

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Е.С. Воеводин

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Прогноз транспортного спроса городского пассажирского общественного  
транспорта

23.04.01 «Технология транспортных процессов»

23.04.01.01 «Организация перевозок и управление на автомобильном  
транспорте»

Научный руководитель \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент А.И. Фадеев

Выпускник \_\_\_\_\_ К.А. Корсаков

Рецензент \_\_\_\_\_ Д.А. Ничковская

Красноярск 2021

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме: «Прогноз транспортного спроса городского пассажирского общественного транспорта» содержит 81 страницу текстового документа, 20 таблицы, 8 иллюстраций, 25 формулы, 24 использованных источников.

ТРАНСПОРТНЫЙ СПРОС, ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ, ЧЕТЫРЕХШАГОВАЯ МОДЕЛЬ, ТРАНСПОРТНЫЕ РАЙОНЫ, ТРАНСПОРТНЫЕ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ.

Объектом исследования являются процессы функционирования общественного транспорта.

Целью данной работы является повышение эффективности планирования и управления работой ГПТ за счет совершенствования методики определения транспортного спроса. Для достижения цели решаются следующие задачи:

1. Провести анализ существующих методик оценки транспортного спроса, выявить их преимущества и недостатки, определить направления их совершенствования;
2. Сформулировать методику определения спроса на городской общественный транспорт
3. Осуществить оценку эффективности разработанной методики путем ее применения на общественном транспорте города Красноярска
4. Сформулировать рекомендации совершенствования системы общественного транспорта города Красноярска для обеспечения соответствия транспортному спросу

В результате решения поставленных задач теоретически обоснована классическая четырехшаговая модель оценки транспортного спроса, выполнено транспортное районирование микрорайонов, рассчитаны емкости транспортных районов, предложены рекомендации по улучшению транспортного обслуживания ГПТ общего пользования.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Обзор существующих методик определения транспортного спроса городского пассажирского общественного транспорта .....	7
1.1 Современное состояние транспортных систем города .....	7
1.2 Пассажирские потоки. Характеристики пассажирских потоков. Подвижность населения .....	10
1.3 Существующие методики определения транспортного спроса .....	15
1.3.1 Методы натурного обследования пассажирских потоков .....	15
1.3.2 Расчетные методики определения транспортного спроса .....	21
2 Методика определения спроса на городской общественный транспорт .....	27
2.1 Четырёхступенчатая модель (процедура) расчета транспортного спроса. 27	
2.1.1 Процедура генерации транспортного спроса .....	27
2.1.2 Этап распределение транспортного спроса .....	34
2.1.3 Этап разделения корреспонденций по видам транспорта .....	38
2.1.4 Этап распределения корреспонденций по транспортной сети .....	40
2.2 Гравитационная модель расчета величины межрайонных пассажирских корреспонденций.....	43
3 Оценка эффективности методики расчета транспортного спроса (на примере микрорайонов «Студенческий городок», «Госуниверситет», «Академгородок»).....	46
3.1 Характеристика транспортных микрорайонов .....	46
3.2 Транспортное районирование.....	50
3.3 Оценка численности населения и емкости расчетных зон.....	52
3.4 Аналитический метод распределения социального состава населения.....	56
3.5 Анализ маршрутной сети .....	60
3.6 Анализ интервалов движения микрорайонов .....	66
3.7 Графоаналитический метод определения интервала движения .....	69
Заключение .....	79
Список использованных источников .....	81

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В современных крупных городах Российской Федерации неотъемлемой частью жизнедеятельности человека является пассажирский транспорт. Несмотря на значительное преобладание в составе пассажирского транспортного потока индивидуальных автомобилей, основной объем пассажирских перевозок приходится на общественный транспорт. Население использует общественный транспорт с целью трудовых, учебных, деловых и культурно-бытовых поездок.

Изменение социально-экономических условий, высокий темп автомобилизации в городах значительно усложнила оценку прогнозирования транспортного спроса городского населения, характеристиками которого являются: транспортная подвижность; целевая структура транспортной подвижности; выбор способа передвижения (на общественном транспорте, на индивидуальном транспорте и др.). Все эти характеристики транспортного поведения населения формируются под воздействием социально-экономических и градостроительных факторов, что требуется учитывать при выполнении среднесрочных и долгосрочных транспортных прогнозов, выполняемых на разных стадиях транспортного и градостроительного проектирования (программы комплексного развития транспортной инфраструктуры (ПКРТИ), комплексные схемы организации движения (КСОД), а также генеральные планы городов и проекты планировки).

Получение прогнозной информации о состоянии спроса на услуги пассажирского автотранспорта является актуальной задачей современного общества. Решение данной задачи позволит удовлетворить потребности населения в передвижении, при оптимальном использовании автотранспортных средств, а также повысит эффективность управления системой пассажирского транспорта.

Потребности людей в перемещении труднопредсказуемы, поэтому планировании пассажирских перевозок является одной из самых сложных частей плановой работы на транспорте. Учитывая социальную значимость пассажирских перевозок, важно знать заранее их объемы, направления и структуру, с тем чтобы подготовить необходимые парки подвижного состава, определить пропускные способности, составить графики и расписания движения, предусмотреть необходимый комплекс транспортных услуг.

Сложный характер транспортных систем и поведения людей приводит к тому, что необходимо учитывать множество различных факторов для построения реалистичной модели, тем самым усложняя математические методы и модели, что требует, в конечном счете, большого объема исходных данных и высоких вычислительных мощностей. Эти данные быстро устаревают, так как показывают информацию только на фиксированный период времени и могут меняться.

**Целью данной работы** является повышение эффективности планирования и управления работой общественного транспорта за счет совершенствования методики определения транспортного спроса.

**Объектом исследования** являются процессы функционирования общественного транспорта

**Предмет исследования** – закономерности, характеризующие формирование транспортного спроса городского общественного транспорта

Были поставлены следующие основные задачи исследования:

1. Провести анализ существующих методик оценки транспортного спроса, выявить их преимущества и недостатки, определить направления их совершенствования;

2. Сформулировать методику определения спроса на городской общественный транспорт

3. Осуществить оценку эффективности разработанной методики путем ее применения на общественном транспорте города Красноярска

4. Сформулировать рекомендации совершенствования системы общественного транспорта города Красноярска для обеспечения соответствия транспортному спросу

# **Глава 1. Обзор существующих методик определения транспортного спроса городского пассажирского общественного транспорта**

## **1.1 Современное состояние транспортных систем города**

Состояние транспортных систем города в настоящее время не удовлетворяет потребности современного общества. Переход к рыночной экономике повлек за собой изменения в работе транспортных систем города. Наиболее острыми являются транспортные проблемы в крупных городах, где, в следствии усугубления автомобилизации, потери времени пассажирами на передвижения значительно превышают допустимые нормы, провозная способность городского пассажирского транспорта неумолимо снижается.

Повышение эффективности транспортных систем города достигается рациональной и слаженной работой всех звеньев, обеспечивающих планирование, организацию и функционирование системы, полное согласование их социально-экономических и экологических интересов как между собой, так и с внешней средой.

Наиболее рациональный вариант транспортных систем города определяется по следующим критериям: время передвижения, провозная способность, пересадочность, экономические показатели; характеристика транспортной системы по видам транспорта, их провозной способности, дальности действия, скорости транспортных средств, распределению объема перевозок пассажиров и грузов; может употребляться как сводное понятие, включающее также характеристику дорожной сети [1,2]

Транспортные системы городов характеризуются общими и частными особенностями и, как следствие, общими и частными показателями. К общим относятся объемы перевозок и их структура по способам передвижений, средняя дальность передвижения, средние затраты времени на передвижение и суточные затраты времени на те же цели, средняя скорость передвижения [3,4].

Продолжительность передвижения – интегральный показатель, так как в нем аккумулируются все стороны развития города и его транспортной системы: уровень экономики, размещение мест жилья и труда, культурных и бытовых объектов, развитие автомобилизации и сети магистральных улиц, организации движения и хранения (постоянного и временного) подвижного состава, уровень услуг, оказываемых на дому, в т. ч. с использованием виртуальных систем. При этом очень важной является структура затрат времени на передвижения разными способами [5,6,7,8].

Степень удовлетворенности общества работой транспортных систем города является основополагающим показателем качества работы системы в целом, но именно этот показатель практически не исследуется. Очевидно, что все подсистемы должны рассматриваться совместно, включая: практику управления городским пассажирскими и грузовыми перевозками, организацию дорожного движения, при этом должны приниматься во внимание экологические критерии. Любое решение в области транспортных систем городов должно базироваться на исследовании грузопассажирских связей и проектировании развития транспортной сети. В связи с этим целесообразно создание в крупных экономических районах (федеральных округах) научных центров транспортного планирования городов на основе смешанного муниципально-частного сотрудничества [1].

Прогнозирование развития транспортных систем города на федеральном уровне должно осуществляться для проведения через систему нормативных актов единой транспортной политики и выявления общей потребности в подвижном составе городского общественного пассажирского транспорта в целях ориентации (а в необходимых случаях и для стимулирования) инвесторов и производителей. На этом уровне возможно привлечение к прогнозированию всевозможных общероссийских общественно-профессиональных образований. Детализация прогнозов и определение потребности в финансовых ресурсах для развития транспортных систем осуществляется на уровне регионов. На уровне



же конкретных городов прогнозы развития транспортных систем реализуются путем привязки их к пространственным и временным координатам в увязке с финансовыми и материальными ресурсами органов управления указанных территорий.

Планирование развития транспортных систем осуществляется на уровне муниципального образования района и города в форме разработки титульного списка объектов строительства (на основе программ комплексного развития транспортной инфраструктуры (ПКРТИ) и комплексных схем организации движения (КСОД)) и заключения договоров с перевозчиками и подрядчиками.

Анализ транспортно-экспедиционного обслуживания населения осуществляется на локальном уровне (город, муниципальное образование). При этом реализуется следующая схема: анализ функционирования транспортных систем города (диагностика состояния) – стратегическое и долгосрочное прогнозирование – долгосрочное системное проектирование (в масштабе города) – мезомасштабное проектирование (отдельные районы, зоны города, отдельные виды транспорта) – эскизное транспортное планирование (транспортные системы малых и отдельные мероприятия в остальных городах) реализация – анализ функционирования транспортных систем города.

Для каждого временного горизонта развития транспортных систем города устанавливается, исходя из финансовых возможностей города, минимальный социальный стандарт транспортного обслуживания населения.

В наше время решение проблем развития транспортных систем невозможно без учета информационно – коммуникационных технологий, как катализаторов устойчивого развития города, с одной стороны, и поддержания его целостности, с другой. Информационно-коммуникационные каналы помимо всего прочего, обеспечивают население информацией о ситуации с транспортными потоками, маршрутами, загрузкой транспортных сетей, что позволяет жителям сделать осознанный выбор вида транспорта и путей следования и улучшить использование существующей транспортной

инфраструктуры. Чтобы улучшить представление информации о ситуации с транспортными потоками и возможностями общественного транспорта, каждый крупный город должен иметь сервер, который сделает такую информацию доступной для жителей через Интернет. В этих условиях многие жители города предпочтут пользоваться общественным, а не индивидуальным транспортом из-за реальной интеграции между подсистемами общественного транспорта в области расписаний и систем оплаты проезда [8,9,10,11,12].

Реализованная подвижность населения в городе является потенциально управляемым процессом, так как ее величина и структура зависят от условий передвижения в городе. Изменяя эти условия можно воздействовать на поведение городского населения и, тем самым, на способы ее реализации.

## **1.2 Пассажирские потоки. Характеристики пассажирских потоков. Подвижность населения**

Подвижность населения, выражаемая числом передвижений, приходящихся на одного человека от общего числа участников передвижений за отчетный период (как правило за один год), является одной из социальных характеристик образа жизни городского населения. Чем больше численность населения города, тем больше в нем возможностей для удовлетворения потребностей человека, а, следовательно, больше и подвижность жителей города.

Различают транспортную, пешеходную, потенциальную, латентную, фактическую, реализованную, нереализованную, абсолютную, общую, перспективную подвижность населения [13,14,15].

Транспортная подвижность – число передвижений, совершаемых на транспорте на одного жителя города в год (без пешеходных). Транспортная подвижность является основной в расчетах при организации работы транспортной системы города.

Пешеходная подвижность – число пеших передвижений, приходящихся на одного жителя за отчетный период (как правило – год).

Потенциальная подвижность соответствует запросу жителей на передвижения. Количественно потенциальная подвижность определяется числом желательных передвижений респондентов.

Латентная подвижность – это существующий, но фактически не предъявленный спрос на передвижения.

Фактическая подвижность – число заявленных передвижений, т. е. число подошедших на остановочный пункт пассажиров.

Реализованная подвижность – число совершенных передвижений, выполненных в конкретных условиях места и времени.

Нереализованная подвижность – нереализованная потребность в передвижениях, вызванная низким уровнем транспортного обслуживания населения.

Абсолютная подвижность – число передвижений, приходящихся на одного жителя из определенной группы населения, участвующей в передвижениях, за расчетный период (как правило – год).

Общей подвижностью называется количество передвижений, совершенных всеми группами населения, отнесенная к числу жителей, проживающих в границах города.

Перспективную транспортную подвижность устанавливают на основании обработки отчетно-статистических данных и данных обследований с учетом ее перспективного роста. На основании полученных данных о перспективной транспортной подвижности населения определяют вероятностный объем перевозок на перспективу.

В настоящее время статистикой регистрируется только число поездок пассажиров определенным видом транспорта, но не учитывается число поездок пассажиров от начального до конечного пункта. Поэтому показатель подвижности населения, определяемый отношением числа поездок по видам

транспорта к количеству жителей, не отражает действительной подвижности населения. Так, при пересадочном сообщении, когда пассажир, чтобы добраться до места назначения, пользуется, например, двумя автобусами и должен сделать пересадку, в статистике числится две поездки, несмотря на то, что это поездка с одной целью [4,13].

Различают три основных показателя транспортной подвижности населения [14,15,16,17]:

- среднее число поездок на одного жителя в год;
- среднее количество пассажиро-километров на одного жителя в год (этот показатель отражает среднее использование услуг пассажирского транспорта одним жителем), его называют километрической подвижностью населения);
- время, проведенное в поездках в среднем на одного жителя в год (этот показатель измеряется в пассажиро-часах на одного жителя; его иногда называют часовой подвижностью населения).

Из трех названных показателей наибольшее распространение (особенно для международных и межрайонных сопоставлений) получил показатель километрической подвижности населения. Не только для отдельных районов в пределах каждой страны, но и для стран, принадлежащих к одной и той же общественно-экономической системе, уровень километрической подвижности связан отчетливой корреляционной зависимостью с уровнем национального дохода, приходящегося на одного жителя. При этом коэффициент ранговой корреляции очень высок – около 0,9. Связь между километрической подвижностью и национальным доходом на одного жителя обнаруживается также и в динамике роста этих показателей по миру в целом, по регионам и отдельным странам. Эта зависимость используется для прогнозирования роста подвижности населения и долгосрочного перспективного планирования пассажирооборота [18,19,].

Однако километрическая подвижность обычно растет (особенно в экономически развитых странах) быстрее, чем национальный доход на одного

жителя. Особенность в том, что уровень километровой подвижности лимитируется не только денежными расходами пассажиров за проезд (отсюда связь с национальным доходом), но и затратами времени на поездки. Непрерывный рост скорости пассажирских сообщений все дальше отодвигает этот барьер, давая возможность за тот же промежуток времени (выходные дни, отпуск) совершать более отдаленные поездки. Средняя скорость пассажирских сообщений растет не только в связи с повышением скоростей движения на каждом виде транспорта, но и за счет увеличения доли и роли скоростных видов транспорта (особенно воздушного) в общем пассажирообороте.

В экономически наиболее развитых капиталистических странах уровень километровой подвижности более жестко лимитируется бюджетом времени населения, чем денежными затратами. В менее развитых капиталистических странах и особенно в развивающихся странах стоимость поездки создает более жесткий лимит для километровой подвижности, чем бюджет времени.

Наиболее устойчивым в динамике показателей подвижности населения является часовая или временная подвижность. Как показывают имеющиеся исследования, она растет значительно медленнее, чем километровая подвижность населения; этот рост связан главным образом с изменениями в бюджете времени населения (сокращение рабочей недели, удлинение оплачиваемых отпусков и т.д.).

Что касается среднего числа поездок на одного жителя, то этот показатель ранее преобладал в литературе по пассажирским сообщениям. Однако он мало пригоден для международных сопоставлений: число поездок в междугородных сообщениях в значительной степени зависит от средней дальности поездки, которая в экономически развитых странах примерно пропорциональна средневзвешенному расстоянию между городами страны (разумеется, не соседними, а взятыми во всех сочетаниях); эта величина в свою очередь в сильнейшей мере зависит от площади территории страны (международные поездки в большинстве стран образуют лишь малую долю подвижности

населения по сравнению с междугородными поездками в пределах страны). Иными словами, жители малых стран, при прочих равных условиях (равном национальном доходе на одного жителя и т.д.) совершают междугородные сообщения чаще, но на малые расстояния, а жители более крупных стран – реже, но в среднем на более значительные расстояния.

Сумма всех типов поездок в пассажиро-километрах за год примерно одинаково для рассмотренных выше видов передвижений. Маятниковые поездки – пригородные и особенно внутригородские, число которых в десятки и сотни раз больше, чем число междугородных поездок, не отражаются коэффициентом подвижности.

При рассмотрении длительных периодов опережающий рост километрической подвижности населения по сравнению с ростом национального дохода на одного жителя приводит к значительному разрыву между динамикой этих показателей. Так, с 1913 по 1967 г. средняя километрическая подвижность по миру в целом выросла в 7 раз с 0,3 до 2 тыс. пассажиро-километров в год на одного жителя – при росте среднего душевого национального дохода всех стран мира (в неизменных ценах) примерно в 4 раза (с 120 до 0,5 тыс. долл. на одного жителя в год).

Помимо общей транспортной подвижности населения, представляют значительный интерес и показатели транспортной подвижности населения по видам сообщений. Особенно важно отделить подвижность населения во внутригородских сообщениях, связанную с увеличением площади больших городов и с урбанизацией населения, от подвижности в междугородных и в дальнепригородных сообщениях. Разделение междугородных и пригородных (дальнепригородных) сообщений трудно осуществить, например, для автотранспорта, на который приходится большая часть всех пассажирских перевозок мира.

Транспортная километрическая подвижность населения очень сильно варьирует по группам стран, регионам мира и отдельным странам. Для

развивающихся и колониальных стран она в среднем в 14 раз ниже, чем для экономически развитых стран, а для Африки в среднем в 26 раз ниже, чем для Северной Америки. Для внеевропейских стран этот показатель в среднем в 20 раз ниже, чем для Российской Федерации и европейских стран. Диапазон различий на уровне километической подвижности населения для отдельных стран мира еще значительней – от 13 тыс. пассажирокилометров на одного жителя в США до нескольких сотен пассажирокилометров на одного жителя в странах тропической Африки и примерно 100 пассажирокилометров на 1 жителя в Китае.

### **1.3. Существующие методики определения транспортного спроса**

Изучение характера изменения пассажиропотоков является основной составляющей в прогнозировании транспортной подвижности и, как следствие, рационализации работы транспортной системы города. Пассажиропоток – это количество пассажиров, следующих на транспорте в определенном направлении. Он характеризуется размерами, пунктами отправления и назначения. Пассажиропотоки могут быть постоянными или переменными, одно – и двусторонними, равномерными и неравномерными, периодически возникающими и прекращающимися [19,20].

#### **1.3.1 Методы натурного обследования пассажирских потоков**

Изучение колебания пассажиропотоков в пространстве и времени дает возможность установить их количественное изменение по часам суток, дням недели, месяцам года и протяженности маршрутов, установить основные факторы, влияющие на формирование пассажиропотоков как по всей транспортной сети, так и по каждому маршруту в отдельности. Систематическое изучение пассажиропотоков позволяет выявить основные закономерности их

колебания для последующего использования результатов изучения при организации пассажирских перевозок.

Для выявления пассажиропотоков, распределения их по направлениям, сбора данных об изменениях пассажиропотоков во времени проводят обследования. Существующие методы обследования пассажиропотоков можно классифицировать по ряду признаков.

Так по длительности охватываемого периода различают обследования систематические и разовые. Систематические обследования проводят ежедневно в течение всего периода движения линейные работники службы эксплуатации. Разовыми называются кратковременные обследования по той или иной программе, определяемой поставленными целями.

По ширине охвата транспортной сети различают сплошные и выборочные обследования. Сплошные обследования проводят одновременно по всей транспортной сети обслуживаемого населенного пункта или региона. Они требуют большого числа контролеров и счетчиков. По результатам обследований решают вопросы функционирования транспортной сети, такие направления ее развития, как координация работы различных видов транспорта, изменение схемы маршрутов, выбор видов транспорта в соответствии с мощностью пассажирских потоков. Выборочные обследования проводят по отдельным районам движения, конфликтным точкам или некоторым маршрутам с целью решения локальных, частных, более узких и конкретных задач [13].

Традиционно на практике для изучения пассажиропотока используются следующие методы [22,23]:

- анкетный метод;
- отчетно-статистический метод;
- натурный метод;
- автоматизированный метод.



Анкетный метод обследования выполняется с применением анкет, содержание и количество вопросов в которых зависит от целей обследования. Анкетный метод позволяет установить:

- корреспонденция поездок пассажиров, в том числе по видам транспорта и назначению, пересадочность поездок, пункты пересадки;
- время продолжительности поездок и время на передвижение к остановочным пунктам и от них;
- моменты возникновения необходимости в поездках по часам суток, дням недели и сезонам года.

Обследование проводят с помощью специальных анкет, которые рассылаются по почте или распространяются по месту жительства, работы, учебы, во время поездок, в местах пересадки, на конечных остановочных пунктах. Успех анкетного обследования во многом зависит от простоты и ясности поставленных вопросов. Поэтому форма анкеты должна быть тщательно продумана согласно поставленной цели.

Наибольший эффект анкетное обследование дает при опросе населения по месту работы основных пассажирообразующих и пассажиропоглощающих пунктов обслуживаемого района.

Недостаток данного метода заключается в трудоемкости обработки анкет.

Отчетно-статистический метод обследования опирается на данные билетно-учетных листов, количество проданных билетов. Помимо проданных билетов, необходимо учитывать число лиц, перевезенных по месячным проездным билетам, служебным удостоверениям и лиц, пользующихся правом бесплатного льготного проезда, а также не приобретших билет. С использованием отчетных данных можно определить объемы перевозок по отдельным маршрутам, установить распределение пассажиропотоков по часам суток, дням недели и т.д. Но данный метод не позволяет оценить распределение пассажиропотока по участкам маршрута, то есть установить максимальную загруженность подвижного состава на маршруте

Натурные обследования реализуются талонными, табличными, визуальными, силуэтными и опросными методами.

Талонный метод обследования пассажиропотоков сводится к сбору данных с помощью заполнения специальных талоны, выдаваемых при входе и собираемых при выходе из транспортного средства. Этот метод позволяет определить:

- мощность пассажиропотока по направлениям и длине маршрута,
- колебания пассажиропотока по времени суток,
- пассажирообмен остановочных пунктов,
- дальность поездки,
- наполнении подвижного состава,
- объем перевозок и пассажирооборот.

При обследовании этим методом необходима предварительная подготовка, которая включает разработку программы и расчет потребного количества учетчиков и контролеров. Качество получаемой информации во многом зависит от четкости работы учетчиков и контролеров, а также от подготовленности и осведомленности пассажиров. В процессе обследования учетчики на каждой остановке, начиная с конечной, выдают всем вошедшим пассажирам талоны, предварительно отметив номер остановки, на которой вошел пассажир. Для каждого направления движения применяются свои талоны, как правило, разных цветов, с возрастающими или убывающими номерами остановок. При выходе пассажиры сдают талоны, а учетчики отмечают номер остановки, на которой пассажир вышел. При пересадке пассажиры надрывают соответствующую надпись на талоне. На конечных остановках учетчики сдают контролеру использованные талоны за конкретный рейс и получают новые.

Табличный метод обследования проводится учетчиками, которые располагаются внутри автобуса около каждой двери. Учетчики снабжаются таблицами обследования, в которых, кроме данных по автобусу, его выходу и смене, указываются номера рейсов в прямом и обратном направлениях, время их

отправления и остановочные пункты. По каждому остановочному пункту рейса учетчики заносят в соответствующие графы число вошедших и вышедших пассажиров, а затем подсчитывают наполнение на перегонах маршрута. Учет и регистрация перемещающихся пассажиров ведутся отдельно каждым учетчиком, а обработка полученных данных - совместно. Табличный метод можно применять при систематическом и разовом, сплошном и выборочном обследовании. При сплошном и систематическом обследовании форма таблиц должна позволять обработку данных обследования с использованием ЭВМ. Для этой цели производят группировку таблиц, а затем сортируют их по дням недели, маршрутам, часам суток выхода автобуса и сменам работы.

Визуальный или глазомерный метод обследования служит для сбора данных по остановочным пунктам со значительным пассажирообменом. Учетчики визуально определяют наполнение автобусов по условной балльной системе, и эти сведения заносят в специальные таблицы. Например, по пятибалльной системе, где 1 балл – в салоне автобуса занято меньше половины мест для сидения; 2 балла – занято больше половины мест для сидения; 3 балла – заняты все места для сидения, возможно, занята половина мест для стояния; 4 балла – номинальная вместимость использована полностью и 5 баллов – автобус переполнен, и часть пассажиров остается на остановке. Баллы в таблицу заносят соответственно марке и модели автобуса. Зная число мест для проезда сидя и вместимость конкретной марки и модели автобуса, можно от баллов перейти к числу перемещающихся пассажиров. Визуальным методом в балльной оценке наполнения могут пользоваться водители или кондукторы автобусов, которым выдается учетная таблица. По окончании смены таблицы сдают линейным диспетчерам, и в отделе эксплуатации их сводят в итоговую. Этот метод чаще применяется при выборочном обследовании.

Силуэтный метод является разновидностью визуального с такими же сферами использования. Вместо балльной оценки наполнения автобусов применяется набор силуэтов по типам подвижного состава, находящийся

постоянно у учетчиков, которые подбирают номер силуэта, совпадающий с наполнением транспортного средства, и заносят в таблицу. Каждому силуэту соответствует определенное число перемещающихся пассажиров. На основе собранных данных подсчитывается число находящихся в салоне пассажиров при движении транспортного средства по маршруту.

Опросный метод обследования пассажиропотоков предполагает использование учетчиков, которые, находясь в салоне транспортного средства, опрашивают входящих пассажиров о пункте выхода, назначения, пересадки, цели поездки и фиксируют эту информацию. Этот метод позволяет получать данные о корреспонденции пассажиров, что помогает корректировать маршруты и разрабатывать организационные мероприятия по уменьшению времени пересадки пассажиров.

Автоматизированные методы обеспечивают получение информации о пассажиропотоках в обработанном виде без привлечения к непосредственному сбору таких сведений большого количества людей, а также способные удешевить процедуру обследования пассажиропотоков. Автоматизированные методы обследования пассажиропотоков подразделяются на контактные, которые позволяют получить данные через воздействие пассажиров на технические средства; неконтактные, которые используют фотоэлектрические приборы; косвенные заключаются в использовании специальных устройств, позволяющих взвешивать всех пассажиров одновременно; комбинированные, предполагают использование каких-либо автоматизированных методов обследования пассажиропотоков в совокупности

Обследования работы автобусов и выявление пассажиропотоков исключительно трудоемки и требуют, как правило, привлечения большого числа учетчиков, которыми могут быть учащиеся старших классов, студенты колледжей и вузов. Кроме того, обработка данных, собранных в результате обследований, требует значительного времени, и в итоге эти данные отражают характер изменения пассажиропотоков за прошедший период.

### 1.3.2. Расчетные методики определения транспортного спроса

Существуют различные подходы к прогнозированию интенсивности движения и пассажиропотоков. В общем случае, эти подходы можно разделить на две основные группы.

В первую группу включены подходы с использованием коэффициентов роста, получаемых на основе анализа документов и данных о текущем и перспективном социально-экономическом развитии области тяготения исследуемого объекта, или экстраполяции значений интенсивности на основе статистических данных по предшествующим годам, получения значений интенсивности и пассажиропотоков из других проектов, считающихся аналогичными исследуемому, и другие схожие методы. Все эти подходы объединяет одна особенность - в них не рассматривается взаимное влияние нескольких проектов и взаимосвязь всей транспортной сети и маршрутов в целом в области тяготения исследуемого объекта. Таким образом, строящаяся автомобильная дорога или новый маршрут общественного транспорта рассматривается как отдельный объект вне сложной системы существующей транспортной инфраструктуры.

Ко второй группе может быть отнесен подход, который получил свое развитие еще в начале 20 века и сейчас считается наиболее достоверным и современным, как в России, так и зарубежных странах. Данный подход заключается в построении моделей транспортных потоков (транспортных моделей). Такие модели описывают транспортную сеть в области исследования с заданной точностью, учитывают причины и цели перемещений, а также взаимосвязи в транспортном поведении людей.

Транспортные модели по большей части являются агрегированными моделями, другими словами в таких моделях не рассматриваются отдельные перемещения и люди, их создающие. Анализ и расчет транспортных потоков происходит на уровне домохозяйств или районов, объединяющих определенное

количество людей и рассматривающих их как единый центр генерации и притяжения транспортного потока.

Модель (от лат. *modulus* — мера, мерило, образец, норма) — в широком понимании, образ (в т. ч. условный или мысленный — изображение, описание, схема, чертёж, график, план, карта и т. п.) или прообраз (образец) какого-либо объекта или системы объектов, используемый при определённых условиях в качестве их "заместителя" или "представителя" [13].

Модель может быть определена как упрощенное представление моделируемого объекта (системы), в достаточной степени повторяющее свойства моделируемого объекта (системы), существенные для целей конкретного моделирования, и опускающее несущественные свойства. Модели зависят от целей исследования и, в силу этого, верны только для определенных ситуаций с конкретными ограничениями. Способность и точность определения подходящих моделей для решаемых задач является одним из важных условий верного моделирования. Модели транспортных потоков могут активно применяться при планировании мер градостроительного характера, но сами по себе модели не являются заменой этапа планирования. Они лишь представляют собой инструменты для анализа и прогнозирования ситуаций для принятия обоснованных решений.

Моделирование необходимо применять в силу следующих свойств транспортных систем:

- непостоянство в распределении транспортных потоков - непредсказуемость поведения каждого водителя (выбор маршрута, манера езды);
- влияние случайных факторов на распределение потоков (аварии, погода и т.д.)
- сложность транспортных систем современных мегаполисов и городов.

Модель транспортных потоков состоит из двух основных «блоков» - модели транспортного предложения и модели транспортного спроса.

Модель транспортного предложения описывает транспортную инфраструктуру с точки зрения возможности для совершения перемещений и содержит данные по транспортной сети, маршрутам общественного транспорта и т.д. Транспортная сеть описывает улично-дорожную сеть, автомобильные дороги, пути метрополитена, железные дороги и другие линейные объекты транспортной инфраструктуры в виде направленного графа, состоящего из узлов (перекрестки, развязки и т.д.) и соединяющих их ребер (отрезков) (улицы, дороги и т.д.). Граф транспортной сети (транспортный граф) в моделях транспортных потоков предоставляет возможность перемещения для участников транспортного движения и описывает затраты на данные перемещения.

Под пассажирским транспортным спросом понимается соответствующий возможностям и потребностям населения города, региона или страны (в зависимости от масштаба модели) уровень подвижности. Другими словами, транспортный спрос описывается количеством поездок, необходимым для реализации основных видов деятельности человека. Модели спроса на транспорт описывают качественно и количественно перемещения и учитывают: причины возникновения перемещения, выбор цели перемещения, выбор вида транспорта и выбор пути.

Моделирование выбора целей перемещения, вида транспорта, с помощью которого совершается перемещение, а также пути следования, основано на критерии затрат на поездку с использованием конкретного вида транспорта. В качестве критерия затрат обычно выбирается время в пути, но могут быть использованы и другие затраты, в том числе показатель обобщенных затрат на поездку (обобщенная стоимость поездки), например, для одновременного учета стоимости за проезд по платным участкам автодорог и времени в пути.

В обобщённой постановке под затратами на поездку понимается взвешенное среднее значение нескольких альтернативных показателей затрат.

$$C = \sum W_m \cdot C_m, \quad (1)$$

где  $C_m$  - значение показателя затрат типа  $m$ , усредненное по всем маршрутам с началом в районе- источнике и концом в районе цели перемещения,

$W_m$  - весовой коэффициент, определяющий вклад частного показателя типа  $m$  в обобщенный показатель затрат  $C$ .

Базовым понятием и целью построения транспортной модели является определение интенсивностей движения (пассажиропотоков) на транспортной сети. Транспортные модели позволяют строить качественные обоснованные прогнозы развития транспортных ситуаций с учетом различных факторов, влияющих на социально-экономическое развитие региона или изменение в его транспортной инфраструктуре.

Транспортный спрос в городах и регионах возникает в силу того, что весь комплекс основных социально-значимых видов деятельности, не может осуществляться в одной географической точке. Например, территория города делится на спальные, промышленные, офисные районы, культурно-исторический центр, районы с большим количеством торговых площадей. Каждая из таких территорий создает и притягивает к себе транспортные и пассажирские потоки с определенными целями. Для корректного модельного описания транспортного спроса при построении транспортной модели необходима не только информация о структуре транспортной сети и ее характеристиках, но и описание территориального разделения моделируемой области и данных социально-экономической статистики. Для решения этой задачи проводится транспортное районирование, которое позволяет разделить модель на элементарные функционально-пространственные единицы, являющиеся основными областями генерации перемещений.

На основе транспортного районирования строятся матрицы корреспонденций, описывающие количество перемещений между каждой парой транспортных районов и используемые в дальнейшем для расчета интенсивности движения и пассажиропотоков на транспортной сети.

Существуют различные подходы к построению матриц корреспонденций:



1) Расчет «фиксированных» матриц корреспонденций — подходы, в которых не учитывается возможность изменения перемещений при изменении транспортного предложения (объектов транспортной инфраструктуры) и возможности изменения транспортного поведения населения во времени и пространстве:

- на основе результатов опроса участников движения на моделируемой территории о начальных и конечных точках их маршрута;

- на основе «обновления» (корректировки) ранее полученных матриц корреспонденций, например, с использованием коэффициентов роста;

- на основе данных замеров интенсивности движения. Эти и указанные ранее подходы применяются, как правило, в условиях труднодоступное данных о структурных характеристиках транспортных районов и транспортного поведения населения, для выявления которого необходимы социологические опросы населения области исследования;

2) Расчет «адаптирующихся» матриц корреспонденций - подходы, основанные на возможности оценки параметров транспортного поведения населения моделируемого региона:

- Activity-based models - модели, основанные на описании повседневных активностей людей, важной составляющей (если не основной) для которых являются транспортные перемещения.

- Trip-based models - модели, рассматривающие и описывающие каждое отдельное перемещение с определенными причинами, например, из дома на работу, с работы в магазин и т.д. Примером таких моделей является четырехшаговая модель расчета транспортного спроса. Для «trip-based models» исследуются и анализируются отдельные поездки, а в «activity-based models» исследуется деятельность людей, их шаблоны поведения в целом.

## **Выводы по главе 1**

Оценено состояние городской транспортной системы, рассмотрены труды известных в этой области отечественных и зарубежных ученых, таких, как С.П. Артемьев, М.Е. Антошвили, Г.А Варелопуло, В.Н. Лившиц, Д.С. Самойлов, Е.А. Сидоров, Е.П. Володин, А.Э. Горев, Н. Н. Громов, О.Н. Ларина, А.С. Михайлов, И.В. Спирин, М.Р. Якимов, Ortuzar J. D., Recker W., Willumsen L. G.

Выполнен анализ существующих методов оценки транспортного спроса. Теоретически обоснованы модели оценки транспортного спроса, учитывающие влияние социально-экономических и градостроительных факторов на транспортное поведение населения.

## **Глава 2 Методика определения спроса на городской общественный транспорт**

### **2.1 Четырёхступенчатая модель (процедура) расчета транспортного спроса**

Четырехступенчатая модель транспортного планирования является основным общепринятым инструментом, позволяющим прогнозировать генерацию передвижений.

Основой моделирования городских транспортных систем обычно является задача реализации пассажирских транспортных корреспонденций. Транспортная модель в целом представляет собой программный комплекс, состоящий из информационных и расчетных блоков. Информационные блоки составляют единую базу данных, предназначенную для хранения и обработки информации, необходимой для прогноза транспортных потоков. Расчетные блоки реализуют алгоритмы решения задач математического программирования, ориентированных на прогноз потребности в передвижениях и расчет реализующих ее транспортных потоков.

Любая математическая модель функционирования транспортной сети основывается на большом объеме исходных данных, получение которых вызывает серьезные затруднения. И это, в первую очередь, является основной трудностью на пути создания транспортных моделей крупных городов. Очевидно, что сбор исходных данных представляет собой наиболее трудоемкий и продолжительный по времени этап при построении транспортных моделей. Алгоритм каждой из известных групп транспортных моделей в конечном итоге решает задачу о степени соответствия существующего транспортного спроса имеющемуся транспортному предложению. Исходя из этого и создание основы модели, и наполнение ее исходными данными можно разделить на два независимых друг от друга этапа -это создание транспортного предложения и расчет транспортного спроса.

На заключительном этапе, когда имеются сформированные и формализованные параметры транспортного спроса и предложения, задача сводится к совершенствованию алгоритмов распределения транспортного спроса по существующему транспортному предложению и калибровке модели по собранным натурным данным, характеризующим основные параметры транспортного движения на действующей в текущий момент сети. При этом формализация параметров, характеризующих существующее состояние дорожно-транспортного комплекса, будет являться первым этапом в создании транспортной модели города - это создание транспортного предложения.

Второй этап в построении модели - создание или расчет транспортного спроса - представляет собой куда более сложную и трудоемкую задачу. Транспортное предложение состоит из элементов, с помощью которых транспортная система (города либо региона) удовлетворяет существующий транспортный спрос. Транспортное предложение в конечном итоге будет определять, какой объем спроса и насколько качественно может удовлетворить транспортная система. Транспортный спрос количественно и качественно определяет потребность жителей города в передвижении [9,13,18,24].

Весь объем необходимых исходных данных для создания прогнозной транспортной модели состоит из большого числа составляющих:

- Данные транспортного предложения - транспортная сеть, ее свойства и условия движения, включая технические средства организации дорожного движения; маршрутная сеть общественного транспорта; типы улиц и дорог, среднегодовая суточная интенсивность, пропускная способность перегонов и перекрестков и т.д.

- Данные социально-экономической статистики по транспортным районам - численность проживающего населения; сведения о трудоспособном населении, о рабочих местах, о рабочих местах в сфере услуг, о количестве студентов и учебных местах;

- Данные транспортного поведения населения – средняя дальность и длительность поездок с различными целями; среднее количество совершаемых перемещений в день с различными целями – подвижность населения; общее разделение транспортных потоков по видам транспорта на исследуемой территории.

Расчет прогноза в такой транспортной модели осуществляется по четырехшаговому алгоритму, вследствие чего такие прогнозные транспортные модели называют «четырёхшаговыми» [8,24].

Расчет обычно проводится по отдельным группам транспортного спроса, которые описывают перемещения, совершаемые отдельной социальной группой людей с единой целью, например, поездки из дома на работу для трудоспособного населения и отдельно для студентов, поездки из дома на учебу и т.д.

Стандартная четырехшаговая модель является вероятностной агрегированной моделью, в основе которой лежит предположение о том, что участники транспортного процесса совершают корреспонденции (перемещения) с целью удовлетворения различных потребностей, таких как, например, поездка на работу, учебу или в магазин, причем выбор целей перемещения в пространстве и конкретный путь следования зависит от величины затрат на это перемещение, под которыми в общем случае понимается время в пути, но также может учитываться и стоимость проезда на общественном транспорте и стоимость проезда по платным объектам транспортной инфраструктуры.

Модель делится на условные транспортные районы, которые являются местами генерации и притяжения перемещений (транспортных и пассажирских потоков) и на основе которых рассчитываются межрайонные корреспонденции.

Структура классической четырехшаговой модели расчета транспортного спроса представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структура классической четырехшаговой модели расчета транспортного спроса

Алгоритм расчета модели состоит из четырех основных этапов:

1) генерация спроса (trip generation) - расчет объемов прибытий и отправлений по каждому району, детализированные по группам транспортного спроса; результатами расчета являются итоговые строки и столбцы матриц корреспонденций;

2) расчет матрицы корреспонденций (trip distribution) - расчет общих межрайонных корреспонденций - объемов транспортного потока между всеми транспортными районами, детализированных по группам транспортного спроса, но без детализации по видам транспорта; результатами расчета являются элементы матриц корреспонденций;

3) разделение корреспонденций по видам передвижений (modal split) - расчет межрайонных корреспонденций, детализированных по группам транспортного спроса и видам используемого транспорта; результатами расчета являются элементы матриц корреспонденций по видам транспорта;

4) распределение корреспонденций по сети (trip assignment) - результатами расчета являются модельные значения интенсивности транспортных потоков и объемы пассажиропотоков на транспортной сети.

### **2.1.1 Процедура генерации транспортного спроса**

На этапе генерации спроса рассматриваются процессы их зарождения и притяжения и рассчитываются объемы прибытий и отправок по каждому транспортному району, детализированные по группам транспортного спроса.

Модель основана на том, что для каждой группы транспортного спроса определяются референтные группы (например, население, рабочие места в сфере услуг), одна часть которых создает (генерирует) перемещения в транспортных районах, то есть, связана с потенциалом района как источником поездок, относящихся к конкретной группе транспортного спроса, а другая - притягивает перемещения, то есть, с потенциалом района как цели, или центра притяжения перемещений, относящихся к данной группе транспортного спроса. Для каждой из таких референтных групп на основе результатов социологических опросов рассчитываются коэффициенты генерации и притяжения перемещений по отдельным группам транспортного спроса.

Результатом расчета является оценка общего количества корреспонденций, выходящих и входящих в каждый транспортный район. Другими словами, это итоговые строки и столбцы матриц корреспонденций (сумма всех элементов строки или столбца матрицы) по каждой группе транспортного спроса. Эти значения являются исходными данными для модели расчета корреспонденций.

Точность расчёта указанных значений определяется тем, насколько точно и реалистично определен характер зависимости объёмов транспортных перемещений от характеристик подвижности населения, а также экономических и социально-демографических характеристик транспортных районов.

В зависимости от требований к степени детализации и уровню точности транспортной модели, определяемых спецификой целей и задач моделирования, в разных ситуациях оказывается целесообразным выбирать различные методы определения объемов движения из источника и движения в цель. Возможные подходы к расчету объемов прибытий и отправок на этапе генерации спроса включают в себя:

- модели коэффициентов роста;
- регрессионные модели;
- модели групп источник-цель.

На этапе генерации спроса в стандартном варианте четырехшаговой модели расчета транспортного спроса используется модель групп источник-цель.

Дадим определение некоторым понятиям в моделях групп источник-цель.

Группа транспортного спроса описывает перемещения, совершаемые отдельной социальной группой людей (группой однородного поведения) с единой целью (группа источник-цель). Например, группа транспортного спроса «Студенты-Дом-Учеба», может описывать перемещения, совершаемые студентами из дома в ВУЗ.

Группа источник-цель - классификация поездок по их месту отправления и назначения (причина поездки - работа, место отправления - дом, тогда группа источник-цель: Дом-Работа). На рисунке 2 представлен пример классификации причин поездок по 10 группам источник-цель. Группы источник-цель, количество перемещений в которых незначительно (по сравнению перемещениями по другим группам), объединяют в одну группу, например, поездки с учебы на работу, из магазина на работу и т.д., представляют одну группу Прочее-Работа [8].

Референтная группа - социально-экономическая группа людей, которая создает или притягивает перемещения с различными целями. Примером таких групп могут служить - население, трудоспособное население, экономически



активное население по месту работы (рабочие места), учащиеся по месту жительства, учащиеся по месту работы (учебные места) и т.д.

Источник \ Цель	Дом	Работа	Учеба	Прочее
Дом	-	ДР	ДУ	ДП
Работа	РД	РР	РП	
Учеба	УД	ПР	ПП	
Прочее	ПД			

Рисунок 2 - Пример классификации причин поездок по 10 группам источник-цель

Коэффициент генерации (коэффициент притяжения) — среднее число отправлений (прибытий) по каждой группе транспортного спроса в течение определенного периода (обычно за сутки), приходящееся на одного представителя референтной группы.

Коэффициенты генерации являются количественными характеристиками транспортного поведения людей в области исследования (подвижности или мобильности населения) и могут быть рассчитаны на основе информации из социологических опросов населения о совершаемых ими в течение суток перемещениях:

$$K_g = \frac{V_g}{N_g}, \quad (2)$$

где  $K_g$  - коэффициент генерации (притяжения);

$V_g$  - число отправлений (прибытий), для референтной группы  $g$ ;

$N_g$  - число представителей референтной группы  $g$ .

Модель групп источник-цель может быть представлена с помощью следующих соотношений, описывающих общее количество перемещений, совершаемых представителями референтных групп и начинающихся или заканчивающихся в районах моделируемой территории (формула приведена для расчета объемов прибытий и отправок для отдельной (одной) группы транспортного спроса):

$$\begin{cases} Q_i = \sum_g K_g^P \cdot N_{gi} \\ Z_j = \sum_g K_g^A \cdot N_{gj} \end{cases}, \text{ при условии } \sum_i Q_i = \sum_j Z_j = D, \quad (3)$$

где  $Q_i$  - общее число отправок из района  $i$ ;

$Z_j$  - общее число прибытий в район  $j$ ;

$K_g^P, K_g^A$  - коэффициенты генерации/притяжения для референтной группы  $g$ ;

$N_{gi}, N_{gj}$  - число представителей референтной группы  $g$  в районе  $i(j)$ ;

$\sum_i Q_i = \sum_j Z_j$  - условие, уравнивающее объемы прибытий и отправок в сумме по всем транспортным районам – общее число отправок на моделируемой территории должно быть равно общему числу прибытий;

$D$  - общий (суммарный) объем перемещений в области исследования.

Условие, уравнивающее транспортный поток позволяет исключить ошибку, обусловленную неточностями статистических данных, например, превышение численности занятого населения над количеством рабочих мест.

### 2.1.2 Этап распределение транспортного спроса

На этапе расчета корреспонденций определяются объемы перемещений между всеми транспортными районами. Результатами расчета являются элементы матриц корреспонденций - число перемещений между каждой парой

транспортных районов  $d_{ij}$ , детализированные по группам транспортного спроса, но без разделения на корреспонденции посредством различных видов транспорта.

Исходными данными для этапа расчета корреспонденций являются значения объемов прибытий и отправок по каждому транспортному району, рассчитанные на предыдущем шаге «Генерация спроса», а также данные о затратах на перемещение между каждой парой районов - матрицы затрат.

Матрицы затрат имеют одинаковую размерность с матрицами корреспонденций (квадратные матрицы с количеством строк и столбцов равным числу транспортных районов) и описывают затраты на перемещения между каждой парой районов с использованием различных видов транспорта.

В качестве затрат могут выступать:

- время в пути при свободном потоке, минут;
- время в пути с учетом задержек (заторов и т.д.), минут;
- расстояние, км;
- расход топлива, л;
- стоимость проезда (руб.) и другое.

В качестве основного критерия затрат обычно выбирается время в пути, но могут быть использованы и другие затраты, в том числе показатель обобщенных затрат на поездку, например, для одновременного учета стоимости за проезд по платным участкам автодорог и времени в пути.

В обобщённой постановке под затратами на поездку понимается взвешенное среднее значение нескольких показателей затрат

$$C_{ij} = \sum w_k \cdot c_{ijk}, \quad (4)$$

где  $c_{ijk}$  - значение показателя затрат, усреднённое по всем маршрутам с началом в районе-источнике  $i$  и концом в районе-цели перемещения  $j$ ;

$w_k$  - весовой коэффициент, определяющий вклад частного показателя в обобщенный показатель затрат.

Матрицы затрат используются на этапах распределения корреспонденций по районам и по видам транспорта. Обычно матрицы затраты переводят в безусловные (априорные) вероятности совершения корреспонденций, то есть оценивается выгодность или вероятность совершения индивидом перемещения между определенной парой транспортных районов в зависимости от величины затрат на это перемещение (время в пути). Для этого используются, так называемые, функции полезности совершения поездки (употребляется также функция тяготения и функции оценки субъективной вероятности совершения поездки), которые могут иметь различную форму в зависимости от характеристик транспортного поведения (транспортных предпочтений) населения.

Пусть  $f(c_{ij})$  - функция полезности совершения поездки из района  $i$  в  $j$ ;  $\alpha, \beta, \gamma$  - калибровочные параметры функции полезности. В качестве функции полезности могут использоваться, например, функции следующего вида:

- $f(c_{ij}) = e^{\gamma c_{ij}}$ , - функция Логит;
- $f(c_{ij}) = (c_{ij})^\gamma$ , - функция Кирхгоффа;
- $f(c_{ij}) = e^{\left(\gamma \frac{c_{ij}^{\beta-1}}{\beta}\right)}$ , - функция Бокса-Кокса;
- $f(c_{ij}) = a \cdot c_{ij}^\beta \cdot e^{\gamma c_{ij}}$ , - комбинированная функция;
- $f(c_{ij}) = \frac{1}{c_{ij}^\beta + \gamma c_{ij}^\alpha}$ , - Функция TModel;

Выбор той или иной функции зависит от имеющихся данных о транспортной подвижности населения моделируемой области. Такие данные могут быть получены из социологических опросов населения. Во время проведения социологического опроса респондентов опрашивают обо всех поездках, совершенных в предыдущий день. На основе информации о времени

начала и окончания совершаемых поездок может быть получено распределение количества перемещений в зависимости от времени в пути.

Для расчета матриц корреспонденций чаще используется гравитационная модель, формула которой аналогична физической формуле гравитационного взаимодействия тел. Модель основана на предположении, что величина взаимодействия пропорциональна произведению показателей значимости объектов (объемы прибытий и отправок по районам) и обратно пропорциональна расстоянию (затратам - время на перемещение) между ними.

Формула расчёта объема перемещений между парой транспортных районов (i,j) на основе обобщенной гравитационной модели имеет вид

$$d_{ij} = f(c_{ij}) \cdot P_i \cdot A_j \cdot \alpha_i \cdot \beta_j, \text{ при условии:} \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_j d_{ij} = P_i \\ \sum_i d_{ij} = A_j \end{array} \right.$$

где  $\alpha_i, \beta_j$  - поправочные коэффициенты, обеспечивающие выполнение условий контрольных сумм (общий объем отправок по каждому району равен сумме выходящих из него корреспонденций и общий объем прибытий по каждому району равен сумме входящих в него корреспонденций);

$c_{ij}$  - затраты на перемещение из района i в район j, например, время в пути или расстояние;

$P_i$  - общее число отправок из района i;

$A_j$  - общее число прибытий в район j;

$d_{ij}$  - объем корреспонденций между районами i и j;

$f(c_{ij})$  - функция (неотрицательная, монотонно убывающая) полезности/выгодности совершения поездки из района i в район j.

Еще одним распространенным методом расчета межрайонных корреспонденций является энтропийная модель, которая представляется в форме нелинейной оптимизационной задачи математического программирования. Качество результатов расчета с помощью энтропийной модели напрямую зависит от точности и полноты задания априорных условий по предпочтениям пользователей в перемещениях.

Этап расчета матриц корреспонденций является наиболее важным с точки зрения достоверности конечных результатов моделирования. Несмотря на то, что современные программные комплексы, как правило, имеют удобные встроенные средства расчета матриц корреспонденций, для их правильного использования необходимо иметь понимание теоретических положений.

### **2.1.3 Этап разделения корреспонденций по видам транспорта**

На этапе разделения поездок по видам транспорта (расщепление корреспонденций) происходит оценка того, какие виды транспорта (способы поездки) будут использоваться для реализации полученных на предыдущем шаге межрайонных корреспонденций. На выбор способа совершения поездки влияют как объективные параметры самой поездки, так и субъективные ощущения конкретного пользователя. Факторы, влияющие на выбор пользователем способа поездки, делятся на 3 группы:

- характеристики данного вида транспорта (в первую очередь скорость сообщения, надежность выполнения графика движения, дальность пешеходных подходов, продолжительность ожидания, связанного с необходимостью пересадки, стоимость поездки, а также уровень комфорта, безопасность, возможность телефонных разговоров во время поездки, доступ к Internet и т.п.);
- социально-экономический статус пользователя (наличие личного автомобиля, уровень дохода, состав семьи, деловые или социальные задачи, требующие автомобиля до, после или в рабочее время и т.п.);

- характеристики поездки (цель поездки, время ее выполнения, наличие стоянки и ее стоимость в пункте назначения, наличие попутчиков и их количество и т.п.).

Распределение межрайонных корреспонденций по доступным видам транспорта осуществляется на основе эмпирически полученных зависимостей или с помощью моделей, основанных на вероятностном дискретном выборе (discrete choice theory). Наиболее распространенной моделью такого выбора является LOGIT-модель. В рамках этой модели вводятся функции полезности, оценивающие привлекательность (или полезность) выбора альтернатив – в нашем случае, видов транспорта. В качестве критерия выбора используется максимизация полезности для пользователя или минимизация его затрат.

Целью данного этапа является определение объема перемещений ( $d_{ijk}$ ) между всеми транспортными районами моделируемой территории по каждому виду транспорта  $k$ .

Исходными данными для данного этапа являются:

- матрицы межрайонных корреспонденций, полученных на этапе расчета корреспонденций;
- матрицы затрат для каждого вида транспорта.

Пусть  $\theta_{ijk}$  - доля из общего числа перемещений из района-источника  $i$  в район-цель  $j$ , осуществляемых с использованием вида транспорта  $k$ .

В простейшем случае расчёт  $\theta_{ijk}$  производится следующим образом:

1) Выбирается некоторая функция полезности (вероятности) выбора транспорта вида  $k$ , зависящая от затрат на перемещение.

2) Доля  $\theta_{ijk}$  перемещений из района  $i$  в район  $j$ , осуществляемых с помощью транспорта вида  $k$ , в общем объёме перемещений из района  $i$  в район  $j$ , рассчитывается по формуле

$$\theta_{ijk} = \frac{f(c_{ijk})}{\sum f(c_{ijk})}, \quad (6)$$

где  $c_{ijk}$  - затраты на перемещение из района  $i$  в район  $j$  с использованием вида транспорта  $k$ .

3) Число  $d_{ij}$  перемещений из района  $i$  в район  $j$ , осуществленных с помощью транспорта вида  $k$ , определяется по формуле

$$d_{ijk} = d_{ij} \cdot \theta_{ijk}, \quad (7)$$

где  $d_{ij}$  элемент матрицы корреспонденций, рассчитанный на этапе распределения корреспонденций по районам.

Таким образом, в результате расчета данного этапа должны быть получены матрицы межрайонных корреспонденций, детализированные под каждый способ передвижения.

#### **2.1.4 Этап распределения корреспонденций по транспортной сети**

После того как получены матрицы корреспонденций по слоям спроса, и они разделены на виды транспорта, которыми будут реализованы, необходимо провести перераспределение полученных матриц корреспонденций по транспортному предложению для выбора того или иного пути реализации этих корреспонденций.

Основным с практической точки зрения, хотя и не вполне учитывающим все аспекты поведения участников движения, критерием выбора маршрута является время в пути. Именно эту величину, как правило, кладут в основу измерения затрат на совершение перемещений при построении модели транспортных потоков.



При построении модели и первом расчете транспортного спроса мы обладаем информацией о пропускной способности и разрешенной скорости движения на всех участках сети, а значит, знаем время движения при свободном потоке. Под временем движения на отрезке (ребре графа, участке дороги) при свободном потоке понимается время, которое транспортное средство данного типа затрачивает на перемещение по отрезку из одного его конца в другой, двигаясь с постоянной скоростью, равной скорости движения на данном отрезке при свободном потоке. Другими словами, при таком расчете затрат времени на перемещения мы не учитываем уровень загрузки участков дороги (под уровнем загрузки понимается отношение интенсивности движения к пропускной способности). Таким образом, необходимо в явном виде моделировать зависимость времени в пути по отрезку от его уровня загрузки.

Наиболее часто используемым аналитическим инструментом моделирования зависимости затрат на перемещение по отрезку (в частности, времени в пути) от уровня загрузки отрезка являются так называемые функции ограничения по пропускной способности, часто называемые сокращенно CR-функциями («capacity restraint» - ограничение пропускной способности).

CR-функция представляет собой аналитическую зависимость

$$t_{акт} = f(N \cdot P \cdot t_{св}), \quad (8)$$

где  $t_{акт}$  - время в пути;

$N$  - интенсивность движения;

$P$  - расчетная пропускная способность;

$t_{св}$  - время в пути при свободном потоке (нулевой уровень загрузки).

Отношение интенсивности движения к расчетной пропускной способности описывает уровень загрузки участка дороги и описывается следующей формулой

$$z = \frac{N}{P}, \quad (9)$$

Тогда CR-функцию (значение времени в пути в зависимости от уровня загрузки участка дороги) можно определить с помощью выражения

$$t_{акм} = f(z \cdot t_{св}) \quad (10)$$

Одной из наиболее часто используемых в практике транспортного моделирования CR-функций является так называемая BPR1 (функция, предложенная Bureau of Public Roads, США). Эта функция задаётся следующей формулой

$$t_{акм} = t_{св} \cdot (1 + a \cdot z^b) \quad (11)$$

где  $a$  и  $b$  - параметры CR-функции.

Этап распределения корреспонденций по транспортной сети, дифференцированный по видам транспорта, позволяет получить модельные (расчетные) значения интенсивности транспортных и пассажирских потоков.

Этот этап является завершающим в цикле расчёта транспортного спроса. Существуют различные подходы к расчету данного этапа, отличающиеся по качеству результата, скорости работы алгоритма, его «сходимости» и зависящие от вида транспорта (общественный или индивидуальный).

Распределение транспортных потоков по сети равномерно, если оно удовлетворяет принципу Уордропа (Wardrop), состоящему в том, что корреспонденции должны распределяться по сети таким образом, чтобы затраты (время в пути) по всем маршрутам одной корреспонденции было одинаковым. Другими словами, каждый участник движения выбирает свой маршрут (путь) таким образом, чтобы затраты на всех альтернативных маршрутах были

равнозначными и любой переход на другой путь приводил бы к увеличению личных затрат участника движения. В основе этой гипотезы лежит идея о том, что каждый участник движения владеет полной информацией о сети.

Для общественного транспорта использовалась процедура перераспределения по расписанию. При определении нагрузки ОТ принимают во внимание все отдельные маршруты и расписание движения по ним. При этом учитывается не только время в пути для каждого варианта маршрута, но и время пересадок, а также время пути пешком от центра тяжести района-источника до остановки и от остановки до центра тяжести района-цели.

## **2.6 Гравитационная модель расчета величины межрайонных пассажирских корреспонденций**

Исторически одним из основных методов для определения числа поездок является гравитационный метод, а точнее модифицированная гравитационная модель.

Гравитационная модель разработана на основе всемирного закона тяготения: все тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению масс этих тел и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними [24]

$$F_{ij} = G \frac{m_i \cdot m_j}{r_{ij}^2}, \quad (12)$$

где  $G$  - некоторая константа (гравитационная постоянная).

Аналогично закону Ньютона, транспортная гравитационная модель связывает интенсивность потока  $T$  между полным числом отправок из  $i$  зоны  $Q$  и прибытий в  $j$  зону  $D$  и затратами на передвижение между зонами  $c_{ij}$ .

В случае задачи вычисления корреспонденций в качестве тел выступают порождающие/поглощающие потоки, за массу тела принимается суммарный объем выезжающего/въезжающего потока, в качестве расстояния берутся затраты на проезд (например, обобщенная цена пути). Гравитационная модель записывается в следующем виде

$$T_{ij} = k \frac{Q_i \cdot D_j}{c_{ij}^2}, i = 1 \dots N, k = 1 \dots M, \quad (13)$$

где  $k$  - калибровочный коэффициент,

$Q$  - общее количество зон отправления,

$D$  - общее количество зон прибытия,

$c$  - может быть рассмотрена как расстояние между двумя зонами  $i$  и  $j$ , или как стоимость прохождения расстояния между данными зонами.

Согласно уравнению, величина  $T_{ij}$  пропорциональна  $Q_i$  и  $D_j$  и обратно пропорциональна квадрату "расстояния" между ними  $c_{ij}$ . Но у этого уравнения имеется один очень большой недостаток: если увеличить задаваемые значения спроса и предложения ( $Q_i$  и  $D_j$ ) в два раза, то число поездов в соответствии с уравнением увеличится в четыре раза, хотя на самом деле оно только удвоится.

Для устранения этого очевидного недостатка необходимо дописать следующие ограничения, которые связаны с балансом въезда и выезда.

$$\sum_{i=1}^N T_{ij} = D_j, \forall j = 1 \dots M, \quad (14)$$

Уравнение (14) означает, что суммарный поток (сумма числа поездов), который выехал из всех зон  $i = 1, \dots, N$  в зону  $j$  должны быть равен потоку, который прибыл в зону  $j$ .

$$\sum_{i=1}^M T_{ij} = Q_i, \forall_i = 1 \dots N, \quad (15)$$

Уравнение (15) означает, что суммарный поток, который выехал обратно из всех зон  $j = 1, \dots, M$  в зону  $i$  должен совпадать с числом прибывших в зону  $i$ .

$$T_{ij} \geq 0, \forall_i = 1 \dots N, \forall_j = 1 \dots M. \quad (16)$$

Уравнение налагает ограничение неотрицательности числа поездок, поскольку моделируемая система описывает явление мира реальных вещей. Суммарное количество выехавших из районов  $i$  должно быть равно суммарному количеству прибывших в районы  $j$ . То есть должно обязательно выполняться следующее условие, при этом потоки не должны быть отрицательными.

$$\sum_{i=1}^N Q_i = \sum_{i=1}^M D_j. \quad (17)$$

## **Глава 3 Оценка эффективности методики расчета транспортного спроса (на примере микрорайонов «Студенческий городок», «Госуниверситет», «Академгородок»)**

### **3.1 Характеристика транспортных микрорайонов**

Микрорайон Студенческий городок, находится на западе города Красноярска.

В микрорайоне имеются следующие улицы: Академика Киренского, Борисова, Ленинградская, Орбита, Чкалов, Овражная, Пирогова, Юбилейная, Софьи Ковалевской, Днепропетровская, Крутая, Огородная. Большая часть территории микрорайона представлена жилой застройкой: многоквартирными и частными домами.

В районе располагаются: учебные корпуса и общежития СФУ, в настоящее время построен новый комплекс общежитий «Перья», два новых учебных корпуса и новый спортивный стадион «Политехник», также располагаются учебные корпуса и общежития КрасГАУ, которые являются основными центрами транспортного тяготения. В настоящее время микрорайон активно застраивается многоэтажными жилыми домами.

Площадь микрорайона составляет 1,49 км<sup>2</sup>

В микрорайоне Студенческий городок имеется семь остановочных пунктов - ост. «Лесная», ост. «Станция Юннатов», ост. «Краевая детская больница», ост. «Гремячий лог», ост. «Гастроном», ост. «Поликлиника» и ост. «Студгородок».

В микрорайоне проходит 5 автобусных и 1 троллейбусный маршрут

Автобусные маршруты:

- № 2 - «Дом ученых - А/В «Восточный»;
- № 3 - «Студенческий городок - А/В «Восточный»;
- № 63 - «Академгородок - мкрн. Солнечный (ул. Светлова)»;

- № 83 - «Дом ученых - Ульяновский проспект»;
- №38 - «Дом ученых - пос. Таймыр»;

Троллейбусный маршрут:

- № 5 - «Студенческий городок - Ж/д вокзал»

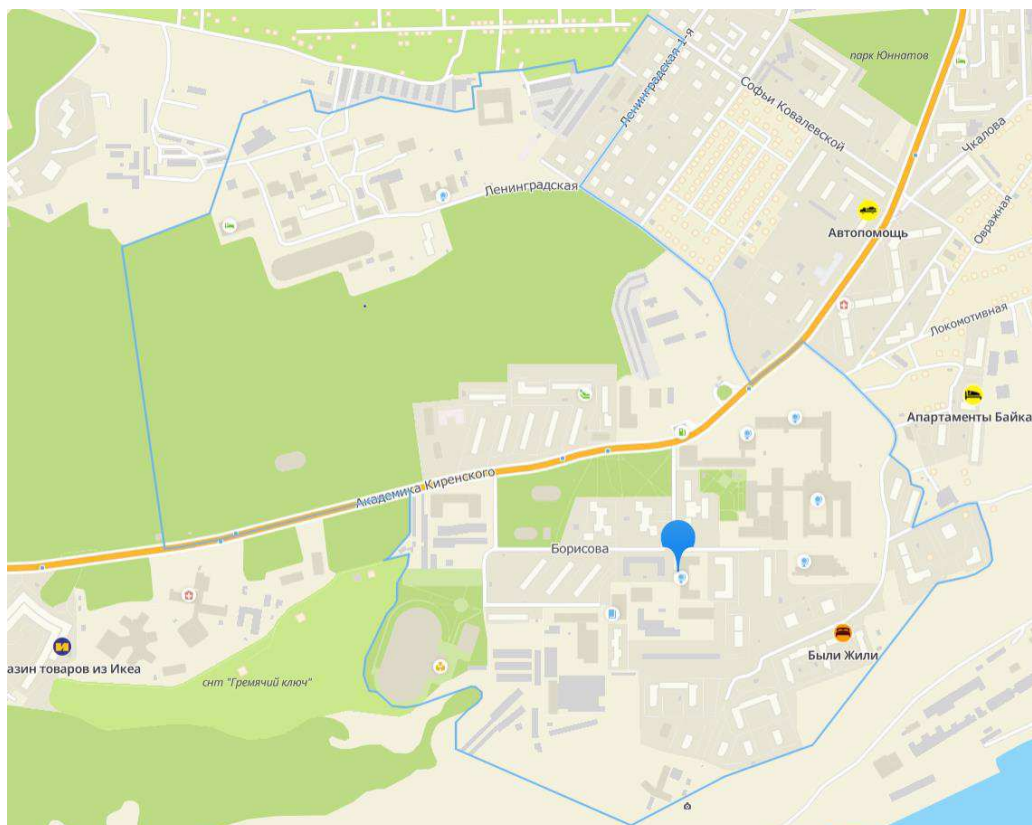


Рисунок 3 – Микрорайон «Студенческий городок»

Микрорайон Госуниверситет - микрорайон в котором располагаются институты СФУ, множество общежитий и спортивных сооружений, расположенный в западной части Октябрьского района города Красноярск. В микрорайоне имеется одна улица: Проспект Свободный.

В микрорайоне Госуниверситет имеется два остановочных пункта: ост. «Сопка» и ост. «Сибирский федеральный университет».

В микрорайоне проходит 5 автобусных маршрутов:

- № 12— «С/х удачный- Станция Красноярск»
- № 31 — «Академия биатлона-ЛДК»

- № 32 — «Академия биатлона - 3-я Дальневосточная»
- № 88 — «Спортзал - Академия биатлона»
- № 90 — «Сибирский федеральный университет - Верхняя Базаиха»

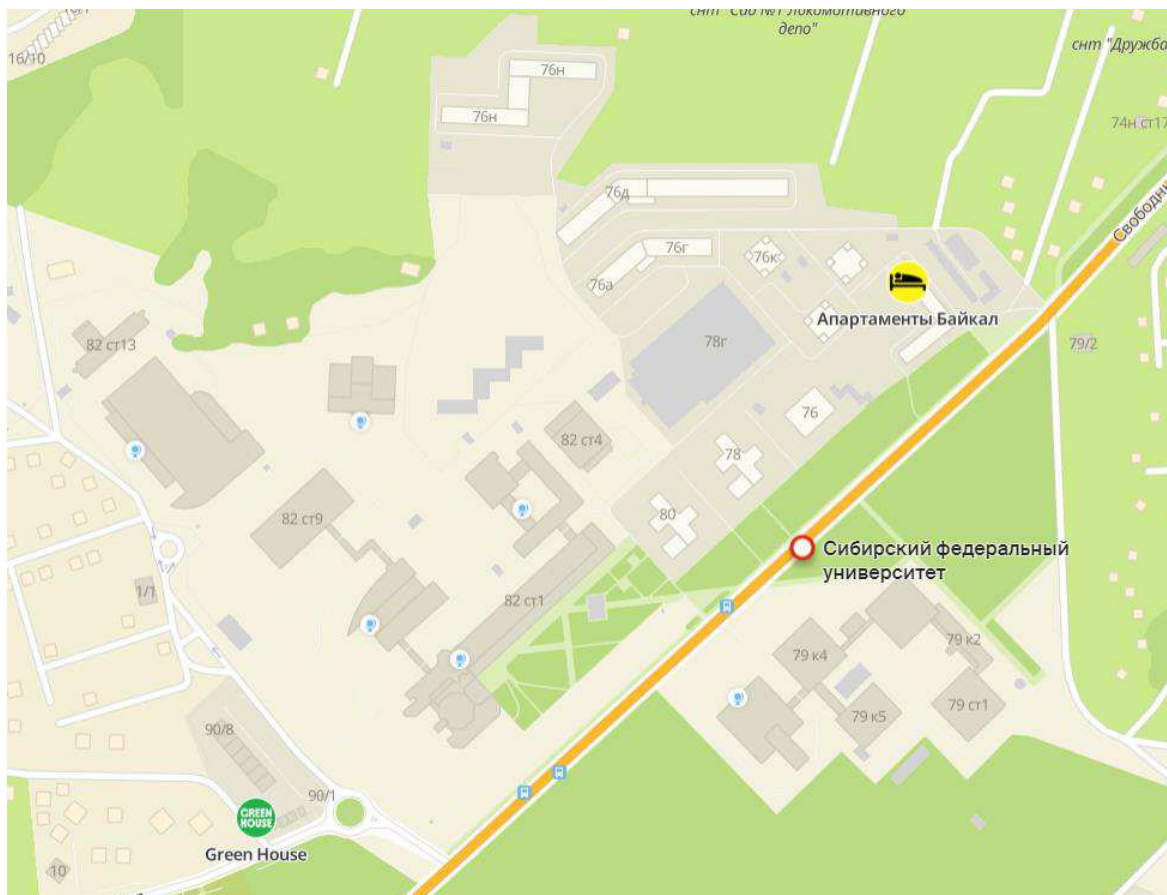


Рисунок 4 – Микрорайон «Госуниверситет»

Академгородок – микрорайон, который находится в Октябрьском районе на западе города Красноярска. В Академгородок с севера и юга территория ограничена жилыми застройками, с запада - дорогой, соединяющей проспект Свободный с улицей Академика Киренского, с востока - также территория ограничена жилыми застройками. Микрорайон обслуживается ч автобусными маршрутами.

Автобусные маршруты:

- № 2- «Дом ученых - А/В «Восточный»»
- № 38 - «Дом ученых - пос. Таймыр»



- № 63 - «Академгородок - мкрн. Солнечный (ул. Светлова)»

- № 83 - «Дом ученых - Профилакторий з-да КраМЗ»

В районе «Академгородок» располагаются более 20 научных учреждений и организаций, среди которых:

- Институт леса имени В. Н. Сукачева СО РАН

- Институт физики имени Л. В. Киренского СО РАН

- Институт вычислительного моделирования СО РАН

- Институт биофизики СО РАН

- Институт химии и химической технологии СО РАН

- СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН

Также учебные корпуса Военно-инженерного института СФУ и общежитие №1 СФУ, которые являются основными центрами транспортного тяготения.

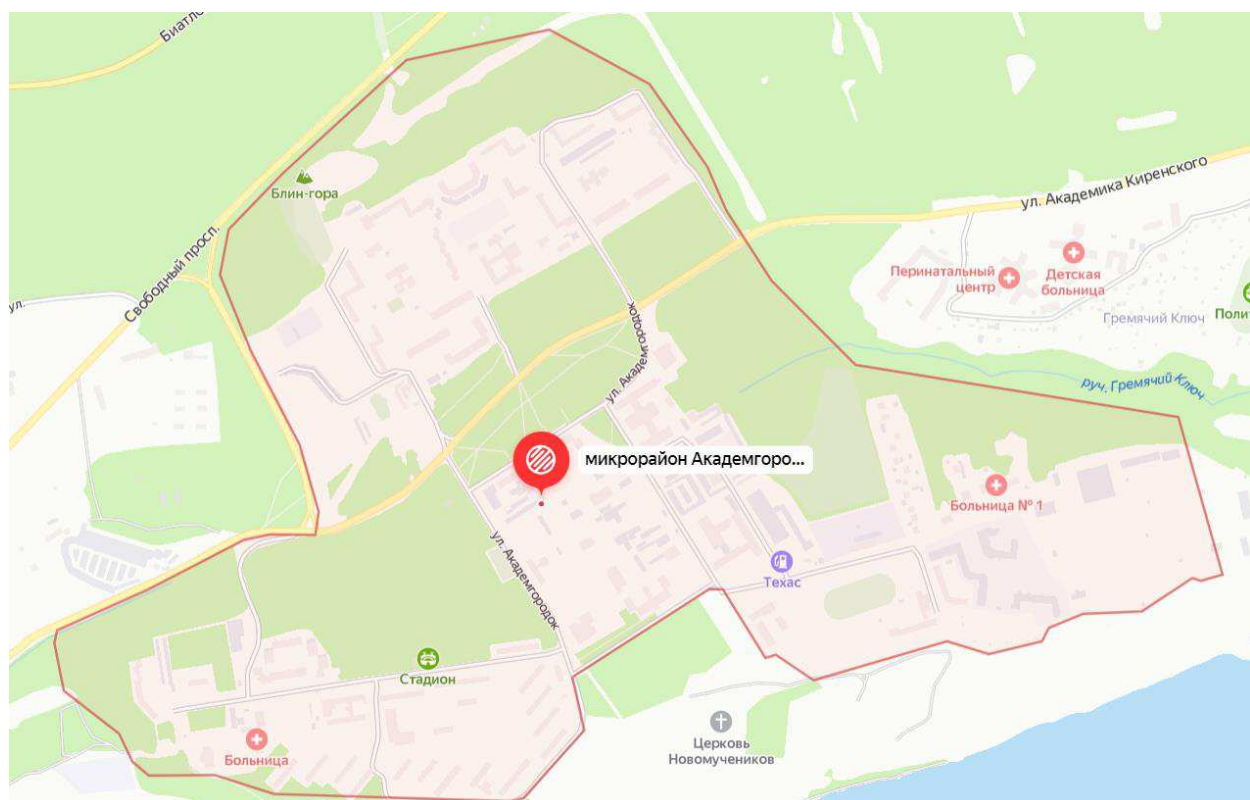


Рисунок 5 – Микрорайон «Академгородок»

### 3.2 Транспортное районирование

Первым этапом при определении корреспонденций, проводят разбивку города на расчетные транспортные районы, число и размеры которых выбирают в зависимости от:

- размера территории города и его
- планировочных особенностей города.

Стоит принять во внимание, что более точному определению корреспонденций, соответствует большее число расчетных транспортных районов. Однако одновременно увеличивается трудоемкость расчетов [7].

Размеры территории расчетных зон должны быть такими, чтобы жители при передвижении внутри них не пользовались транспортом, а расстояние пешего подхода от наиболее удаленной точки до транспортной линии в зоне не превышало 500 м (радиус пешеходной доступности).

При назначении границ и определении конфигурации зон следует учитывать направление передвижения жителей к предполагаемым линиям массового пассажирского транспорта и их распределение по транспортной сети. Границами районов являются различные естественные рубежи: реки, водохранилища, овраги, полосы отвода железных дорог, заборы предприятий, крупные массивы зеленых насаждений и пр., препятствующие сообщению между районами. При отсутствии естественных преград границы районов назначают по линиям, равноудаленным от уличных магистралей, по которым предполагается трассирование линий пассажирского транспорта. В каждом транспортном районе необходимо предусмотреть как минимум одну магистраль, которая по возможности являлась бы его осью симметрии.

Кроме этого, при разбивке нужно стремиться к выделению транспортных районов с определенным планировочным профилем (жилой с однотипной застройкой, административный, общественно-культурный) с четким обозначением в каждом районе пассажирообразующих пунктов. Общегородские

пункты массового тяготения (промышленные районы, парки, стадионы, торгово-развлекательные центры и т.п.) следует выделять в отдельные расчетные зоны.

После разбивки города на расчетные зоны на транспортной сети в каждой из них определяют центр тяжести пассажиропотоков (обозначается точкой) как геометрический центр транспортной сети зоны, смещенный в сторону основных пассажирообразующих пунктов. За центр тяжести транспортного района может быть принят многофункциональный пересадочный узел или наиболее нагруженный центрально расположенный остановочный пункт (обычно на пересечении транспортных линий).

Используя электронную карту города поделим территорию трех микрорайонов на транспортные районы. Центр тяготения пассажиропотоков отметим остановочные пункты общественного транспорта. Схема деления моделируемой территории на транспортные районы представлена на рисунке 6.

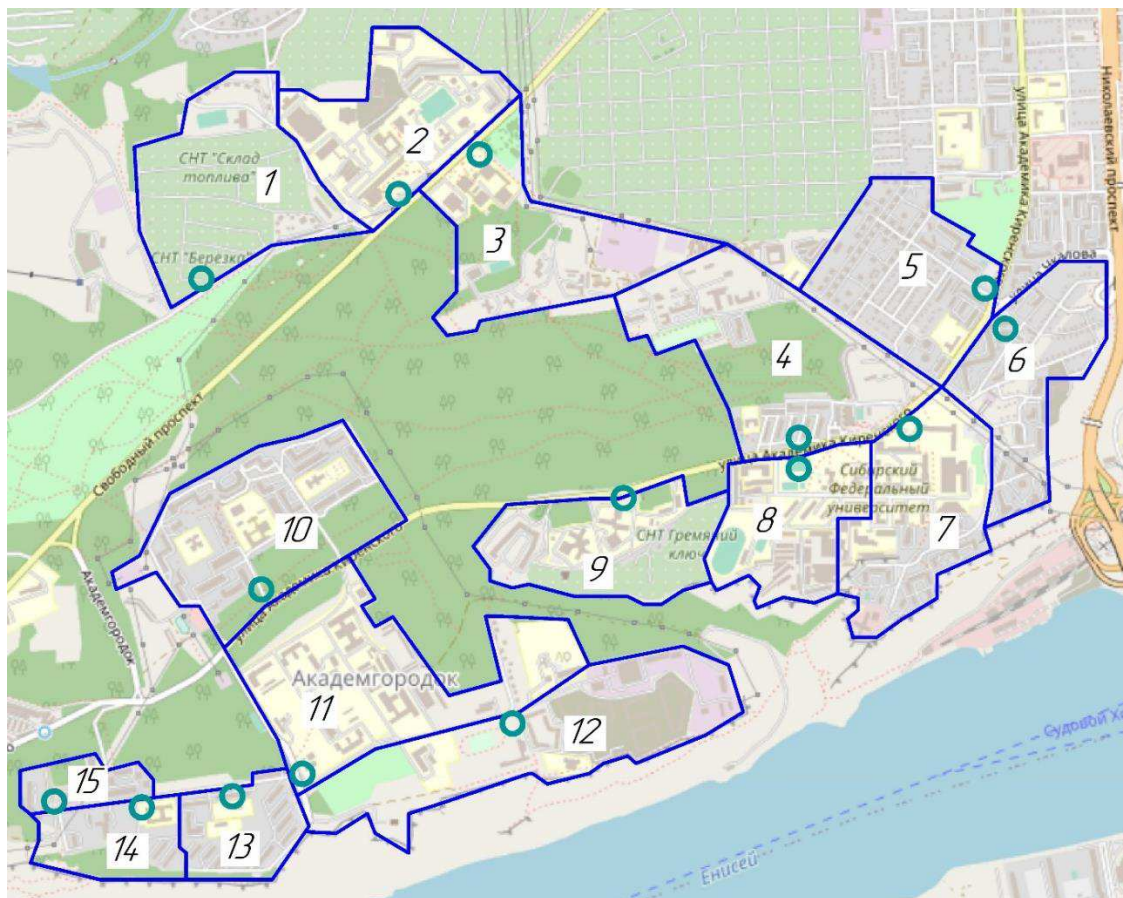


Рисунок 6 - Транспортные районы

### 3.3 Оценка численности населения и емкости расчетных зон

Исходными данными для определения численности населения и емкости зон застройки является фактическая численность проживающего в зоне населения и численность работающих на предприятиях и в учреждениях, расположенных в рассматриваемом районе.

Число проживающего населения и емкости транспортных районов подсчитывают по размеру зоны, плотности и этажности застройки, принимаемым по действующим СНиП. В нашем случае население в каждом транспортном районе будем подсчитывать следующим образом. С помощью детализированной до домов электронной карты г. Красноярска подсчитаем "вручную" в каждом районе число жилых домов разной этажности.

Зависимость числа проживающих в жилом доме людей от числа этажей в данном доме представлена в таблице 1

Таблица 1 – Зависимость числа проживающих от этажности домов

Число этажей в доме	Число проживающих людей
частные дома	2
1-этажные	10
2-этажные	30
3-этажные	45
4-этажные	96
5-этажные	150
6-этажные	180
7-этажные	224
8-этажные	280
9-этажные	315
10-этажные	320
11-этажные	352
12-этажные	384
13-этажные	312
14-этажные	336
15-этажные	360
16-этажные	384
17-этажные	408
20-этажные	624

Зная количество жилых домов разной этажности, которые находятся в районе, умножим их на соответствующее число проживающих людей в доме данной этажности и затем просуммируем. Результаты вычислений представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Численность населения по транспортным районам

Транспортный район	Численность населения	Центр тяготения (Остановочный пункт)
1	276	Спорткомплекс Сопка
2	4545	Сопка
3	1265	СФУ
4	2586	Студгородок, Гастроном
5	4432	Поликлиника(ул. Киренского)
6	5819	Поликлиника(ул. Киренского)
7	7081	Студгородок
8	1545	Гастроном
9	418	Краевая детская больница Гремячий лог
10	4964	Лесная, Институт ( ж/м Академгородок)
11	18	Академгородок
12	384	Академгородок
13	2270	Центр социальной защиты
14	1224	Военный институт (Академгородок)
15	1750	Дом ученых
Итого	38577	

Объекты притяжения, т. е. места, где заканчиваются передвижения людей, в городе разнообразны, и их число зависит от размеров города, его народнохозяйственного профиля, географического положения и многих других факторов.

Основные объекты притяжения - места приложения труда: заводы, фабрики, учреждения, научные и проектные институты, строительные площадки, объекты торговли, культуры и многие другие, т. е. все места, где используется труд человека.

Другие объекты притяжения - учебные заведения, магазины, рынки, предприятия коммунально-бытового обслуживания, детские учреждения (ясли,

сады, школы), пункты зрелищного и культурного обслуживания, сооружения внешнего транспорта и т. п.

Для нахождения вектора прибытия, определим места притяжения населения и их емкость:

- Средние и крупные предприятия;
- Учебные заведения;
- Больницы и больничные учреждения.

Информацию о больницах и больничных учреждениях, данные по количеству учащихся в средних учебных заведениях, информацию о крупных предприятиях, расположенных в транспортных районах, а также о числе занятых взята из официальных сайтов учреждений и на официальном сайте администрации г. Красноярска [25].

Информация, полученная в результате обработки всех данных, представлена в таблице 3.

Таблица 3 - Численность притяжения по транспортным районам

Транспортный район	Численность мест притяжения	Центр тяготения (Остановочный пункт)
1	38	Спорткомплекс Сопка
2	3946	Сопка
3	2335	СФУ
4	145	Студгородок, Гастроном
5	86	Поликлиника(ул. Киренского)
6	52	Поликлиника(ул. Киренского)
7	4687	Студгородок
8	454	Гастроном
9	1607	Краевая детская больница Гремячий лог
10	42	Лесная, Институт ( ж/м Академгородок)
11	2269	Академгородок
12	153	Академгородок
13	62	Центр социальной защиты
14	896	Военный институт (Академгородок)
15	27	Дом ученых
Итого	16799	

В качестве критерия оценки путей при расчете корреспонденций используется затраты передвижения, которые включает в себя факторы разной природы, такие как время, расстояние или цена (денежные затраты) передвижения. Под затратами пути понимается критерий, на основании которого пользователь оценивает альтернативные пути и способы передвижения. Обобщенная цена определяется как взвешенная сумма слагаемых, выражающих влияние факторов различной природы на оценку пути. В общем случае она может включать в себя следующие составляющие:

- время передвижения;
- дополнительные задержки на различных элементах транспортной сети (время парковки, время ожидания);
- денежные затраты (платные магистрали, плата за въезд в определенные зоны города).

Таблица 4 - Матрица затрат пути при движении между пунктами, км

Зоны зарождения поездок $i$	Зоны притяжения поездок $j$														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	0,7	1	1,8	5,7	5,7	5,4	5,2	4,9	4,2	3,9	3,1	3,2	4	3,4
2	0,7	0	0,4	0,9	5,8	5,8	5,5	5,3	5	4,3	4	3,2	3,3	4,1	3,5
3	1	0,4	0	0,7	5,8	5,8	5,5	5,3	5	4,3	4	3,2	3,3	4,1	3,5
4	1,8	0,9	0,7	0	1	0,9	0,4	0,2	0,7	1,9	2,6	3,4	2,9	3,2	3,5
5	5,7	5,8	5,8	1	0	0,2	0,6	1	1,7	2,9	3,6	4,4	3,9	4,2	4,5
6	5,7	5,8	5,8	0,9	0,2	0	0,5	0,9	1,6	2,8	3,5	4,3	3,8	4,1	4,4
7	5,4	5,5	5,5	0,4	0,6	0,5	0	0,4	1,1	2,3	3	3,8	3,3	3,6	3,9
8	5,2	5,3	5,3	0,2	1	0,9	0,4	0	0,7	1,9	2,6	3,4	2,9	3,2	3,5
9	4,9	5	5	0,7	1,7	1,6	1,1	0,7	0	1,2	1,9	2,7	2,2	2,5	2,8
10	4,2	4,3	4,3	1,9	2,9	2,8	2,3	1,9	1,2	0	0,7	1,5	1	1,3	1,6
11	3,9	4	4	2,6	3,6	3,5	3	2,6	1,9	0,7	0	0,8	0,3	0,5	0,8
12	3,1	3,2	3,2	3,4	4,4	4,3	3,8	3,4	2,7	1,5	0,8	0	1	1,3	1,6
13	3,2	3,3	3,3	2,9	3,9	3,8	3,3	2,9	2,2	1	0,3	1	0	0,3	0,6
14	4	4,1	4,1	3,2	4,2	4,1	3,6	3,2	2,5	1,3	0,5	1,3	0,3	0	0,3
15	3,4	3,5	3,5	3,5	4,5	4,4	3,9	3,5	2,8	1,6	0,8	1,6	0,6	0,3	0

Для определения емкости транспортных районов необходимо собрать и обработать большой объем статистической транспортной информации. Получение подобной информации позволяет рассчитать емкости транспортных районов, где главным условием для их определения есть равенство суммарных объемов прибытия и отправления пассажиров.

Для выполнения данного условия, которое является необходимым для корректного расчета матрицы корреспонденций, в общем виде возникает необходимость балансировки емкостей прибытия и отправления автомобилей. В результате для расчета матрицы корреспонденции требуется проводить необоснованные, субъективные преобразования результатов расчетов и натурных наблюдений с целью уравнивать емкости прибытия и отправления.

В развитых странах подобная проблема не является актуальной, так как достаточная материально-техническая база позволяет создавать модели исследуемого объекта таких размеров, когда его границы становятся достаточно четкими. Обычно это границы целых городов или регионов. Это означает, что разница между прибытием и отправлением пассажиров становится незначительной за счет полного охвата возможных передвижений внутри моделируемого объекта за достаточно продолжительные периоды времени

#### **3.4 Аналитический метод распределения социального состава населения**

Социальный состав населения города определяют на основании отчетных данных. При этом учитывают его изменения на перспективу в связи с ростом промышленного производства и других факторов. Число передвижений по группам населения также должно определяться с учетом возможного изменения на перспективу режима работы трудящихся [7].

Для выявления общего размера передвижений по расчетным зонам и в целом по городу все население делят на структурные группы:



- градообразующие и градообслуживающие кадры (рабочие и служащие);
- учащиеся высших учебных заведений, средних специальных учебных заведений и технических училищ;
- несамодеятельное население (дети дошкольного возраста, пенсионеры, учащиеся школ и др.).

По расчетным зонам соотношение количества населения выделенных структурных групп обычно неодинаково и подлежит уточнению. Чаще всего на это влияет изменение доли первой и второй групп населения, когда в отдельных расчетных зонах размещаются, например, общежитие рабочих или студенческий городок.

Таблица 5 - Соотношение численности структурных групп населения

Группа населения	Удельный вес населения, %
1-я группа рабочие и служащие	57,6
2-я группа учащиеся	4,8
3-я группа несамодеятельное население	37,6
Итого	100

По данным выборочного обследования рабочей силы, уровень занятости населения в возрасте 15 лет и старше (доля занятого населения в общей численности населения соответствующего возраста) в августе-октябре 2020 г. составил 57,6%, доля учащихся 4,8%. Распределение численности населения транспортных районов по социальным группам представлено в таблице 6.

Население каждой группы в зависимости от характера занятости, потребности в отдыхе, культурных развлечениях и т.п. будет совершать определенное количество передвижений. Для наиболее полного и точного определения количества передвижений, совершаемых в городе населением, их делят на две категории: а) трудовые и деловые; б) культурно-бытовые.

Таблица 6 - Численность населения по группам в транспортном районе, чел.

Транспортный район	Группы населения		
	Градообразующая	Учащиеся	Несамодетельное население
1	159	13	104
2	2618	218	1709
3	729	61	476
4	1490	124	972
5	2553	213	1666
6	3352	279	2188
7	4079	340	2662
8	890	74	580
9	241	20	157
10	2859	238	1866
11	10	1	7
12	221	18	144
13	1308	109	854
14	705	59	460
15	1008	84	658
Итого	22220	1852	14505

Трудовые передвижения совершаются жителями 1-й и 2-й групп — передвижения на работу и с работы, на учебу и с учебы, и с трудовыми целями в течение рабочего дня. Эти передвижения подсчитываются исходя из количества рабочих (для рабочих и служащих) и количества учебных (для студентов и учащихся) дней в году.

Деловые передвижения составляют 5...10 % от размера трудовых передвижений и совершаются в течение рабочего дня только городскими жителями первой группы и приезжими командированными.

Культурно-бытовые передвижения совершает все население. Их количество зависит от многих факторов, главным образом от свободного времени, физической активности и принимается отдельно для каждой группы населения.

Число передвижений различных групп населения показано в таблице 7.

Таблица 7 - Число передвижений различных групп населения

Группы населения	Среднее число передвижений в год на одного передвигающегося		
	Трудовые	Деловые	Культурно бытовые
Градообразующие и обслуживающие кадры	550	55	400
Учащиеся вузов и техникумов	480	—	700
Несамодостаточное население	—	—	350

Таблица 8 - Число передвижений по транспортным районам, тыс.

Транспортный район	Категория передвижений		
	Трудовые и деловые	Связанные с учебой	Культурно-бытовые
1	96	6	109
2	1583	104	1798
3	441	29	500
4	901	59	1023
5	1544	102	1753
6	2027	134	2302
7	2467	163	2801
8	538	35	611
9	146	9	165
10	1729	114	1964
11	6	1	7
12	133	8	152
13	791	52	898
14	426	25	484
15	610	40	692
Итого	13438	881	15259

Для создания полноценной и точной модели транспортных и пассажирских потоков города с возможностью краткосрочного прогнозирования необходимо продолжительное время для проведения транспортного обследования. Сложный и непредсказуемый характер транспортных систем и поведения людей заставляет учитывать множество различных факторов, усложняя методы и модели, что требует, в конечном итоге, большого объема исходных данных и высоких вычислительных мощностей.

## Анализ маршрутной сети

Для анализа маршрутной сети рассчитаем следующие показатели: маршрутный коэффициент, плотность транспортной сети. Основные требования, предъявляемые к городской маршрутной системе, сводятся к обеспечению для пассажиров минимального количества пересадок при одной поездке и наименьших затрат времени на одну поездку в любом направлении города. А также обеспечение эффективного использования подвижного состава, т.е. равномерного их наполнения на всей длине маршрутной сети.

Районы города, в которые можно добраться без пересадок из микрорайона «Госуниверситет» представлена в таблице 9.

Таблица 9 - Районы города, доступные без пересадок

Район города	Маршрут
Центральный	32,88
Октябрьский	12,31,32,88,90
Железнодорожный район	12,31,32,88,90
Советский	12,88
Свердловский	31
Кировский	90
Ленинский	90
Солнечный	Отсутствует
Северный	12, 88
Зеленая роща	88
Предмостная площадь	90
Северо-западный	88
Академгородок	12

Таким образом, мы видим, что отсутствует прямой маршрут, который связывает микрорайон «Госуниверситет» с микрорайоном «Солнечный».

Маршрутный коэффициент показывает, сколько маршрутов проходит в среднем на каждом участке автобусной транспортной сети. Чем выше маршрутный коэффициент, тем больше удобств предоставляется пассажирам при выборе маршрута прямого сообщения и тем самым сокращается количество пересадок с одного маршрута на другой. Маршрутный коэффициент находится по формуле

$$K_M = \frac{\sum L_M}{\sum L_C}, \quad (18)$$

где  $L_M$  - сумма длин всех маршрутов,

$L_C$  - сумма длин улиц, по которым проходят маршруты.

Длина всех маршрутов в микрорайоне «Госунiversитет» составляет 7,5 километров. Длина рассматриваемого участка района по которой пролегают маршруты составляет 2,34 километра.

$$K_M = \frac{7,5}{2,34} = 3,2.$$

Для хорошо развитой маршрутной сети значение данного коэффициента находится в пределах:  $K_M = 2-3,5$  и даже более, а для слаборазвитой  $K_M = 1,2-1,3$ .

Исходя из значения маршрутного коэффициента, можно сделать вывод, что маршрутная сеть микрорайона Госунiversитет развита хорошо.

Плотность транспортной сети (линий наземного общественного транспорта) – отношение протяженности линий общественного транспорта к площади застроенной территории, км/км<sup>2</sup> находится по формуле

$$\delta = \frac{L_C}{F}, \quad (19)$$

где  $L_C$  - протяженность транспортной сети, км,

$F$  - площадь населенного пункта, км<sup>2</sup>.

Площадь микрорайона «Госуниверситет» равна 1,3 км<sup>2</sup>.

$$\delta = \frac{2,34}{1,37} = 1,7.$$

Плотность транспортной сети характеризует насыщенность территории города линиями автобусного транспорта. От плотности автобусной сети зависит время, затрачиваемое пассажирами на подход к автобусным линиям. Значение плотности транспортной сети по отдельным районам населенного пункта может быть различным. Рекомендуются следующие значения плотности транспортной сети:

- в центральной зоне плотность сети должна составлять 3,5-4,2 км/км<sup>2</sup>;
- в средней зоне - 2,2-3,0 км/км<sup>2</sup>;
- в периферийной зоне - 1,0-1,2 км/км<sup>2</sup>.

Значение плотности маршрутной сети микрорайона «Госуниверситет» соответствует среднему значению. Маршрутная сеть имеет среднюю разветвленность.

Рассмотрим микрорайон «Студенческий городок». Основной улицей по которой проходят все маршруты является улица Академика Киренского

Районы города, в которые можно добраться без пересадок из микрорайона «Студенческий городок» представлена в таблице 10.

Длина всех маршрутов в микрорайоне составляет 16,56 километров. Длина рассматриваемого участка улицы по которой пролегают маршруты составляет 2,9 километра.

Таблица 10 - Районы города, доступные без пересадок

Район города	Маршрут
Центральный	2, 3, 63, 83
Октябрьский	2, 3, 38, 63, 83, 5т
Железнодорожный район	3, 2, 63, 83, 5т,
Свердловский	отсутствует
Кировский	3,2
Ленинский	3,2
Советский	63
Солнечный	63
Зеленая роща	83
Предмостная площадь	3,2
Северо-западный	38

Таким образом, мы видим, что отсутствует прямой маршрут, который связывает микрорайон «Студенческий городок» со Свердловским районом города.

Маршрутный коэффициент для микрорайона «Студенческий городок» составляет

$$K_M = \frac{16,56}{2,9} = 5,7.$$

Для хорошо развитой маршрутной сети значение данного коэффициента находится в пределах:  $K_M = 2-3,5$  и даже более, а для слаборазвитой  $K_M = 1,2-1,3$ .

Исходя из значения маршрутного коэффициента, можно сделать вывод, что маршрутная сеть микрорайона студенческий городок развита хорошо.

Площадь микрорайона «Студенческий городок» равна  $1,49 \text{ км}^2$ . Тогда плотность транспортной сети микрорайона студенческий городок равна

$$\delta = \frac{2,9}{1,49} = 1,94 \text{ км} / \text{км}^2.$$

Значение плотности маршрутной сети микрорайона Студенческий городок не соответствует значению крупных городов, поскольку в микрорайоне одна улица по которой следуют транспортные средства.

Районы города, в которые можно добраться без пересадок из микрорайона «Академгородок» представлена в таблице 11.

Таблица 11 - Территории города, доступные без пересадок

Район города	Маршрут
Центральный район	2, 63, 83
Октябрьский район	2, 38, 63,83
Железнодорожный район	2, 38
Советский	83,63
Кировский	2
Ленинский	2
Свердловский	отсутствует
Предмостная площадь	2
Солнечный	63
Северный	63
Зелёная роща	83

Таким образом, мы видим, что отсутствует прямой маршрут, который связывает микрорайон «Академгородок» со Свердловским районом города.

Основными улицами, по которым проходят маршруты, являются Академгородок и Академика Киренского.

Длина всех маршрутов составляет 8,55 километра. Сумма длин улиц, по которым пролегают маршруты, составляет 2,92 километра.

Маршрутный коэффициент для микрорайона Академгородок составляет



$$K_M = \frac{8,55}{2,92} = 2,93.$$

Исходя из значения маршрутного коэффициента, можно сделать вывод, что маршрутная сеть микрорайона Академгородок развита хорошо, поскольку по главной улице следует 4 маршрута.

Площадь микрорайона «Академгородок» составляет 1,715 км<sup>2</sup>.

Плотность транспортной сети микрорайона «Академгородок» к равна

$$\delta = \frac{2,92}{1,715} = 1,7 \text{ км} / \text{км}^2.$$

Значение плотности маршрутной сети микрорайона Академгородок не соответствует значению крупных городов. Маршрутная сеть имеет слабовыраженную разветвлённость.

Результаты анализа маршрутной сети микрорайонов «Студенческий городок», «Госуниверситет», «Академгородок» г. Красноярска представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Анализ показателей маршрутной сети

Показатель	Госуниверситет	Студенческий городок	Академгородок
Маршрутный коэффициент	3,2	5,7	2,93
Плотность транспортной сети	1,7	1,94	1,7

Таким образом, маршрутная сеть микрорайонов «Студенческий городок», «Госуниверситет», «Академгородок» г. Красноярска развита хорошо, поскольку значения маршрутного коэффициента имеют высокий показатель. Значение плотности маршрутной сети микрорайонов не соответствует значению крупных

городов, поскольку в микрорайонах расположена одна магистральная улица по которой следуют маршрутные транспортные средства.

### **Анализ интервалов движения**

Интервал движения автобусов на маршруте относится к основным техническим показателям маршрутов и непосредственно влияют на качество обслуживания пассажиров транспортном общего пользования. От интервалов движения непосредственно зависит время ожидания автобуса на остановочном пункте. Фактические интервалы движения на маршрутах приведены в Таблице

Нормативы интервалов движения и насыщения маршрутов автобусами для разных пассажиропотоков устанавливаются по отраслевому стандарту Р 3112178-0343-95 «Городские пассажирские перевозки. Качество обслуживания».

Нормативы интервалов движения и насыщения маршрутов автобусами для разных пассажиропотоков в соответствии с требованиями Р 3112178-0343 — 95 приведены в таблице 13

Таблица 13 – Нормативы интервалов движения и насыщения маршрутов автобусами для разных пассажиропотоков

Пассажиропоток, пасс./ч	Интервал движения, мин	Число автобусов на 1 км сети
До 750	6	0,5
750-1500	4	1
1500-2250	2,7	1,5
2250-3000	2	2,6
3000-3750	1,6	2,5
3750-4500	1,3	3
Свыше 4500	1	4

По интервалу движению маршрута по удобству использования для населения оценивают по шкале, приведённой в таблице 14.

Таблица 14 - Степень удобства использования маршрута относительно частоты движения

Степень удобства использования маршрута	Величина интервала, мин
Очень удобный	До 2
Удобный	2...4
Приемлемый	5...7
Мало удобный	8...10
Неудобный	Свыше 10

В таблице 15 представлены интервалы движения автобусов по данным МКУ «Красноярскгортранс» [26] для микрорайона «Госуниверситет», интервалы будут представлены с 6:00 до 9:00, с 9:00 до 16:30, с 16:30 до 19:00, а также после 19:00. Так же интервалы будут представлены в будние дни и выходные на 5 маршрутах: 12,31,32,88,90.

Таблица 15 - Интервалы движения автобусов, проходящих через микрорайон «Госуниверситет»

Маршрут	Дни недели	Интервал движения, минут			
		с 6:00 до 9:00	с 9:00 до 16:30	с 16:30 до 19:00	после 19:00
12	будние	14	18	13	14
	выходные	16	20	15	16
31	будние	13	16	13	22
	выходные	15	24	22	24
32	будние	12	12-24	12	12-24
	выходные	16-30	16-30	16-30	16-30
88	будние	10	10-20	10	10-20
	выходные	12-20	12-20	12-20	12-20
90	будние	10	10-15	10	10-15
	выходные	11-20	11-20	11-20	11-20

Исходя из таблицы видно, что в час пик с 6:00 до 9:00 в интервал 10 минут попадают только 2 маршрута (90,88), интервал остальных маршрутов превышает 10 минут и составляет 12 минут и выше. В час пик с 16:30 до 19:00 ситуация аналогичная.

Рассмотрим интервалы движения в микрорайоне «Студенческий городок». По данным МКУ «Красноярскгортранс» интервалы движения маршрутов городского транспорта представлены в таблице 16 [26].

Таблица 16 - Интервалы движения транспорта проходящих через Студенческий городок

Маршрут	Дни недели	Интервал движения, минут			
		с 6:00 до 9:00	с 9:00 до 16:30	с 16:30 до 19:00	после 19:00
2	будние	10	10-20	10	10-20
	выходные	12-26	12-26	12-26	12-26
3	будние	10	10-16	10	10-16
	выходные	10-20	10-20	10-20	10-20
38	будние	8	8-16	8	8-16
	выходные	12-26	12-26	12-26	12-26
63	будние	12	12-20	12	12-20
	выходные	15-22	15-22	15-22	15-22
83	будние	11	13	13	19
	выходные	11	13	13	19
5т	будние	12	14	12	17
	выходные	14	16	14	24

Исходя из таблицы видно, что в утренний час пик с 6:00 до 9:00 в интервал движения 10 минут попадает 3 автобуса: 2, 3, 38. У оставшихся интервал составляет более 10 минут.

### 3.7 Графоаналитический метод определения интервала движения

Эффективность использования автобусы различных моделей и вместимости для перевозки пассажиров неодинакова, если номинальная вместимость не будет соответствовать фактической пассажиронапряженности на маршруте. Использование автобусов малой вместимости при большой мощности пассажиропотоков уменьшает интервал движения, но при этом увеличивает потребное количество транспорта средств, повышает загрузку улиц и потребность в водителях. Применение же автобусов большой вместимости на направлениях с пассажиропотоками малой мощности приводит к значительным интервалам движения автобусов и к излишним затратам времени пассажиров на ожидание.

Рассмотрим автобусный маршрут №63 «Академгородок - Солнечный», поскольку интервал движения на маршруте превышает 10 минут.

По данным МКУ «Красноярскгортранс» в таблице 17 представлены основные показатели маршрута, а в таблице 18 представлено распределение пассажиропотоков по часам суток [26].

Таблица 17 - Показатели маршрута

Показатели маршрута	Значения
Протяженность	31,5 км
Количество промежуточных остановок	51
Эксплуатационная скорость	20,35 км/ч
Максимальный поток	1218 пасс./час

Таблица 18 - Распределение пассажиропотоков и их неравномерность по часам суток

Распределение пассажиропотоков по часам суток	
Часы суток	Число пассажиров
05	0
06	852
07	1170
08	1162
09	1070
10	695
11	817
12	820
13	827
14	1113
15	811
16	1218
17	1184
18	1108
19	690
20	507
21	287
22	141
23	14
24	0
Всего	14567

Графоаналитический метод заключается в следующем. В зависимости от мощности пассажиропотока в час пик выбирается ориентировочное значение вместимости автобуса по таблице. Затем выбираются два типа автобусов, условно названных автобусами большей ( $q_1$ ) и меньшей ( $q_2$ ) вместимости, по которым ведется сравнение [5].

Таблица 19 - Ориентировочные значения вместимости автобуса в зависимости от мощности пассажиропотока в час пик

Пассажиропоток, чел. час	Вместимость автобуса, чел.
200-1000	40
1000-1800	65
1800-2600	80
2600-3800	100

Выбираем два автобуса: МАЗ 203.067 с вместимостью 102 пассажира и МАЗ-206 с вместимостью 70 пассажиров.

Вычислим время оборота автобуса на маршруте по формуле

$$t_o = 2 \cdot t_p = \frac{2L_M \cdot 60}{V_{\text{э}}}, \quad (20)$$

где  $t_o$  - время оборота автобуса на маршруте, мин,

$t_p$  - время рейса, мин;

$L_M$  - длина маршрута, км;

$V_{\text{э}}$  - эксплуатационная скорость, км/ч.

Время оборота равно

$$t_o = \frac{2 \cdot 31,5 \cdot 60}{20,35} = 185,75 \text{ мин} = 3,1 \text{ ч.}$$

Связь между пассажиропотоком и количеством автобусов на маршруте рассчитывается по формуле

$$A_M = \frac{Q_{\text{max}} \cdot t_o}{q_n}, \quad (21)$$

где  $Q_{\text{max}}$  - максимальная мощность пассажиропотока, пасс/ч,

$q_n$  - номинальная вместимость автобуса, пасс.

Найдем необходимое число автобусов марки МАЗ 203.067 на маршруте

$$A_M = \frac{1218 \cdot 3,1}{102} = 37 \text{ ед.}$$

Найдем необходимое число автобусов марки МАЗ 206 на маршруте

$$A_M = \frac{1218 \cdot 3,1}{70} = 54 \text{ ед.}$$

По полученным данным следует, что количество автобусов, необходимых для развоза пассажиров, для автобусов большей вместимости 37, для автобусов меньшей вместимости 54.

Интервал движения автобусов МАЗ 203.067 в час-пик определим по формуле

$$J_A = \frac{t_o}{A_M}, \quad (22)$$

где  $t_o$  - время оборота автобуса на маршруте, мин,

$V_s$  - эксплуатационная скорость, км/ч.

$$J_A = \frac{3,1}{37} = 0,0837 \text{ ч} = 5,03 \text{ мин.}$$

Построим номограмму, по которой можно определить для любого часового пассажиропотока интервал движения и количество автобусов на маршруте.

При использовании номограммы в качестве исходной величины принимается количество перевезенных пассажиров в каждом часе периода работы маршрута, вместимость автобуса и время оборота.

Построение номограммы включает в себя следующие этапы:

- 1) Определяется для часа-пик рациональный по вместимости  $Q_{\text{рац}}$  подвижной состав.
- 2) Строится график изменения пассажиропотока по часам суток.



С правой стороны графика строится таблица, размеры которой по высоте соответствуют величине максимального пассажиропотока. В таблице записываются значения количества автобусов на маршруте и интервалы их движения.

Число строк  $n$  таблицы равно максимальному числу автобусов меньшей вместимости относительно рациональной, которое можно принять при  $Q_{\max}$ .

Число автобусов и интервалы их движения определяются по формулам

$$A_1 = 1, I_1 = t_o; A_2 = 2, I_2 = \frac{t_o}{2}; \dots; A_n = n, I_n = \frac{t_o}{A_n} \quad (23)$$

3) Строятся две опорные точки, как точки пересечения двух лучей (пунктирные линии на рисунке).

Для определения интервалов движения и потребного количества автобусов на маршруте  $C$  величины пассажиропотока любого часа суток опускается перпендикуляр на ось  $y$ , далее проводят два луча через опорные точки  $q_1, q_2$ , до таблицы. Концы лучей при этом упираются в клетки, которые показывают количество автобусов на маршруте (рациональной и меньшей вместимости) и интервал их движения при данном пассажиропотоке.

Номограмма определения потребного числа автобуса и интервала движения на маршруте №63 представлена на рисунке 7.

В результате построения диаграммы выявлено, что интервал движения и количество автобусов на маршруте зависит от пассажиропотока. Чем выше пассажиропоток, тем меньше необходим интервал движения и большее количество транспортных средств нужно выпустить на линию, для оптимального передвижения пассажиров

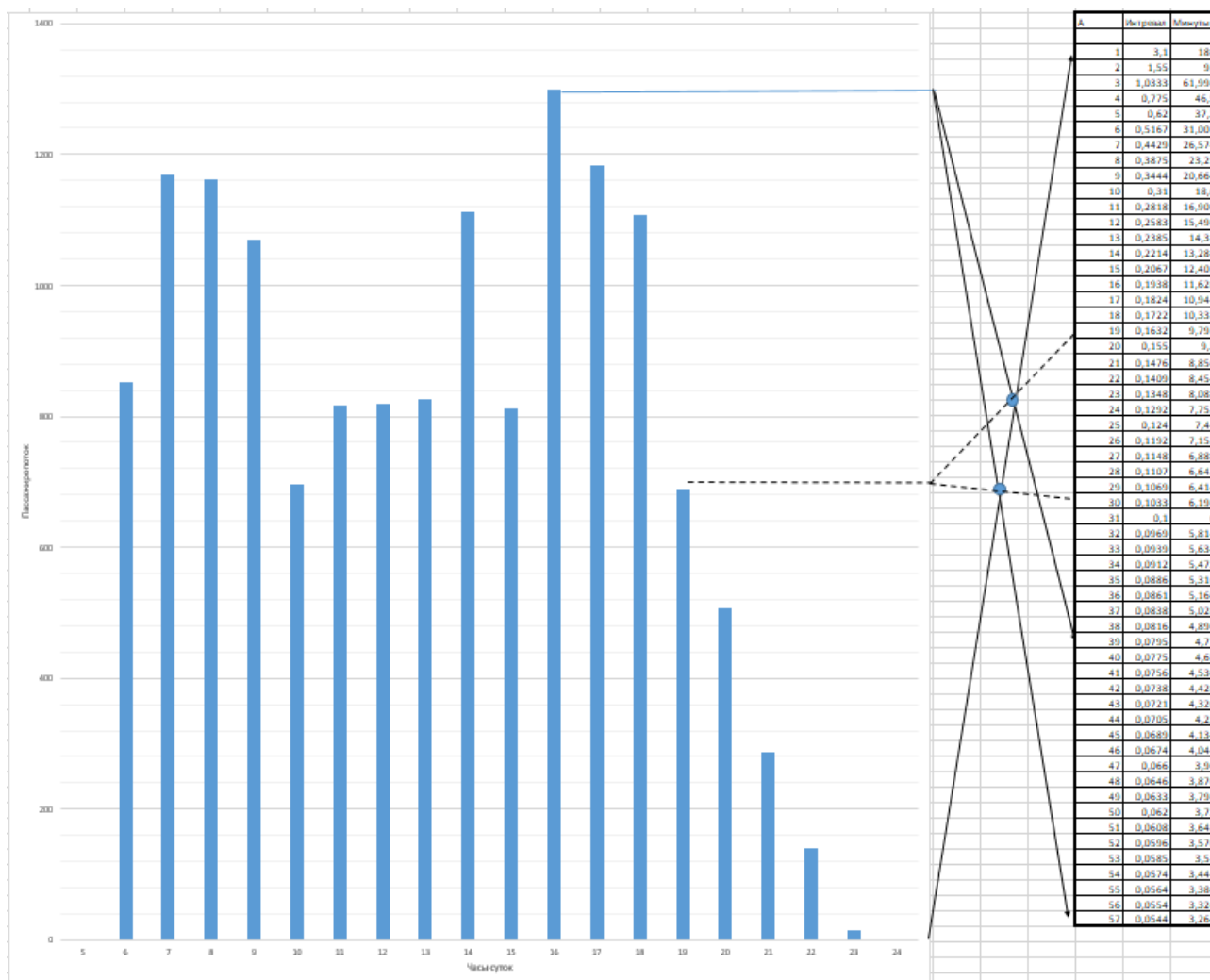


Рисунок 7 - Номограмма определения необходимого числа автобуса и интервала движения на маршруте №63

. Для качественного обслуживания пассажиров интервалы движения и расчетное число автобусов должно быть скорректировано. Если фактическое число автобусов будет превышать расчетное, в этом случае расход для автотранспортного предприятия увеличится, вместе с этим увеличится качество обслуживания пассажиров, что приведет к увеличению пассажиропотока на данный маршрут. И при подсчете доходов и расходов для автотранспортного предприятия будет целесообразным выпускать большее количество автобусов на линию, так как доходы будут покрывать все расходы для выпуска данных дополнительных автобусов на линию.

Корректировка расчетного числа автобусов проводится на основании часов пик.

Часами пик называют период времени, в течении которых провозные возможности транспортной системы используются в максимальной степени. В часы пик совершаются преимущественно трудовые и учебные поездки. По интенсивности спроса часы пик делятся на зоны:

- «допиковая» зона (с начала движения до 7:00);
- «пиковая» зона (с 7:00 до 9:00);
- «межпиковая» (с 9:00 до 16:00);
- «послепиковая» (с 19:00 до окончания движения).

Зная необходимое расчетное количество автобусов на маршруте в часы пик, можно рассчитать корректировку пиковых зон. Она проводится на основании максимального выпуска автобусов с учетом коэффициента дефицита автобусов в АТП, и вычисляется по формуле

$$A_{\text{факт}}^{\text{max}} = A_{\text{расч}}^{\text{max}} \cdot K_{\text{деф}},$$

(24)

где  $A_{\text{факт}}$  - действительное (откорректированное) значение числа автобусов на маршруте в пиковых зонах,

$A_{\text{расч}}$  - необходимое (расчетное) значение количества автобусов на маршруте,

$K_{\text{деф}}$  – коэффициент дефицита автобусов (5-10%).

Максимальное число транспортных средств в часы пик равно

$$A_{\text{факт}}^{\text{max}} = 39 \cdot 0,95 = 35,$$

Максимальный выпуск автобусов должен проводиться в течении всей «пиковой зоны». Пиковая зона имеет продолжительность от двух до четырех часов.

Корректировка «допиковой», «межпиковой», «послепиковой» зон проводится на основании интервалов движения автобусов. В расчете на то, что максимальный интервал движения  $I_{\max} \leq 10-12$  минутам. Минимальное количество автобусов, которое нужно иметь на маршруте, вычисляется по формуле

$$A_{\text{факт}}^{\min} = \frac{t_o}{I_{\max}}, \quad (25)$$

Минимальное количество единиц на линии для оптимального интервала движения равно

$$A_{\text{факт}}^{\min} = \frac{3,1}{0,2} = 15 \text{ ед.}$$

Полученные значения занесем в таблицу 20.

Таблица 20 - Расчетные показатели маршрута

Часы суток	$A_{\text{расч}}$	$I_{\text{расч}}$	$A_{\text{факт}}$	$I_{\text{факт}}$
5	1	186	15	12
6	24	7,752	35	5
7	33	5,634	35	5
8	32	5,814	35	5
9	26	7,152	35	5
10	19	9,792	23	8
11	23	8,088	23	8
12	23	8,08	23	8
13	24	7,752	23	8
14	28	6,642	23	8
15	24	7,752	35	5
16	39	4,77	35	5
17	30	6,198	35	5

## Окончание таблицы 20

18	28	6,642	35	5
19	19	9,792	23	8
20	14	13,284	19	10
21	9	20,664	15	12
22	5	37,2	15	12
23	2	93	15	12
24	1	186	15	12

Построим график корректировки выпуска автобусов для достижения оптимального интервала движения. График представлен на рисунке 8.

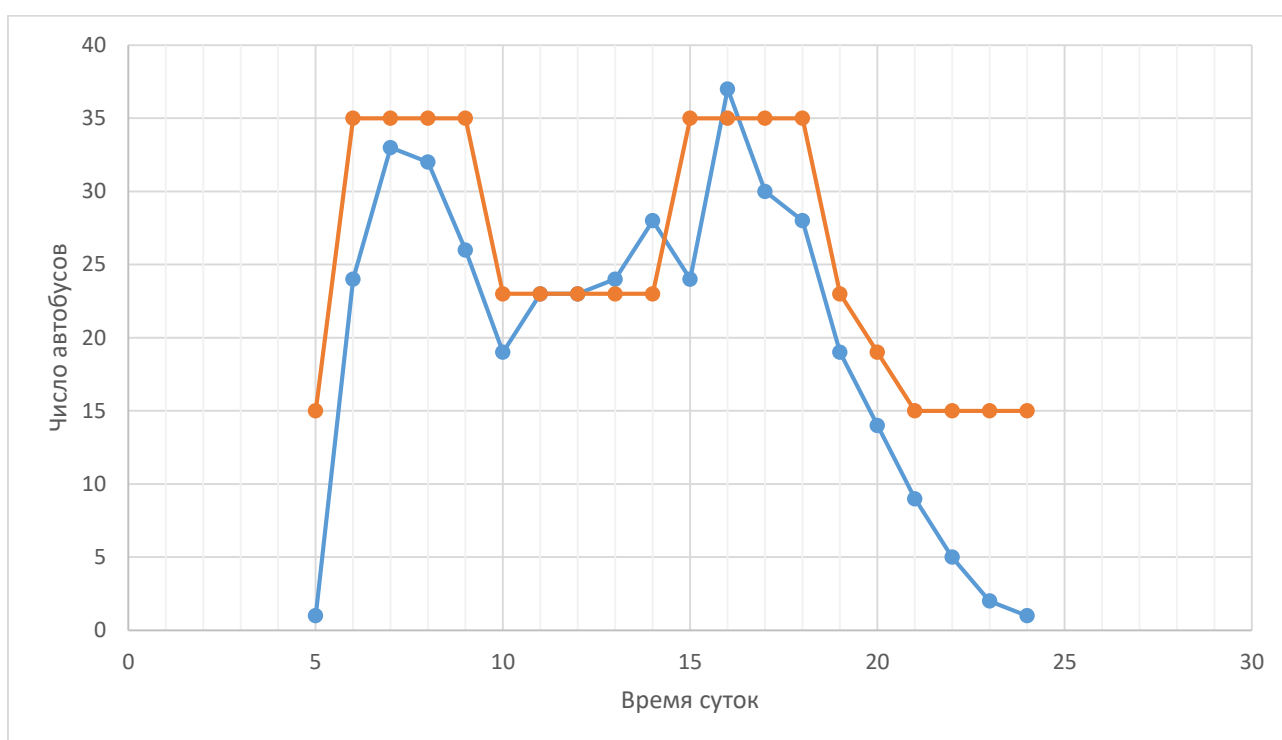


Рисунок 8 – Корректировка выпуска автобусов на маршруте

Результаты вычислений интервалов движений и количество транспортных средств представлены в таблице 21.

Таким образом на базе исходных данных осуществлен анализ пассажиропотоков по часам суток, с помощью графоаналитического метода выбраны оптимальные интервалы движения и число транспортных средств.

Таблица 21 – Результаты вычислений рекомендуемых показателей маршрута №63

Часы суток	Текущий интервал движения, мин	Текущее количество транспортных средств, ед	Рекомендуемый интервал движения ,мин	Рекомендуемое количество транспортных средств, ед
с 6:00 до 9:00	12	24	5	35
с 9:00 до 16:00	12-20	14	8	23
с 16:00 до 19:00	12	24	5	35
после 19:00	12-20	12	10	19

Для оптимизации работы автобусов на маршруте №63 рекомендуется увеличить число подвижного состава с 24 ед. (эксплуатируемых в настоящее время) до 35 ед. Это позволит снизить интервал движения автобусов, тем самым повысив конкурентоспособность маршрута. Так в пиковое время интервал движения вместо 12 минут составит 5 минут.

Интервал движения и количество автобусов на линии скорректировано с учетом соответствия пассажиропотоку и удобства использования маршрута.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа существующих методов оценки транспортного спроса установлено, что методы, основанные на натуральных обследованиях трудоемки и требуют, как правило, привлечения большого числа учетчиков. Кроме того, обработка данных, собранных в результате обследований, требует значительные временные затраты, а полученные данные, отражающие характер изменения пассажиропотоков, начинают терять актуальность по прошествии 3-5 лет и поэтому нуждаются в регулярных обновлениях.

На этой основе теоретически обоснована классическая четырехшаговая модель оценки транспортного спроса, с помощью которой возможно комплексное обоснование решений по развитию транспортной инфраструктуры и планирование развития территорий. Рассмотрены 4 основных этапа:

- генерация спроса (trip generation);
- расчет матрицы корреспонденций (trip distribution);
- разделение корреспонденций по видам передвижений (modal split);
- распределение корреспонденций по сети (trip assignment).

Для оценки адекватности модели оценки транспортного спроса выполнено транспортное районирование микрорайонов «Студенческий городок», «Госуниверситет», «Академгородок» г. Красноярска. Рассчитаны емкости транспортных районов. Определены и подсчитаны количество мест притяжения населения.

В результате расчета транспортного спроса микрорайонов «Студенческий городок», «Госуниверситет», «Академгородок» г. Красноярска установлено, что для построения реалистичной модели необходимо учитывать множество факторов, тем самым усложняя математические методы и модели.

Проведенный анализ текущего состояния транспортного обслуживания на основании оценок параметров маршрутной сети, таких как маршрутный

коэффициент, плотность транспортной сети микрорайонов позволили установить:

- значение плотности маршрутной сети микрорайона «Госуниверситет» соответствует среднему значению»

- значение плотности маршрутной сети микрорайонов Студенческий городок» и «Академгородок» не соответствует значению крупных городов, поскольку в микрорайонах по одной улице, по которой следуют транспортные средства

- значения маршрутного коэффициента позволяют сделать вывод, что маршрутная сеть трех микрорайонов Академгородок развита хорошо, транспортное обслуживание осуществляет достаточное количество маршрутов.

На основе анализа пассажиропотоков маршрута №63 по часам суток с помощью графоаналитического метода построена номограмма для определения рационального интервала движения и требуемого числа транспортных средств.

Для оптимизации работы автобусов на маршруте рекомендуется увеличить число подвижного состава с 24 единиц (эксплуатируемых в настоящее время) до 35 единиц. Это позволит снизить интервал движения автобусов, для соответствия пассажиропотоку и удобства использования маршрута. Так в пиковое время интервал движения вместо 12 минут составит 5 минут.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Горев, А. Э. Основы теории транспортных систем: учеб.пособие / А. Э. Горев; СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 214 с.
- 2 Сафронов, Э.А. Транспортные системы городов и регионов / Э.А. Сафронов. – М.: Транспорт, 2005. – 64 с.
3. Антошвили, М. Е. Оптимизация городских автобусных перевозок / М. Е. Антошвили, С. Ю. Либерман, И. В. Спирин. – М.: Транспорт, 1985. – 102 с.
- 4 Вельможин, А.В. и др. Эффективность городского пассажирского общественного транспорта: монография / А.В. Вельможин, В.А. Гудков, А.В. Куликов, А.А. Сериков; Волгоград, гос.тех.ун-т. – Волгоград, 2002. -256 с.
- 5 Спирин, И. В. Городские автобусные перевозки: справочник / И. В. Спирин. – М.: Транспорт, 1991. – 238 с.
- 6 Ларин, О.Н. Организация пассажирских перевозок: Учебное по-собие. – Челябинск: Из-во ЮУрГУ, 2005. – 104 с.
- 7 Юдин, В. А. Городской транспорт / В. А. Юдин, В. С. Самойлов – М., Стройиздат. 1975. – 287 с.
- 8 Якимов, М. Р. Транспортное планирование: создание транспорт-ных моделей городов: монография / М.Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 188 с.
- 9 Варелопуло, Г. А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте. – М.: Транспорт, 1990. – 208с.
- 10 Володин, Е. П. Организация и планирование перевозок пассажи-ров автомобильным транспортом / Е. П. Володин, Н. Н. Громов – М.: Транс-порт, 1982. – 224 с.
- 11 Лобанов, Е. М. Транспортная планировка городов. Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1990 – 240 с.
- 12 Михайлов, А. С. Управление рынком перемещений городского населения / А. С. Михайлов. – Алматы: Гылым, 2003. – 238 с.

13 Гудков, В. А. Пассажирские автомобильные перевозки: учеб. для вузов / В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Вельможин, С. А. Ширяев; под ред. В. А. Гудкова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 448 с.

14 Ефремов, И. С. Теория городских пассажирских перевозок / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин. – М.: Высшая школа, 1980. – 535 с.

15 Менделев, Г.А. Транспорт в планировке городов: Учебное пособие / МАДИ(ГТУ). М., 2005 135 с.

16 Зенгбуш, М. В. Пассажиропотоки в городах / М. В. Зенгбуш, А. Ю. Белинский, А. Г. Дынкин; под ред. М. С. Фишельсона. – М.: Транспорт, 1974. – 137 с.

17 Оптимизация планирования и управления транспортными системами / Под ред. В. Н. Лившица. – М.: Транспорт, 1987 – 208 с.

18 Антошвили, М. Е. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ / М. Е. Антошвили, Г. А. Варелопуло, М. В. Хрущев. – М.: Транспорт, 1974. – 103 с.

19 Блатнов М. Д. Пассажирские автомобильные перевозки: Учебник для автотранспортных техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1981. – 222 с., ил., табл.;

20 Беленький, А. С. Совершенствование планирования в транспортных системах: Методология и опыт применения экономико-математических моделей и методов оптимального планирования / А. С.Беленький. – М.: Знание, 1988. – 64 с.

21 Большаков, А. М. Повышение качества обслуживания пассажиров и эффективность работы автобусов / А. М. Большаков, Е. А. Кравченко, С. Л. Черникова. – М.: Транспорт, 1981. – 206 с.

22 Гудков В. А. Технология, организация и управления пассажирскими автомобильными перевозками: учеб. для вузов / В. А. Гудков, Л. Б. Миротин; под ред. Л. Б. Миротина. – М.: Транспорт, 1997. – 254 с.;

23 Артынов А. П. Автоматизация процессов планирования и управления транспортными системами / А. П. Артынов, И. И. Скалецкий. – М.: Транспорт, 1981. – 280 с.;

24 Ortuzar, J. D., Willumsen, L. G. Modelling transport. JohnWiley&Sons, 2011.

25 Официальный сайт Администрации города Красноярск [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.admkrsk.ru/city/areas/Pages/default.aspx>;

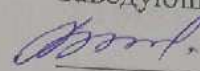
26 Официальный сайт Красноярскгортранс [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mu-kgt.ru/>;

27 СТО 4.2–07–2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Введ. 30.12.2013. – Красноярск: ИПК СФУ, 2013. – 60 с.

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Е.С. Воеводин

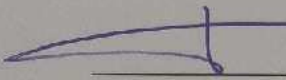
«15» июня 2021 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

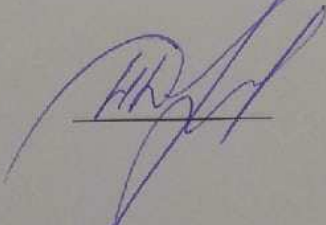
Прогноз транспортного спроса городского пассажирского общественного  
транспорта

23.04.01 «Технология транспортных процессов»

23.04.01.01 «Организация перевозок и управление на автомобильном  
транспорте»

Научный руководитель  к.т.н., доцент А.И. Фадеев

Выпускник  К.А. Корсаков

Рецензент  Д.А. Ничковская

Красноярск 2021