quad (2.10)$$

где  $S_m^{km}$  – себестоимость пробега транспортного средства m-го класса по маршруту, руб./км;

$T_p$  – пассажирский тариф, руб.;

$K_p$  – рентабельности деятельности транспортной организации, %.

5 Среднечасовой коэффициент динамического использования вместимости для к-го маршрута:

$$\gamma_{\partial}^k = \frac{P_k^{\text{ч}}}{P_k^{\text{ч}}} = \frac{P_k^{\text{ч}}}{a_k t_{\text{об}} v_{\text{э}} q_k} \quad (2.11)$$

где  $\gamma_{\partial}^k$  – среднечасовой коэффициент динамического использования вместимости для к-го маршрута;

$t_{\text{об}}$  – время оборота по к-му маршруту, час.;

$a_k$  – интенсивность движения по к-му маршруту, ед./час;

$v_{\text{э}}$  – эксплуатационная скорость движения по i-му маршруту, км./час;

$t$  – период времени, за который рассчитывается транспортная работа, час.

6 Среднечасовая транспортная работа ( $P_k^{\text{ч}}$ ) рассчитывается по формуле:

$$P_k^ч = \frac{P_k}{t} \quad (2.12)$$

7 Пробег по маршруту за день определяется как:

$$L_k = L_k^o a_k T_k^m \quad (2.13)$$

где  $L_k^o$  – длина оборота k-го маршрута, км;

$a_k$  – интенсивность движения по k-му маршруту, ед./час;

$T_k^m$  – среднее время на k-м маршруте, час.

8 Коэффициент динамического использования вместимости для k-го маршрута за день работы транспорта:

$$\gamma_{\partial}^k = \frac{P_k^ч}{L_k q_k} \quad (2.14)$$

### 2.3 Нормирование параметров использования вместимости ПС

При движении подвижного состава по маршруту количество пассажиров, находящихся в салоне автобуса, изменяется после посадки-высадки на остановочных пунктах. Таким образом, можно выделить перегон, за которым загрузка автобуса будет максимальной. По действующим правилам перевозок на данном перегоне не должна быть превышена вместимость подвижного состава, установленная производителем. При расчете программы перевозок будем учитывать данное условие в качестве ограничения.

При определении вместимости автобуса действуют нормативы полезной площади в расчете на одного пассажира, составляющие для сидящего пассажира 0,315 м, а для пассажира, передвигающегося стоя 0,125 м, т.е. 8 человек на один квадратный метр площади пола автобуса. Международным союзом общественного транспорта рекомендован норматив 6,6 человек на один квад-

ратный метр. На перспективу рекомендуется использовать норматив 5 человек на 1 м.

Определим нормативный показатель наполнения подвижного состава, за рабочий день, обеспечивающий ограничение по использованию вместимости подвижного состава на наиболее загруженном перегоне. Предположим, что программа перевозок построена так, чтобы выполнить условие: на наиболее напряженном участке маршрута в пиковые периоды количество пассажиров в транспортном средстве не превышает его номинальную вместимость. Определить средний коэффициент использования вместимости за рабочий день, а также рассмотрим его зависимость от других технико-эксплуатационных показателей.

Использование вместимости на наиболее напряженном участке маршрута определяется посредством коэффициента статического использования вместимости ( $\gamma_c = q/q_n$ ), который рассчитывается как отношение фактического количества пассажиров ( $q$ ) в транспортном средстве к его номинальной вместимости ( $q_n$ ).

Таким образом, коэффициент использования вместимости на наиболее впряжённом участке маршрута ( $\gamma_{max}$ ):

$$\gamma_{max} = \frac{q_{max}}{q_n} \leq 1 \quad (2.15)$$

где  $q_{max}$  – максимальное количество пассажиров в салоне автобуса на наиболее напряженном участке маршрута, пасс.;

$q_n$  – номинальная вместимость транспортного средства, пасс.

Пассажирские потоки нестационарны во времени. Определение параметров пассажирских потоков (например, по результатам их обследования) обычно осуществляют по часам суток, представлено на рисунке 2.1.

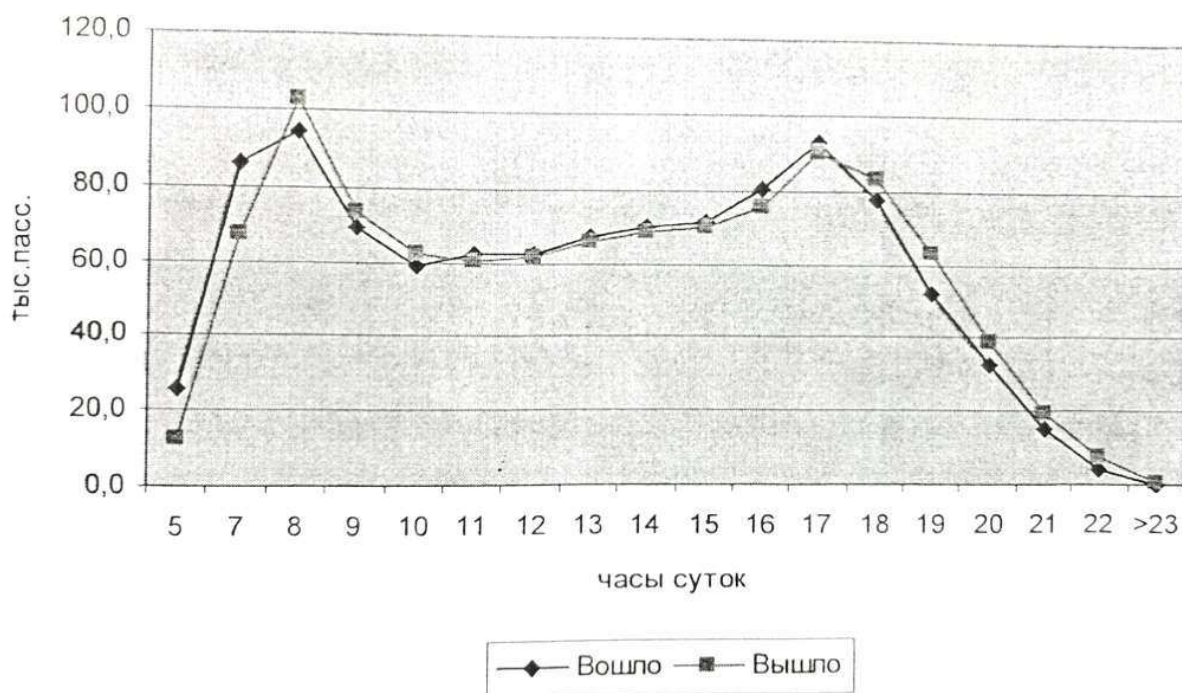


Рисунок 2.1 – Динамика количества перевезенных пассажиров по часам суток (автобус)

Количество пассажиро-мест транспортных средств, проходящих через наиболее напряжённый участок маршрута определяется как сумма номинальных вместимостей транспортных единиц, проходящих через наиболее рассматриваемый участок маршрута за время  $\Delta t$ :

$$Q_{\Delta t}^m = \sum q_n \quad (2.16)$$

Коэффициент динамического использования вместимости можно рассчитывать, как отношение среднего количества пассажиров в транспортном средстве к его номинальной вместимости:

$$\gamma_{\partial} = \frac{\bar{q}}{q_n} \quad (2.17)$$



где  $\gamma_{\partial}$  – коэффициент динамического использования вместимости подвижного состава;

$\bar{q}$  – среднее количество пассажиров в транспортном средстве, пасс;

$q_H$  – номинальная вместимость транспортного средства, пасс.

При определении среднего количества пассажиров в транспортном средстве за рейс  $\bar{q}_p$  следует учесть внутрис часовую неравномерность пассажиропотока и колебания пассажиропотока по длине маршрута:

$$\bar{q}_p = \frac{q_H}{k_{\text{ч}}k_{\text{м}}} \quad (2.18)$$

где  $k_{\text{ч}}$  – коэффициент внутрис часовая неравномерности пассажиропотока;

$k_{\text{м}}$  – коэффициент неравномерности по длине маршрута.

Таким образом, из расчета номинального использования вместимости подвижного состава на наиболее напряженном участке маршрута в пиковый период средний коэффициент использования вместимости за рейс составит:

$$\bar{\gamma}_p = \frac{q_H}{k_{\text{ч}}k_{\text{м}}q_H} = \frac{1}{k_{\text{ч}}k_{\text{м}}} \quad (2.19)$$

Чтобы определить коэффициент использования вместимости в среднем за оборот  $\bar{\gamma}_{\text{об}}$ , необходимо учесть коэффициент неравномерности по направлениям маршрута ( $k_{\text{нм}}$ ):

$$\bar{\gamma}_{\text{об}} = \frac{1}{k_{\text{ч}}k_{\text{м}}k_{\text{нм}}} \quad (2.20)$$

Соотношение между количеством перевезённых пассажиров в пиковый час суток и среднечасовым определяется посредством коэффициента неравномерности по часам осуществления перевозок. Поскольку коэффициент использования вместимости пропорционален количеству перевезённых пасса-

жиров, зависимость среднего коэффициента использования вместимости от программы перевозок определим через коэффициент неравномерности для часа программы перевозок. Программу перевозок будем оценивать через среднее время работы подвижного состава на маршруте. Коэффициент неравномерности пикового часа программы перевозок рассчитаем следующим образом:

$$k_{nc} = \frac{Q_{\text{пик}}^{\text{ч}} \cdot \overline{t_{nc}}}{Q} \quad (2.21)$$

где  $\overline{t_{nc}}$  – среднее время работы транспортной единицы на маршруте, час.;

$Q$  – объём перевозок пассажиров за день работы транспорта;

$Q_{\text{пик}}^{\text{ч}}$  – объём перевозок пассажиров за один час пиковых периодов.

Кроме этого следует учитывать неравномерность скорости сообщения: в пиковые периоды скорость сообщения подвижного состава существенно ниже по сравнению со средней за рабочий день. Для учета данного фактора на норматив коэффициента использования вместимости предлагается использовать коэффициент неравномерности скорости сообщения

$$k_v = \frac{\overline{V}}{V_{\text{пик}}} \quad (2.22)$$

где  $V_{\text{пик}}$  – скорость сообщения в час пик;

$\overline{V}$  – средняя скорость сообщения за рабочий день.

Таким образом, предельный коэффициент динамического использования вместимости ПС при определении программы перевозок рассчитывается по формуле:

$$\overline{\gamma_{\text{сп}}} = \frac{\gamma_{\text{сп}}^{\text{об}}}{k_{nc} \cdot k_v} \quad (2.23)$$

Данный параметр будем использовать в качестве ограничения при решении задачи расчёта оптимальной программы перевозок.

## **2.4 Нормирование пропускной способности маршрутной сети городского пассажирского транспорта**

Минимальное значение интервала движения подвижного состава ограничивается пропускной способностью остановочных пунктов. Максимальное значение интервала движения по конкретному маршруту для крупных городов определено СНИП: 15 минут. Очевидно, что интервал движения транспортных средств обусловлен мощностью пассажиропотока и вместимостью используемого подвижного состава: интервал должен быть установлен таким образом, чтобы исключить превышения вместимости транспортных средств на наиболее напряженном участке сети. По многим участкам сети пролегает несколько маршрутов, что обуславливает постановку задачи нормирования интервала движения по участкам сети, а не маршрутам.

Рассмотрим метод определения минимального значения интервала транспортных средств исходя из пропускной способности наиболее загруженных остановочных пунктов. На практике пропускная способность остановочных пунктов является одним из основных факторов, ограничивающим производительность городского массового пассажирского транспорта общего пользования.

Остановочные пункты городского пассажирского транспорта подразделяются на одиночные, сдвоенные и строенные. Сдвоенные и строенные остановочные пункты имеют более высокую пропускную способность по сравнению с одиночными, при этом фронт посадки и высадки пассажиров увеличивается, что приводит к росту пешеходных передвижений, схемы остановочного пункта представлена на рисунке 2.2, где 1 – карман, 2 – посадочная площадка, 3 – подвижной состав, 4 – остановочный указатель.

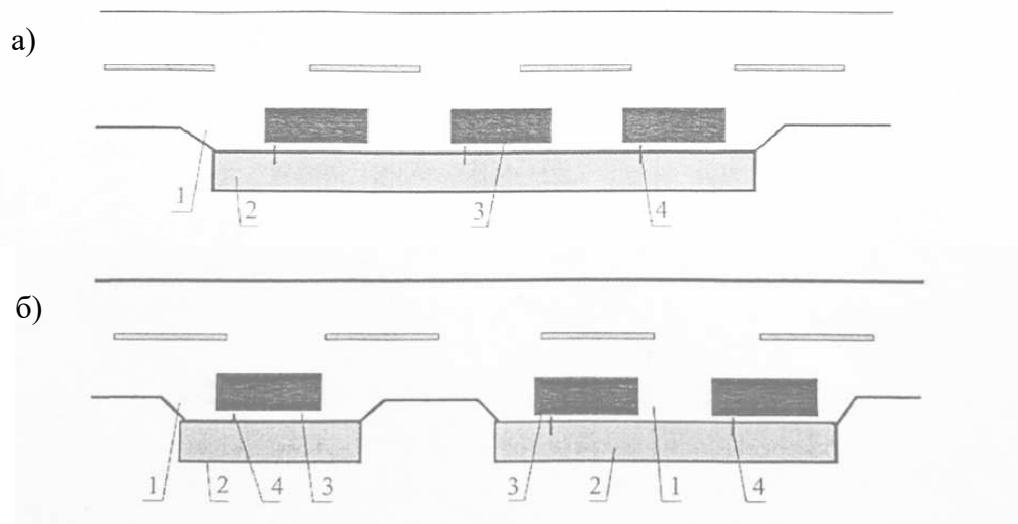


Рисунок 2.2 – Схема остановочных пунктов (а – схема рассредоточенного остановочного пункта, б – схема разделенного остановочного пункта)

Работу остановочного пункта будем описывать как многоканальную однофазовую систему массового обслуживания (СМО) с очередью. Каналом обслуживания является остановочное место для подвижного состава на остановочном пункте. На данную СМО не будем накладывать ограничений ни по длине очереди, ни по времени ожидания. Количество каналов обслуживания  $n$  соответствует количеству остановочных мест транспортных средств на остановочном пункте, схема остановочного пункта как СМО представлена на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Схема остановочного пункта как СМО

В систему поступает поток заявок (подвижного состава) с интенсивностью  $\lambda$ . Поток обслуженных заявок имеет интенсивность  $k_i\mu$ , которая зависит от количества занятых каналов обслуживания. Интенсивность обслуживания является обратной величиной среднего времени обслуживания заявки  $t_{об}$ .

Для установления пропускной способности остановочного пункта определим зависимость вероятности возникновения очереди и среднего количества заявок в очереди от интенсивности потока заявок в системы.

Рассматриваемая СМО является разомкнутой. Для разомкнутых систем массового обслуживания с непрерывным потоком требований и неограниченным временем ожидания обслуживания характерны следующие особенности[54-56]:

- бесконечное число возможных состояний;
- ограниченное число обслуживающих каналов  $p$ ;
- каждый канал способен одновременно обслуживать только одно требование;
- при наличии свободного канала поступающее требование немедленно начинает обслуживаться;
- требование, поступившее в систему в момент, когда все  $p$  каналов обслуживания заняты, становится в очередь ожидания обслуживания;
- теоретически очередь требований, ожидающих обслуживания, бесконечна.

Задача определения показателей функционирования такой системы решается для простейшего потока: при наличии пуассоновского распределения потока требований и показательного закона распределения времени обслуживания.

Поток событий называется простейшим (пуассоновским), если он обладает сразу тремя свойствами:

- стационарность;
- ординарность;
- отсутствие последствий.

Для простейшего потока с интенсивностью  $\lambda$  интервал  $T$  между соседними событиями имеет показательное распределение [54-56]. Предположим, что в нашей задаче распределение потока требований пуассоновское, распределение времени обслуживания показательное.

Будем учитывать, что наличие на остановочном пункте нескольких остановочных мест обеспечивает увеличение пропускной способности этого остановочного пункта, однако это увеличение происходит не пропорционально количеству дополнительных мест [57-60]. По этой причине в работах Миротина Л.Б., Ширяева С.А., Ефремова И.С., Кобазева В.М., Юдина В.А., Гудкова В.А., Вельможина А.В., Зедгенизова А.В., Головных И.М. введено понятие «эффективное количество остановочных мест», которое соответствует условному количеству мест с пропускной способностью первого остановочного места.

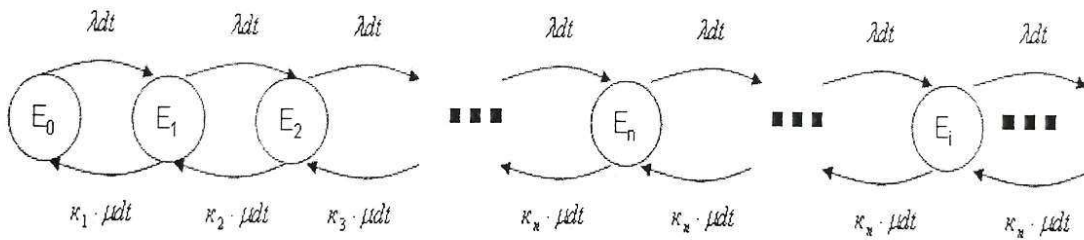
Данные об эффективности остановочных мест в различных публикациях неодинаковы. Так, например, из работы Миротина Л.Б [58]. следует, что, если эффективность работы остановочного пункта с одним остановочным местом принять равной 1, то эффективность работы второго и третьего остановочного места 0,8 и 0,7 соответственно, т.е. на остановочном пункте с двумя остановочными местами их эффективное количество составляет 1,8, тремя - 2,5.

Таким образом, интенсивность обслуживания, если занято  $i$  каналов определяется как:

$$\mu_i = k_i \mu \quad (2.24)$$

где  $k_i$  – эффективное число каналов обслуживания.

Возможные состояния системы определяются по количеству заявок в ней. На рисунке 2.4 представлены возможные состояния системы.



$k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$  - эффективное количество мест для остановки ТС на остановочном пункте с учетом эффективности их работы

Рисунок 2.4 – Возможные состояния системы

Определим параметры СМО при установившемся режиме. Вероятность нахождения системы в  $i$ -м состоянии  $P_i$  определяется следующей системой уравнений, имеющей бесконечное число членов:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 = \frac{\rho}{k_1} \cdot P_0 \\ P_2 = \frac{\rho}{k_2} \cdot P_1 = \frac{\rho^2}{k_1 \cdot k_2} \cdot P_0 \\ \dots \\ P_n = \frac{\rho}{k_n} \cdot P_{n-1} = \frac{\rho^n}{\prod_{i=1}^n k_i} \cdot P_0 \\ \dots \\ P_i = \frac{\rho}{k_i} \cdot P_{i-1} = \frac{\rho^i}{\prod_{j=1}^i k_j \cdot k_n^{i-n}} \cdot P_0, i > n \end{array} \right. \quad (2.25)$$

Начиная с  $i=n$ , последовательность значений  $P_i$  образуют бесконечную геометрическую прогрессию со знаменателем  $\frac{\rho}{k_n}$ . Прогрессия будет сходиться только в случае если знаменатель прогрессии окажется меньше единицы. При значении знаменателя прогрессии больше единицы очередь в системе будет расти неограниченно.

Определим вероятность требований в системе. Сумма всех вероятностей состояния системы равна единице и может быть записана следующим образом:

$$\sum_{i=0}^{\infty} P_i = \sum_{i=0}^n P_i + \sum_{i=n+1}^{\infty} P_i = 1 \quad (2.26)$$

Определим первую составляющую приведённого выше уравнения:

$$\sum_{i=0}^n P_i = P_0 + \frac{\rho}{k_1} \cdot P_0 + \frac{\rho^2}{k_1 \cdot k_2} \cdot P_0 + \frac{\rho^3}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3} \cdot P_0 + \dots + \frac{\rho^n}{\prod_{i=1}^n k_i} \cdot P_0 = P_0 \left( 1 + \sum_{i=1}^n \frac{\rho^i}{\prod_{i=1}^n k_i} \right) \quad (2.27)$$

Вторая составляющая уравнения 2.26 представляет собой сумму бесконечно убывающей геометрической прогрессии с начальным членом  $P_{n+1}$  и значением знаменателя  $\frac{\rho}{k_n}$ :

$$\sum_{i=n+1}^{\infty} P_i = P_0 \frac{\rho^{n+1}}{\prod_{i=1}^n k_i \cdot (k_n - \rho)} \quad (2.28)$$

Тогда

$$\sum_{i=0}^{\infty} P_i = P_0 \left( 1 + \sum_{i=1}^n \frac{\rho^i}{\prod_{i=1}^n k_i} \right) + P_0 \frac{\rho^{n+1}}{\prod_{i=1}^n k_i \cdot (k_n - \rho)} = 1$$

Откуда вероятность отсутствия требований в системе определим по формуле:

$$P_0 = \left( 1 + \sum_{i=1}^n \frac{\rho^i}{\prod_{i=1}^n k_i} + \frac{\rho^{n+1}}{\prod_{i=1}^n k_i \cdot (k_n - \rho)} \right)^{-1} \quad (2.29)$$

Занятость всех каналов системы или наличие в системе  $n$  и более требований означает наличие очереди. Вероятность появления очереди ( $P_{ож}$ ) можно рассчитать по формуле:

$$P_{ож} = \sum_{i=n}^{\infty} P_i \quad (2.30)$$



Тогда

$$P_{\text{ож}} = P_0 \frac{\rho^n}{\prod_{i=1}^n k_i} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{\rho}{k_n}\right)} \quad (2.31)$$

Среднюю длину очереди можно рассчитать по формуле:

$$L_{\text{оч}} = P_0 \frac{\rho^{n+1}}{\prod_{i=1}^{n-1} k_i \cdot (k_n - \rho)^2} \quad (2.32)$$

среднее время ожидания в очереди:

$$T_{\text{ож}} = \frac{L_{\text{оч}}}{\lambda} \quad (2.33)$$

Приведённая математическая модель позволяет рассчитывать пропускную способность остановочного пункта и на этой основе нормировать интенсивность движения подвижного состава по маршрутной сети.

Очевидно, что время простоя подвижного состава на остановочном пункте зависит от его пассажирооборота. Рассмотрим задачу определения средней интенсивности обслуживания транспортных средств при изменчивом пассажирообороте остановочного пункта. Время простоя на промежуточных остановках прямо пропорционально числу входящих и выходящих пассажиров. Процесс работы остановочного пункта состоять из следующих операций[58]:

- заезд на остановочный пункт;
- открытие и закрытие дверей;
- посадка и высадка пассажиров;
- освобождение остановочного пункта.

Таким образом, общее время занятия остановочного пункта транспортной единицы ( $T_0$ ) можно определить по формуле:

$$T_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad (2.34)$$

где  $t_1$  – время затраченного на манёвр заезда, на остановочный пункт, с;

$t_2$  – время затраченного на открытие и закрытые дверей, с;

$t_3$  – время, затраченное на посадку и высадку пассажиров, с;

$t_4$  – время, затраченное на освобождение остановочного пункта, с.

Время, затраченное на подход и остановку, предлагается определять по формуле:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2l}{b}} \quad (2.35)$$

где  $l$  – промежуток безопасности между транспортными единицами при подходе к остановке, м;

$b$  – замедление при торможении, м/с<sup>2</sup>.

Экспериментально установлено, что время посадки и высадки пассажиров  $t_3$ , в отличие от существующих рекомендаций, должно включать дополнительный компонент, отражающий время необходимое водителю на принятие решения о закрытии дверей [61, 62]. Таким образом, для расчета  $t_3$  следует использовать:

$$t_3 = \frac{(q_{\text{вх}} + q_{\text{вых}}) \cdot t_{\text{пасс}} \cdot k_{\text{нд}}}{n_{\text{д}}} + t_{\text{прр}} \quad (2.36)$$

где  $q_{\text{вх}}$ ,  $q_{\text{вых}}$  – среднее количество входящих и выходящих пассажиров соответственно, пасс.;

$t_{\text{пасс}}$  – время, затраченное одним пассажиром, на вход или выход, с;

$n_{\text{д}}$  – количество дверей;

$t_{\text{прр}}$  – время необходимое водителю на принятие решения о закрытии дверей;

$k_{\text{н}\partial}$  – коэффициент неравномерности посадки и высадки пассажиров по дверям транспортного средства.

Время, затраченное на освобождение остановочного пункта, можно рассчитать по формуле [63]:

$$t_4 = \sqrt{\frac{2l_0}{a}} \quad (2.37)$$

где  $l_0$  – промежуток безопасности между транспортным средством, отходящим от остановочного пункта и транспортным средством, приближающимся к остановочному пункту, м;

$a$  – ускорение при трогании с места,  $\text{м/с}^2$ .

## 2.5 Выводы по второй главе

1 Разработанная математическая модель оптимизации структуры парка ПС ГПТ по критерию минимума коэффициента динамического использования вместимости подвижного состава при известном транспортном спросе, учитывающая взаимное наложение маршрутов, позволяет сформулировать условия задачи определения оптимального сочетания подвижного состава на маршрутной сети городского пассажирского транспорта.

2 Установленные зависимости среднего коэффициента динамического использования вместимости подвижного состава от пассажирских потоков, времени работы транспортной единицы на маршруте, неравномерности скорости сообщения позволяют определять нормативные значения коэффициента использования вместимости подвижного состава с учетом конкретных параметров транспортного процесса.

3 Разработанная математическая модель функционирования остановочного пункта городского пассажирского транспорта как многоканальной однофазовой системы массового обслуживания с очередью позволила установить зависимости пропускной способности остановочных пунктов от количества остановочных мест и параметров потоков подвижного состава городского пассажирского транспорта, что позволяет определять значение максимально допустимой интенсивности движения по участкам маршрутной сети, и на этой основе осуществлять нормирование интенсивности движения подвижного состава по участкам сети.

### **3 Методики исследований функционирования модульной сети городского пассажирского транспорта (автобусов)**

#### **3.1 Методика обследования пассажирских потоков**

Для того чтобы решить поставленные задачи в магистерской диссертации, необходимо определить технико-эксплуатационные показатели транспортной системы. По результатам обследования пассажирских потоков определены технико-эксплуатационные показатели.

Обследование пассажиропотоков осуществлено табличным методом. Процесс обследования делим на 3 этапа:

- подготовительная работа;
- собственно обследование;
- обработка результатов.

Первый подготовительный этап:

1 Осуществляется сбор информации о маршрутах общественного транспорта и ввод данных в компьютерную базу данных (БД) маршрутной сети. В БД заносится следующая информация:

- номер маршрута, начальный и конечный пункты;
- длина маршрута и время оборота;
- количество транспортных средств, обслуживаемых маршрут;
- перечень (номер и наименование) промежуточных остановочных пунктов, входящих в маршрут.

Данная информация используется для:

- планирования числа учетчиков, необходимых для проведения обследования;
- автоматизированной печати листов обследования.

2 Разработка входных форм и программного обеспечения для обработки результатов обследования. Входные формы представляют собой комплект

первичных документов, в которых фиксируются данные обследования. Основные документы данного комплекта это:

- лист обследования, представлен на рисунке А.1 приложения А;
- журнал учета транспортных средств, прибывающих на конечный остановочный пункт;
- журнал учета транспортных средств, убывающих из конечного остановочного пункта;
- журнал учета движения листов обследования.

Лист обследования служит для фиксирования первичной информации по перевозке пассажиров за каждый рейс транспортного средства. Журналы учета прибывающих и убывающих транспортных средств, предназначены для контроля полноты охвата выполненных рейсов городского пассажирского транспорта.

Определение количества льготных пассажиров осуществляется путем фиксирования номеров билетов у кондукторов в начале и в конце рейса: разница между количеством перевезенных пассажиров и количеством пассажиров, оплативших проезд, считается количеством льготных пассажиров. Для названных параметров в листе обследования предусмотрены соответствующие графы.

Контроль качества заполнения анкет обследования осуществляется с применением следующих процедур:

- аналитических методов определения корректности результатов обследования;
- выборочного контроля работы учетчиков с привлечением персонала Заказчика.

3 Разработка и согласование организационно-процедурных мероприятий по обеспечению доставки учетчиков до подвижного состава и других вопросов. На данном этапе разрабатываются и согласовываются:

- маршруты доставки учетчиков в соответствующие пункты к началу обследования;

- регламенты управления обследованием;
- правила обеспечения безопасности работы учетчиков.

Второй этап (собственно обследование): проводится сплошное обследование (на всех транспортных средствах) в рабочие дни по специальному графику.

Управление процессом обследования осуществляется из транспортных парков (муниципальный транспорт) или из конечных пунктов маршрутов специально подготовленными сотрудниками. Задачами данных сотрудников являются:

- организация доставки учетчиков;
- посадка учетчиков в транспортные средства;
- фиксирование прибытия-отправления транспортных средств в специальных журналах;
- контроль за правильностью заполнения листов обследования;
- сбор листов обследования по завершению работы.

В процессе обследования в подвижном составе у каждой двери находятся учетчики, которые на остановочных пунктах подсчитывают количество входящих и выходящих пассажиров, занося эти данные в листы обследования.

В листах обследования фиксируется:

- дата обследования;
- направление движения (прямое, обратное);
- номер маршрута, начальный и конечный пункты;
- марка и государственный номер транспортного средства;
- время отправления из начального пункта;
- время прибытия в конечный пункт;
- номер первого билета катушки кондуктора в начале и в конце рейса;
- замечания учетчика о выполненной перевозке (состояние салона транспортного средства, выполнение правил пассажирских перевозок и т.д.).

Последний реквизит (замечания учетчика) является необязательным и заполнялся учетчиками по желанию.

Третий этап (обработка результатов) полученные анкеты с помощью специально разработанной программы вводят в базу данных для контроля и обработки.

Для хранения и обработки результатов обследования используются следующие реляционные отношения СУБД MicrosoftAccess:

*TripR*{*Id, Rt, IdMod, NbSt, IdDir, TmB, TmE, L*}, в котором фиксируются Id рейса, номер маршрута, Id модели транспортного средства, государственный номер, направление движения (прямое или обратное), начало рейса, окончание рейса, длина рейса;

*TripRIt*(*Id, NbRec, PsO, PsI, SmO, SmI, PsSm*), в котором фиксируются Id рейса, номер остановки в рейсе, количество вошедших пассажиров на остановке, количество вышедших пассажиров на остановке, суммарное количество вошедших пассажиров с начала рейса, суммарное количество вышедших пассажиров с начала рейса, количество пассажиров в транспортном средстве.

Введенные данные проверяются на корректность по признакам:

- баланса между входящими и выходящими пассажирами;
- количества пассажиров в транспортных средствах на перегоне;
- процедур выявления копий заполненных анкет.

Выбракованные и «потерянные» рейсы корректируются через поправочные коэффициенты.

Расчет технико-эксплуатационных показателей функционирования системы городского пассажирского транспорта осуществляется посредством языка SQL с использованием специально разработанных запросов. Например, на рисунке 3.1 дан запрос, посредством которого осуществляется свод данных по маршрутам, т.е. определение количества рейсов, времени работы на маршруте, количества вышедших и вошедших пассажиров и др.



```

SELECT DISTINCT RT, COUNT(f) as Nb, SUM(Tm) as TmSm, SUM(NbO)
as NbOSm,
SUM(Nbl) as NbISm, SUM(L) as LSm, SUM(MxPs * L) as MKmSm,
SUM(Pkm) as PKmSm
FROM TripR
WHERE
(IDMOD>0.0)
GROUP BY RT
ORDERBYRT

```

Рисунок 3.1 – Запрос SQL для расчета свода по маршрутам

Для анализа качества транспортного обслуживания посредством SQL запросов рассчитываются следующие технико-эксплуатационные показатели:

- количество транспортных средств, обслуживающих маршрут;
- средняя вместимость транспортного средства, пасс;
- минимальный интервал движения по маршруту, мин.;
- количество выполненных рейсов;
- время работы на маршруте, час;
- количество перевезенных пассажиров;
- пробег по маршруту, км;
- выполненная транспортная работа, пасс-км;
- скорость сообщения, км/час;
- количество перевезенных пассажиров за рейс;
- количество перевезенных пассажиров за 1 км пробега по маршруту;
- количество перевезенных пассажиров за 1 час работы на маршруте;
- коэффициент динамического использования вместимости подвижного состава;
- средняя дальность поездки пассажира, км;
- коэффициент сменности пассажиров.

### 3.2. Анализ работы остановочных пунктов

По результатам обследования пассажирских потоков определяется пассажирооборот остановочных пунктов. Остановочные пункты в зависимости от интенсивности пассажирооборота группируются следующим образом:

- первая группа - узловые остановочные пункты (остановочные пункты с интенсивным пассажирооборотом более 15 000 пассажиров в сутки);
- вторая группа - обычные остановочные пункты (остановочные пункты со средним пассажирооборотом от 5 000 до 15 000 пассажиров в сутки);
- третья группа - малодейственные остановочные пункты (до 5 000 пассажиров в сутки).

Для определения закономерностей случайных процессов функционирования остановочных пунктов необходимо провести обследование остановочных пунктов на наиболее напряженных участках маршрутной сети.

В настоящей работе остановочный пункт рассматривается как система массового обслуживания. При обследовании фиксируется время поступления автобуса (заявки на обслуживание), момент постановки заявки в очередь (если все каналы заняты), момент начала обслуживания, количество автобусов в очереди, количество занятых мест (каналов) обслуживания, момент убытия автобуса (завершения обслуживания). Результаты обследования записываются в специальной таблице.

Объем репрезентативной выборки необходимый и достаточный для получения достоверных результатов можно рассчитать, используя следующее выражение [64]:

$$n = \frac{t^2}{K^2} \quad (3.1)$$

где:  $n$ – объем выборки в планируемом исследовании;

$t$ – число сигм, соответствующее показателю вероятности, достаточной в планируемом исследовании;

$K$  – допустимая неточность в данном эксперименте, выраженная в сигмах.

Для исследований средней точности, величина  $K$  может быть принята в размере от 0,1 до 0,3. Показатель вероятности  $t$  для доверительной вероятности  $P=0,95$ , может быть принята в размере  $t=1,96$ .

Результаты замеров представляются в виде гистограмм. На основании гистограмм выдвигают гипотезу о законе распределения потока заявок и процесса их обслуживания.

Рассматриваемые процессы являются простейшими, т.е. подчиняется закону Пуассона. Поток событий является простейшим, если выполняются следующие требования [64]: поток является стационарным, ординарным, без последствия.

Свойство стационарности заключается в следующем: вероятность появления  $k$  событий на любом промежутке времени зависит только от числа этих событий и от длительности промежутка времени и не зависит от начала его отсчета.

Свойство отсутствия последствия характеризуется тем, что вероятность появления  $k$  событий на любом промежутке времени не зависит от того, появлялись или не появлялись события в моменты времени, предшествующие началу рассматриваемого промежутка. Таким образом, предыстория потока не сказывается на его поведении в ближайшем будущем [64].

Свойство ординарности означает, что появление двух или более событий за малый промежуток времени практически невозможно. Другими словами, вероятность появления более одного события пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью появления только одного события [64].

Для удовлетворения данных условий, будем рассматривать функционирование остановочного пункта в установившемся режиме. Обработка данных содержит следующие этапы:

- построение интервального ряда и эмпирических кривых распределения;

- определение числовых характеристик (статистик) эмпирического распределения;
- приближенное определение доверительных границ и интервалов;
- выбор теоретического распределения;
- определение оценок параметров теоретического распределения;
- проверка согласия.

Построение ряда распределения представляет собой первичную обработку статистических данных. Он строится по частотам (статистическим вероятностям) на основе наблюдения. При построении интервального ряда важно правильно выбрать количество интервалов. Согласно рекомендациям [64] количество интервалов берут равным 7 или 9 в зависимости от числа наблюдений и точности измерений.

После выбора количества интервалов необходимо определить ширину интервала  $h$ , которая определяется путем деления размаха варьирования  $R$ , равного разности между наибольшим и наименьшим значениями признака, на количество интервалов [64].

$$h = \frac{R}{l} = \frac{X_{\text{наиб}} - X_{\text{наим}}}{l} \quad (3.2)$$

где:  $h$  - ширина интервала;

$R$  - размах варьирования;

$l$  - количество интервалов;

$X_{\text{наиб}}$  - наибольшее значение признака;

$X_{\text{наим}}$  - наименьшее значение признака. Доверительные границы определяют область, в которой с достаточно большой степенью вероятности находится неизвестная теоретическая функция распределения  $F_T(X)$ . Определим для нее верхнюю и нижнюю доверительные границы [64].

Доверительные границы определяют по выражениям:

- верхняя граница  $F_e(x) < 1$  определяется по формуле [64]:

$$F_e(x) = F_3(x) + D_n \quad (3.3)$$

- нижняя граница  $F_H(x) > 0$  определяется по формуле [64]:

$$F_H(x) = F_3(x) - D_n \quad (3.4)$$

где  $D_n$  - некоторая величина удовлетворяющая уравнению, что функция распределения будет лежать в области ограниченной доверительными границами.

$$F_3(x) = P_H \quad (3.5)$$

Для определения доверительных границ задаются значением доверительной вероятности и по таблицам [64] определяют значение  $X_n$ .

Для доверительной вероятности равной 0,90,  $A^*=1,22$ [64].

$$D_n = \frac{\lambda_n^*}{\sqrt{n}} \quad (3.6)$$

Определяются доверительные границы для неизвестной теоретической функции распределения.

Рассмотрим порядок определения параметров простейших процессов. Рассмотрим гипотезу  $H_0$ , что проведенные наблюдения представляют собой независимые случайные величины каждая из которых имеет распределение Пуассона, т.е что [64]:

$$p(k) = \frac{\bar{k}^k e^{-\bar{k}}}{k!} \quad (3.7)$$

где:  $p(k)$ - вероятность попадания случайной величины в  $k$ -й интервал;  $k$  - параметр распределения.

Параметр  $k$  можно оценивать как выборочное среднее, определяемое по формуле [64]:

(3.8)

$$\bar{k} = \frac{\sum k n_k}{\sum n_k}$$

В качестве критерия согласия проверки гипотезы о предполагаемом распределении используем критерий согласия  $\chi^2$ . Рассмотрим распределение, полученное для первого места, в котором получено  $n$  независимых измерений случайной величины  $X$  разбитых на  $k$  интервалов. Рассчитаем теоретическое число значений  $X$  в  $i$ -м интервале  $np_i$ , где  $p_i$  - вероятность попадания случайной величины в  $i$ -й интервал [64].

Если экспериментальные частоты  $n_i$  сильно отличаются от теоретических  $np_i$ , то гипотезу о согласии теории и эксперимента следует отвергнуть. В качестве меры расхождения между теорией ( $np_i$ ) и экспериментом ( $n_i$ ) используют критерий [64]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \quad (3.9)$$

где  $k$  – количество интервалов.

Если из таблиц [64] значения  $\chi^2$  при различных  $P_x$  соответствует доверительной вероятности  $P=0,95$  (или 5% уровню статистической значимости), то можно утверждать с вероятностью ошибки 5%, что выборка совместима с совокупностью.

Среднюю интенсивность обслуживания рассчитаем по формуле[64]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k f_i x_i}{n} \quad (3.10)$$

где  $\bar{x}$  – среднее значение интенсивности обслуживания,

$f_i$  – частота попадания в данный интервал;

$x$  – серединное значение  $i$ -го интервала;

$k$  – число интервалов;

$n$  – объем выборки.

### 3.3 Методика расчета программы перевозок

Алгоритм определения оптимальной структуры парка подвижного состава городского пассажирского транспорта реализуется в компьютерной программе на языке программирования Delphi с использованием реляционной СУБД MicrosoftAccess.

В базе данных маршруты описываются следующими реляционными отношениями:

$RtLst(Nb, L, To)$  – список маршрутов,

где  $Nb$  – номер маршрута;

$L$  – длина маршрута, км;

$To$  – время оборота, час.

$TripLst(Nb, Dir, L, Vc)$  – список рейсов,

где  $Dir$  – направление (А или В);

$L$  – длина рейса, км;

$Vc$  – скорость сообщения, км/час.

$RtIt(Nb, Dir, NbRec, Id, L, Lsm, Nm)$  – перегоны маршрутов,

где  $NbRec$  – номер перегона;

$Id$  – идентификатор остановочного пункта;

$Nm$  – наименование остановочного пункта;

$L$  – длина перегона, км;

$Lsm$  – расстояние от первого пункта рейса, км;

Транспортный спрос (матрица пассажирских корреспонденции) представлен следующим отношением:  $TrCorrM (IdBBS, IdEBS, NbPs, PsKm)$ ,

где  $IdBBS$  – остановочный пункт начала поездки;

$IdEBS$  – остановочный пункт назначения;

$NbPs$  – количество поездок;

$PsKm$  – пассажирооборот, пасс-км.

На сети имеются конкурирующие маршруты, т.е. некоторые пассажирские корреспонденции могут быть реализованы через несколько маршрутов.

В расчетах используется матрица пассажирских корреспонденции, полученная из транзакций безналичного расчета за проезд в городском пассажирском транспорте.

В результате обработки транзакций безналичного расчета формируется средневзвешенная матрица пассажирских корреспонденции за рабочий день. Каждый элемент данной матрицы определен следующим образом:

$$\bar{x}_{ij} = \sum_d x_{ij}^d / N_p, \quad d \in D_p \quad (3.11)$$

где  $x_{ij}$  - количество корреспонденции между остановочными пунктами  $i$  и  $j$  за  $d$ -й день;

$N_p$  – количество рабочих дней в расчетном периоде;

$D_p$  – множество рабочих дней в расчетном периоде.

В процессе расчета фиксируются варианты допустимой программы перевозок, которые описываются посредством следующих реляционных отношений:

$Var(Id, Lsm, Ps, PsKm, MKm, Anb, Kv, Ps\_Km, OK)$  – интегрированные данные,

где  $Id$  – идентификатор;

$Lsm$  – суммарный пробег по маршрутам, км;

$Ps$  – количество пассажиров, пасс;

$PsKm$  – транспортная работа, пасс-км;

$MKm$  – суммарное количество место-километров;

$Anb$  – общее количество автобусов;

$Kv$  – средний коэффициент использования вместимости по сети;

$Ps\_Km$  – среднее количество пассажиров, приходящихся на один километр пробега по маршрутам, км;

$OK$  – служебный атрибут.

$Varlt(ld, Nb, a, AO, NbPs, PsKm, L, PlcKm, Kv, Ps\_Km, ACI, ANb, Wk)$  – программа перевозок в разрезе маршрутов



где  $N_b$  – номер маршрута;  
 $a$  – интенсивность движения по маршруту, ед/час;  
 $AC1$  – класс транспортного средства;  
 $N_b P_s$  – количество пассажиров;  
 $P_s K_m$  – пассажирооборот, пасс-км;  
 $L$  – пробег по маршруту, км;  
 $P_l c K_m$  – количество место-километров;  
 $K_v$  – коэффициент динамического использования вместимости;  
 $P_s \_ K_m$  – количество пассажиров, приходящихся на один километр пробега по маршруту, пасс/км;  
 $AC11$  – класс подвижного состава, определенный на первом шаге расчета;  
 $AN_b$  – количество подвижного состава на маршруте, ед.;  
 $W_k$  – служебный атрибут.

Автобусы по вместимости делятся на следующие классы: особо большой, большой, средний, малый, особо малый. При выполнении проектных расчетов некоторое неудобство представляет использование автобусов среднего класса, которые имеют широкий диапазон вместимостей. В этой связи в настоящей работе средний класс автобусов подразделяется на два подкласса: средний (вместимостью 75 пассажиров) и средний 1 (вместимостью 50 пассажиров).

Для каждого класса автобуса устанавливается минимальное значение количества пассажиров на один километр пробега по маршруту, которое обеспечивает рентабельную работу транспортной организации.

### **3.4 Нормирование использования вместимости подвижного состава городского пассажирского транспорта**

Для проведения экспериментальных исследований технико-эксплуатационных показателей использовались данные обследования пассажиропотоков в городе Красноярске, методика которого описана в п. 3.1.

Необходимые для нормирования коэффициента использования вместимости подвижного состава параметры пассажирских потоков, полученные в результате обследования, даны в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Параметры пассажирских потоков города Красноярска

Параметр	Значение
Коэффициент внутрисуточной неравномерности пассажирских потоков ( $k_u$ )	1,1
Коэффициент неравномерности распределения транспортной нагрузки по длине маршрута ( $k_m$ )	1,9
Коэффициент неравномерности по направлениям маршрута ( $k_n$ )	1,16

Используя предложенную методику расчета получено, что коэффициент динамического использования вместимости за один оборот по маршруту в пиковый период не может быть выше 0,41, иначе на наиболее загруженном перегоне маршрута будет наблюдаться превышение вместимости подвижного состава.

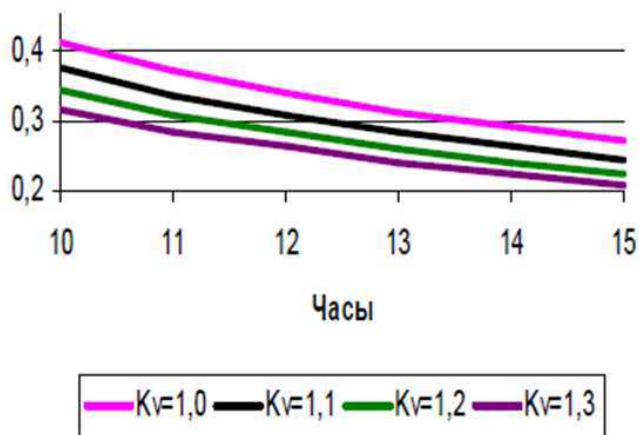


Рисунок 3.1 – Зависимость среднего коэффициента использования вместимости за день работы транспорта от среднего времени работы подвижного состава и неравномерности скорости сообщения  $K_v$ .

Зависимости, приведенные в табл. 3.2 действительны при условии использования подвижного состава в обоих пиковых периодах, т.е. среднее время работы подвижного состава на линии не может быть менее 10 часов.

Таблица 3.2 – Зависимость среднего коэффициента использования вместимости за день работы транспорта от среднего времени работы подвижного состава и неравномерности скорости сообщения

Среднее время работы транспортной единицы, час.	Коэффициент неравномерности пикового периода	Средний коэффициент использования вместимости за рабочий день			
		$K_{v=1,0}$	$K_{v=1,1}$	$K_{v=1,2}$	$K_{v=1,3}$
10	1,01	0,41	0,37	0,34	0,31
11	1,11	0,37	0,34	0,31	0,28
12	1,21	0,34	0,31	0,28	0,26
13	1,31	0,31	0,28	0,26	0,24
14	1,41	0,29	0,26	0,24	0,22
15	1,51	0,27	0,24	0,22	0,21

### 3.5 Оценка работоспособности алгоритма расчета оптимальной структуры парка ПС (автобусов) на примере абстрактной маршрутной сети

Для того чтобы оценить работоспособности алгоритма расчета оптимальной структуры парка ПС рассмотрим абстрактную маршрутную сеть, состоящую из четырех вершин. На сети организованы следующие два маршрута: маршрут №1 включает пункты 1,2,3; маршрут №2 - пункты 1, 2 и 4. Матрица пассажирских корреспонденции по данной сети приведена в табл. 3.3.

Заданы следующие ограничения задачи:

- интервал движения находится в пределах от 2 до 10 минут, т.е. интенсивность движения по маршруту:  $2 < a_1 < 10$ ;

Таблица 3.3 – Матрица пассажирских корреспонденции, пас./час

Пункт отправления	Пункт прибытия				ИТОГО
	1	2	3	4	

1	0	200	100	200	500
2	200	0	50	100	350

Окончание таблицы 3.3

Пункт отправления	Пункт прибытия				ИТОГО
	1	2	3	4	
3	100	50	0	0	150
4	200	100	0	0	300
ИТОГО	500	250	150	300	1300

Таблица.3.4 – Классы подвижного состава

Класс	Вместимость	Минимальное значение пасс/км
Большой	100	3,0
Средний	75	2,0

В поставленной задаче оба маршрута равнозначны для пассажира по техническим параметрам транспортных средств, тарифам и качеству обслуживания. Таким образом, будем считать, что пассажир, находящийся на остановке, выбирает первое прибывающее транспортное средство, маршрут которого проходит через пункт назначения пассажира. Следовательно, количество перевезенных пассажиров определенного маршрута прямо пропорционально количеству выполненных рейсов или частоте движения автобусов по маршруту.

Результаты решения задачи приведены в таблице Б.1 приложения Б. В данной таблице вариант 1 (подготовительный этап алгоритма) - это программа перевозок при максимальном интервале, равном 10 минутам и подвижном составе большой вместимости.

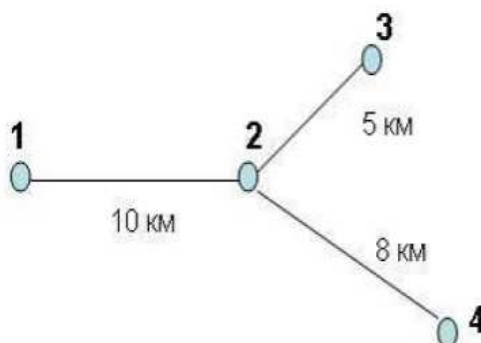


Рисунок 3.5 – Схема абстрактной маршрутной сети

В варианте 2 снижаем вместимость транспортных средств на маршруте 1, поскольку для него не выполняется ограничение по количеству пассажиров, приходящихся на один километр пробега: по расчету 2,8, минимальное значение 3,0.

В варианте 3 увеличивается интенсивность движения по маршруту 2. В результате возникла необходимость уменьшить вместимость подвижного состава для данного маршрута, т.к. не выполняется ограничение по количеству пассажиров на километр пробега (вариант 3).

Таким образом, сформировано 12 вариантов расчета. На последнем 12 варианте расчет завершен, поскольку достигнуто ограничение по вместимости и количеству пассажиров на километр пробега по маршруту 1.

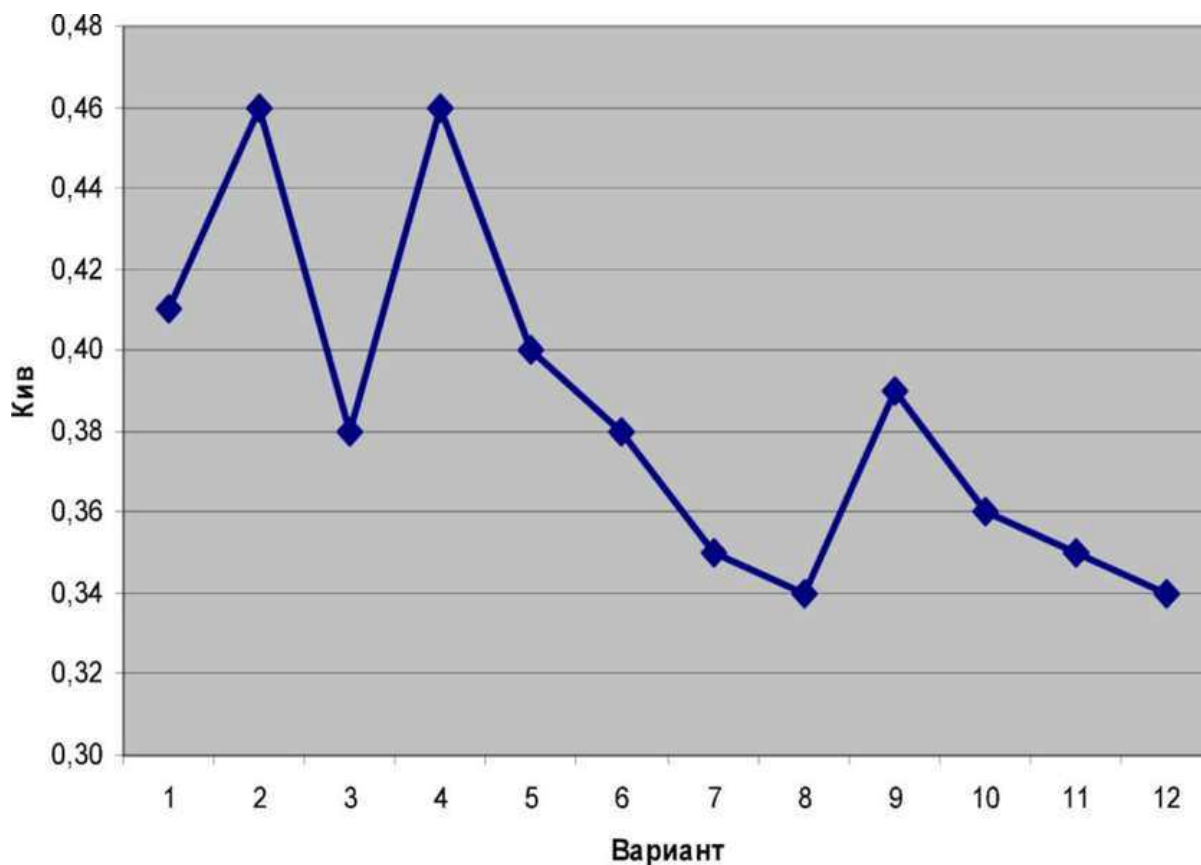


Рисунок 3.6 – Зависимость коэффициента динамического использования вместимости от варианта программы перевозок

Из рисунка видно, что в рассматриваем случае существует два равнозначных варианта по значению коэффициента динамического использования

вместимости - это вариант 7 и вариант 11 (варианты 8 и 12 не рассматриваются, т.к. не выполняется ограничение по количеству пассажиров на один километр пробега по маршруту).

### **3.6 Выводы по третьей главе**

1 Дан анализ методики проведения обследования пассажирских потоков для условий автоматизированной обработки данных. По результатам обследования получают следующие данные, которые используются в дальнейших расчетах:

- анализ работы маршрутов и остановочных пунктов;
- основные технико-эксплуатационные показатели работы транспортных средств;
- пассажирские корреспонденции.

2 Разработана методика обследования работы остановочных пунктов для определения параметров пропускной способности в зависимости от количества остановочных мест и параметров процесса обслуживания ПС.

3 Проведена оценка работоспособности алгоритма расчета оптимальной структуры парка автобусов на примере абстрактной маршрутной сети.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования на тему «Определение рациональной структуры парка автобусов городского пассажирского транспорта» были рассмотрены основные задачи, а также мероприятия по их решению для оптимизации рациональной структуры парка автобусов.

В работе был проведен анализ параметров качества транспортного обслуживания населения автобусами городского пассажирского транспорта, который показал, что наиболее важными параметрами эффективности являются:

- регулярность движения транспортных средств;
- наполнение подвижного состава (автобусов);
- интервал движения;
- информационное обеспечение;
- безопасность движения.

В основной части диссертационного исследования проведены следующие мероприятия:

- разработана математическая модель для расчета программы перевозок пассажиров;
- сформулирован алгоритм решения задачи определения оптимальной программы перевозок пассажиров на маршрутной сети;
- проведены исследования функционирования модульной сети городского пассажирского транспорта (автобусов);
- установлена зависимость пропускной способности остановочных пунктов и параметров процесса обследования ПС на остановочном пункте;
- дана оценка работоспособности алгоритма расчета оптимальной структуры парка ПС (автобусов) на примере абстрактной маршрутной сети.



## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГПГ – городской пассажирский транспорт;

ПС – подвижной состав;

м<sup>2</sup> – метров квадратных;

м – метр;

СНИП – Строительные нормы и правила;

СМО – система массового обслуживания;

БД – база данных;

км. – километр;

г. – город;

пасс.-км. – пассажиро-километры;

км/час – километров в час;

пас./час – пассажиро-часы;

СУБД – система управления базами данных.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Зильберталь А.Х. Трамвайное хозяйство. - М.-Л.: ОГИЗ-Гострансиздат. - 1932. - 303 с.
- 2 Социальный стандарт транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом (утв. [распоряжением](#) Министерства транспорта РФ от 31 января 2017 г. № НА-19-р).
- 3 The fifth edition of the Highway Capacity Manual (HCM2010).
- 4 Добросельская Т.Н. Качественные и экономические показатели, влияющие на выбор вариантов пассажирских транспортных систем в крупных городах// Труды ИКТП при Госплане СССР. -1977. - Вып.66. - С.П4-131.
- 5 Седов И.А., Улицкая И.М. К вопросу об оценке качества транспортного обслуживания пассажиров городским транспортом//Труды Моск.Автомобильно-дорожного института/Экономика.планирование и организация автомобильного транспорта и дорожного строитель-ства. - М. - Вып.106. - 1975. - С.18.
- 6 Бонсали П.У., Чемпериоун А.Э., Мейсон А.К., Уилсон А.Г. Моделирование пассажиропотоков в транспортной системе. - М.:Транспорт, - 1982. - 207 с.
- 7 Думитрашку П.П. Комплексная оценка качественного уровня транспортного обслуживания городского населения. - Автор.дисс. на соиск. уч.степени канд.техн.наук. - Д.- 1975. - 31 с.
- 8 Зильберталь А.Х. Трамвайное хозяйство. - М.-Л.: О№3-Гострансиздат. - 1938. - 303 с.
- 9 Гудков, В.А. Технология, организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учеб. для вузов/ В.А. Гудков, Л.Б. Миротин; под ред. Л.Б. Миротина. -М.: Транспорт, 1997.

- 10 Штанов В.Ф. Указания по качеству обслуживания населения маршрутными автобусами в городах. - Киев: Минавтотранс УССР, 1979. - 41 с.
- 11 Аррак А.О. Социально-экономическая эффективность пассажирских перевозок. - Таллин: Ээсти Раамат. - 1962. - 198 с.
- 12 Блинкин М.Я., Гуревич Г.А.» Сарычев А.В. Автоматизированные системы транспортного планирования//Итоги науки и техники. - Сер. "Автомобильный и городской транспорт". - М., т.13. -1968. - 121 с.
- 13 Александер К.Э., Руднева Н.А. Обоснование качественной оценки транспортных решений в проектах детальной планировки//Повышение качества транспортно-планировочных решений в градостроительном проектировании. - М«, 1977, - С.19-32.
- 14 Chumak A. ,Braaksma J. Implication of -the travel time budget for urban transportation modeling in Canada//Transp.Res, Res. - 1981, .. и 794. - p.19-27.
- 15 Фишельсон М.С. Транспортная планировка городов. - М.:Высшая школа. - 1985. - 239 с.
- 16 Дрюбин С.Г., Иванов В.И., Гвоздев А.М. Методология планирования внутригородских пассажирских перевозок//Сборник статей/Коммунальная экономика/Под ред.Я.Д.Яълзак. - Ленинград. ЛНИИКХ. - 1935. - С.80-153.
- 17 Марченко А.А. Экономические факторы управления качеством обслуживания пассажиров на городском транспорте. - Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. экон. наук. - Л.: ЛИЭИ. - 1985. - 18 с.
- 18 Чернышева Л.В., Дынкин А.Г. Исследование распределения пассажиров по путям следования//Тез.докл. к I Ленинградской научн.конф.по исследованию и прогнозированию пассажиропотоков. -Л. - 1969. - С.73-92.
- 19 Думитрашку П,П, Комплексная оценка качественного уровня транспортного обслуживания городского населения. - Автор.диес. на соиск. уч.степени канд.техн.наук, - Л,- 1975. - 31 с.
- 20 Садыхова О.М. Выбор пассажиром пути следования Городской транспорт и инженерная подготовка территорий//Л.: Ленинградский инженерно-строит. инст. - 1974. - 91. - С.33.

- 21 Ильенков С. Д., Ильенкова И. Д., Мхитарян В. С. и др. Управление качеством: Учебник для вузов // Под ред. Ильенковой С. Д. - М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. -199с.
- 22 Рыженко Л.И. Методика оценки качества транспортного обслуживания пассажиров в крупных городах: диссертация специальность 05.22.02 Москва 1988г.
- 23 Ларин О.Н. Организация пассажирских перевозок: Учебное пособие. -Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 104 с.
- 24 Пугаев И.Н. Организация и безопасность движения: Учеб. пособие /И. Н. Пугачёв. – Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2004. –232 с.
- 25 Гудков В.А. Миротин Л.Б Вельможин А.В. Ширяев С.А. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник для ВУЗов - М.:Горячая линия-Телеком, 2006.-448с.
- 26 Болоненков, Г.В. Совершенствование обслуживания населения маршрутными такси/ Г.В. Болоненков, Э.Е. Мун, А.В. Колесник. - М.,1981.
- 27 Eigen J. The changing role of transportation. // Transportation and the cities. USA, 1976.
- 28 Meyer J., Peckmann M., Wittmann E. Bedarfgesteuertes Bussystem RETAX. Die Komponenten des Systems. // Nahverkehr-Prax, 1977, №4.
- 29 Schroder H. Verbesserung der öffentlichen Verkehrsbedienung durch Busspuren. // Verkehr und Technik, 1975
- 30 Soliman A.N. Potential demands of a dial-a-bus system. // Traffic engineering and control, Dec. 1973.
- 31 Steyer J.H. City-bus; Fahrzeug und Karosserie/ // Nahverkehr-Prax., 1975, №9.
- 32 Балян Г.Г. Повышение эффективности использования автобусов и маршрутных такси в городах во внепиковые периоды:Дисс. канд.техн.наук М.,1983.
- 33 Балян Г.Г. Опыт согласованной работы автобусов и маршрутных такси на городских маршрутах. / ЦБНТИ МАТ РСФСР, сер.3, вып.7. М., 1982.

- 34 Гуревич Г.А., Кузнецов Г.И., Михайлов А.А., Сытник В.Н. Системы гарантированного обслуживания населения автобусами по вызову. / ЦБНТИ МАТ РСФСР. М., 1979.
- 35 Тулегенов К.А. Основные направления совершенствования перевозок пассажиров маршрутными такси в Киргизии: Ротапринт // Киргизавтодор КТИ. Фрунзе, 1982.
- 36 Lancaster T.D., Het D.L. Mass transportation a national commitment.  
37 // "SAE prer." Transport Economy and Policy, 1977, vol.2, №2.
- 38 Murrey A. Around the world by trolleybus. A review of the world trolleybus sciene. Strood, Kent, 1981.
- 39 Фишельсон М.С. Основные направления научных исследований в области проектирования городского транспорта. Л.,1974.
- 40 Трихунков М. Ф. Транспортное производство в условиях рынка: Качество и эффективность. - М.: Транспорт, 1993. -255с.
- 41 Юдин В.А., Самойлов Д.С. Городской транспорт. М.: Стройиздат. 1975.
- 42 Управление качеством продукции: Вопросы теории и практики /  
43 Под общей ред. Булатова А. Е., Правдина Д. И. - М.: Мысль, 1984. -188с.
- 44 Ядов В.А. Стратегия социологического исследования: описание, объяснение, понимание реальности. М., Добросает. 1998
- 45 Milota K. Autobus na za volanou. Za voiantem., 12,1974.
- 46 Schlieske W., Stockermann H., Zeitvogel M. Bedarfgesteuertes Bussystem RETAX. // Nahverkehr-Prax., 1981, 29, №9.
- 47 Справочник инженера-экономиста автомобильного транспорта/ СЛ.Голованенко и др.; под общей ред. С.Л. Голованенко. - М.: Транспорт,1984
- 48 Гудков, В.А. Технология, организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учеб. для вузов/ В.А. Гудков, Л.Б.Миротин; под ред. Л.Б. Миротина. -М.: Транспорт, 1997.

49 Вельможин, А.В. Эффективность городского пассажирского общественного транспорта: Монография/ А.В. Вельможин, В.А. Гудков, А.В. Куликов, А.А. Сериков. - Волгоград, 2002.

50 Вельможин, А.В. Теория организации и управления автомобильными перевозками: логистический аспект формирования перевозочных процессов: Монография/ А.В. Вельможин, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин. - Волгоград, РПК Политехник, 2001

51 Спирин И.В. Перевозки пассажиров городским транспортом: Справочное пособие. – М: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 413с.

52 Бойко Г.В. Методика оптимизации структуры транспорта для обслуживания городских пассажирских перевозок. Дис. Ктн 05.22.10 Волгоград2007г.

53 Теория городских пассажирских перевозок: Учеб. пособие для вузов/ЕфремовИ.С,КобозевВ.М.,ЮдинВ.А.—М.:Высш.школа,1980.

54 — 535 с.

55 Вентцель Е.С. Основы исследование операций. -М.: Советское радио,1972

56 Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Пер. с англ./ Пер. И.И. Глушко; ред. В.И. Нейман- М.: Машиностроение, 1979 - 432с.

57 Самойленко Н.И. Соколов Б.Г. Исследование операций. (Математическое программирование. Теория массового обслуживания): Уч. Пособие. - Харьков: ХНАГХ, 2005. -176с.

58 Гудков, В.А. Технология, организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учеб. для вузов/ В.А. Гудков, Л.Б.Миротин; под ред. Л.Б. Миротина. -М.: Транспорт,1997.

59 Гудков В.А. Миротин Л.Б Вельможин А.В. Ширяев С.А. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник для ВУЗов - М.:Горячая линия-Телеком,2006.-448с.

60 Теория городских пассажирских перевозок: Учеб. пособие для вузов/ЕфремовИ.С,КобозевВ.М.,ЮдинВ.А.—М.:Высш.школа,1980. — 535 с.

61 [http://transport. Istu.edu/](http://transport.Istu.edu/) Транспортная лаборатория ИрГТУ Зедгенизов А.В. Головных И.М. Совершенствование нормативного обеспечения методики расчета пропускной способности остановочных пунктов городского пассажирского транспорта.

62 Фомин Е.В. Методика определения пропускной способности остановочных пунктов ГПТ /Е.В. Фомин, А.И. Фадеев// Вестник Иркутского государственного технического университета – 2012г., №4(63), С.117-124.

63 Фомин Е.В. К вопросу о пропускной способности остановочных пунктов /А.И. Фадеев, Е.В. Фомин// Интегрированная логистика, издательство: Всероссийский институт научной и технической информации РАН (Москва) – 2012г., №2, С.7-11.

64 Юдин В.А., Самойлов Д.С. Городской транспорт.М.: Стройиздат. 1975.

65 Н. Джинсон. Ф. Лион. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. Перевод с английского под редакцией Э.К. Лецкого. – Издательство «Мир» Москва 1980.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Лист обследования пассажирских потоков

Дата 11 06

Маршрут №1 **Ж/Д вокзал - Автовокзал Восточный**

Марка		Гос. №		№ двери		№ маршрута	
				Копия автовокзала		Фамилия, инициалы	

**Результаты обследования (Прямое направление)**

Номер 1-го билета в катушке кондуктора (3 последние цифры)	Число пассажиров (Дети до 7 лет не учитываются!!!)															
	час		мин		час		мин		час		мин		час		мин	
Время на часах рейса	Вы*	Во*	Вы*	Во*	Вы*	Во*	Вы*	Во*	Вы*	Во*	Вы*	Во*	Вы*	Во*		
1 Ж/Д вокзал																
2 Красная площадь																
3 Органный зал																
4 к/т Луч																
5 ул. Перенсона																
6 театр Оперы и балета																
7 О. Отдыха																
8 Предместная площадь																
9 к/т Юбилейный																
10 Правый берег																
11 Цирк																
12 Затон																
13 ТЮЗ																
14 Торговый центр																
15 к/т Родина																
16 Красная детская библиот.																
17 м-н Океан																
18 Художественная галерея																
19 Аэрокосмическая академия																
20 Д/К 1 Мая																
21 Школа																
22 Хлебозавод																
23 Каменный квартал																
24 Пенсионный фонд																
25 Д/К КрасТЭЦ																
26 КрасТЭЦ																
27 Автовокзал Восточный																
<b>Время окончания рейса</b>	час		мин		час		мин		час		мин		час		мин	
Номер 1-го билета в катушке кондуктора (3 последние цифры)																
Замечания и предложения учетчика																

\* Вы - число вышедших пассажиров, чел.  
 \* Во - число вошедших пассажиров, чел.

Рисунок А.1 – Лист обследования пассажирских потоков



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Результаты расчета по модельной сети

Таблица Б.1 – Результаты расчета по модельной сети

Вариант	Варьируемый параметр	Интенсивность, ед./час	Вместимость, пасс.	Пассажиров в час	Пасс-км	Место-км	Кив*	Пробег, км/час	Пасс/км	Кив* итого
Маршрут 1										
1		6	100	500	5500	18000	0,31	180	2,8	
2	Класс автобуса	6	75	500	5500	13500	0,41	180	2,8	
3		6	75	471	5214	13500	0,38	180	2,6	
4		6	75	471	5214	13500	0,38	180	2,6	
5		6	75	450	5000	13500	0,37	180	2,5	
6	Частота	7	75	465	5147	15750	0,32	210	2,2	
7		7	75	456	5056	15750	0,32	210	2,2	
8	Частота	8	75	468	5184	18000	0,29	240	2,0	
9	Класс автобуса	8	50	468	5184	12000	0,43	240	2,0	
10	Частота	10	50	490	5405	15000	0,36	300	1,6	
11	Частота	11	50	500	5500	16500	0,33	330	1,5	
12	Частота	12	50	509	5587	18000	0,31	360	1,4	
Маршрут 2										
1		6	100	800	10800	21600	0,50	216	3,7	0,41
2		6	100	800	10800	21600	0,50	216	3,7	0,46
3	Частота	8	100	829	11086	28800	0,38	288	2,8	0,38
4	Класс автобуса	8	75	829	11086	21600	0,51	288	2,8	0,46
5	Частота	10	75	850	11300	2700	0,42	360	2,4	0,40
6		10	75	835	11153	27000	0,41	360	2,3	0,38
7	Частота	11	75	844	11244	29700	0,37	396	2,1	0,35
8		11	75	832	1116	29700	0,37	396	2,1	0,34
9		11	75	832	1116	29700	0,37	396	2,1	0,39
10		11	75	810	10895	29700	0,37	396	2,0	0,36
11		11	75	800	10800	29700	0,36	396	2,0	0,35
12		11	75	791	10713	29700	0,36	396	2,0	0,34

## **ПРИЛОЖЕНИЕ В**


**Презентационный материал**

(10 листов)

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
Кафедра «Транспорт»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Е.С. Воеводин  
« \_\_\_\_\_ » июль 2020 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

**«Определение рациональной структуры парка автобусов городского  
пассажи́рского транспорта»**

23.04.01 – Технология транспортных процессов

23.04.01.01 – Организация перевозок и управление на автомобильном  
транспорте

Пояснительная записка

Научный руководитель \_\_\_\_\_ канд. техн. наук, доцент А.И. Фадеев

Выпускник  Н.В. Голуб

Рецензент \_\_\_\_\_ Зам. нач.отд. «ПРПП» А.А. Тарских  
МКУ «Красноярскгортранс»

Красноярск 2020