

ЖАМАНБАЕВ БАУРЖАН УАЛИХАНОВИЧ

Диссертационная работа на тему «Оптимизация маршрутных сетей пассажирского транспорта г. Тараз» на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D090100-Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта

АННОТАЦИЯ

Актуальность исследования. Выход страны на уровень развитых стран по показателям экономики и социального благосостояния предъявляет новые требования к организации системы городского пассажирского транспорта. Важнейшей задачей городских властей является создание необходимых условий для удовлетворения потребностей населения в транспортных услугах. Особое значение при решении задач дальнейшего развития экономики региона приобретает эффективная работа социально значимого сектора, который для государственных и местных органов власти является городским пассажирским транспортом.

С высоким темпом роста городов, резким увеличением количества подвижного состава на улицах, с возникающими проблемами создания новых маршрутов и т.д на современном этапе возникает необходимость использования информационных систем в управлении городскими пассажирскими перевозками. В результате этого, значительно увеличивается объем информации, учитываемой и анализируемой для принятия срочных решений. Этот объем информации можно обрабатывать только при помощи специальных программ и компьютеров. Дальнейшее развитие городских пассажирских перевозок невозможно без компьютерных технологий.

Решение задач формирования и развития транспортной инфраструктуры требует учета многих факторов, связанных с техническими показателями развития города, ростом потребностей предприятий и населения, ресурсными возможностями. Учитывая временную динамику ресурсных ограничений, наряду с динамикой решаемых задач и потребностей в транспортно-дорожных ресурсах, возникает объективная необходимость выработки научно-обоснованного подхода, позволяющего оптимизировать процессы совершенствования основных транспортных связей на городском и региональном уровнях.

Эффективность разработки и исследования указанных проблем обусловлена накопленным опытом, научно-методологическими работами на различных исторических этапах, закономерностями их развития. Но отечественные городские пассажирские сети нельзя использовать в качестве примера с существующими рациональными системами другого государства и даже других городов. Ведь с планировкой каждого города, менталитет жителей, потоки с потребностями движения не совпадают, поэтому любой город нуждается в планировании и организации в соответствии со своими особенностями.

Очевидно, что совершенствование теоретико-методических основ развития и функционирования транспортных систем городов, в целом, и

обеспечение бесперебойного и безопасного движения транспортных потоков по дорожным сетям городов, снижение транспортных расходов во всех видах перевозок городским транспортом являются одними из наиболее актуальных на сегодняшний день.

Целью работы является оптимизация сети общественного пассажирского транспорта с целью полного, своевременного и качественного удовлетворения потребностей жителей города.

Задачи исследования:

- анализировать по количественным и качественным показателям современное состояние пассажирской транспортной системы по г. Тараз;
- изучить современные научно-теоретические основы построения эффективных сетей в системе городского транспорта;
- разработать и исследовать методы определения мест расположения остановок общественного транспорта;
- разработать алгоритм оптимальных маршрутов следования пассажиров на основе метода мультиколониальной муравьиной системы в системе общественного транспорта и метода решения с помощью прикладной программы;
- провести экспериментальные исследования и оценку эффективности оптимизации маршрутных сетей общественного пассажирского транспорта г.Тараз

Методы исследования. В качестве методов исследований были использованы методы вычислительной математики, системного анализа, теории графов, теория вероятности, математической статистики, технологии искусственного интеллекта и новые информационные технологии.

Объектами исследования являются сети общественного транспорта, остановочные пункты, пассажиры и качество оказываемых услуг в городе Тараз.

Теоретико-методологические основы исследования. Исследование проведено путем формирования новых научно-методических подходов и научной аргументации предложений на основе многочисленных трудов отечественных и зарубежных ученых в области организации пассажирских перевозок.

Научная новизна:

- разработана графоаналитическая модель транспортных связей города Тараз, позволяющая анализировать маршрутные сети и расположения остановочных пунктов;
- предложен критерий оптимизации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта, учитывающий интересы всех участников городской транспортной системы;
- разработан способ определения месторасположений остановочных пунктов общественного транспорта, позволяющий повысить эффективность принимаемых решений по оптимизации маршрутных сетей;

– предложен метод мультиколониальной системы муравьев, позволяющий найти решение обобщенной оптимизации при взаимодействии нескольких колоний;

– разработана модель оптимизации работы городской пассажирской транспортной сети, позволяющая учитывать разнообразные, порой противоположные друг другу, интересы участников городской пассажирской транспортной сети.

Результаты исследования носят прикладной характер и могут быть использованы органами управления при разработке комплексных программ развития автомобильных систем городов. С этой целью предложены и легализованы авторским свидетельством методики: «Способ выбора сети пассажирского общественного транспорта», «Математическая модель обоснования расположения остановок на основе теории размерностей», «Экономико-математическая модель тарифов на городские пассажирские перевозки».

Реализация работы. Результаты диссертационной работы внедрены администрацией города Тараз при развитии системы городского пассажирского общественного транспорта, а также использованы при разработке программы развития пассажирского транспорта города Тараз на 2020-2025 годы.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и получили одобрение на научно-технических конференциях Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (Алматы, 2019-2021 г. г.), XLII Международной научно-практической конференции на тему: «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика» (Алматы, 2018 г.), XLII Международной научно-практической конференции на тему: «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика» (Алматы, 2019г.), на научном семинаре кафедры «Организации перевозок и эксплуатация транспорта» и на заседании кафедры «Транспортная техника и технологии».

Публикации. В соответствии с тематикой диссертационной работы опубликовано 5 публикаций. В изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки Министерства науки и высшего образования РК: 3 статьи в журнале «Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций» издательства «Академия логистики и транспорта». Опубликовано 2 статьи в международных рецензируемых научных журналах, входящих в информационные базы «Scopus».

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех основных глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 135 страницах печатного текста, содержит 38 рисунков, 28 таблиц. Список использованной литературы включает 91 наименование.

В введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цель, задачи, методы и объект исследования,

охарактеризована научная новизна, показана практическая значимость полученных результатов.

В первой главе проведен обзор и анализ существующих пассажиропотоков, маршрутных сетей и организация работы автобусов на маршрутах, выявлены особенности, показатели, недостатки и перспективы развития организации городского пассажирского транспорта на примере г. Тараз, а также обоснованы задачи диссертационного исследования.

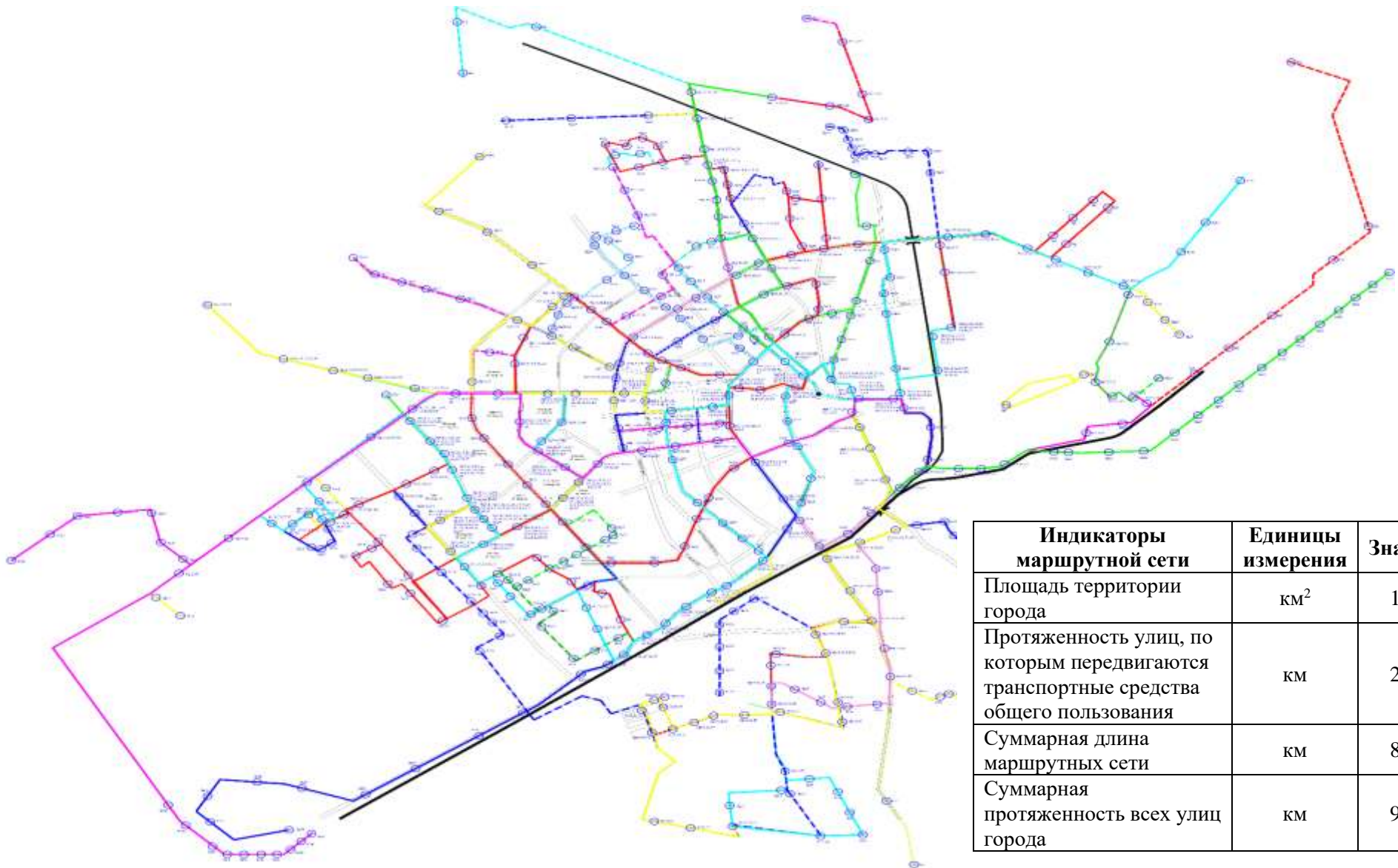
Для оценки сложившейся маршрутной сети городского транспорта города Тараз применяются следующие основные показатели: плотность транспортной сети; коэффициент покрытия сети; маршрутный коэффициент; коэффициент прямолинейности маршрутов.

Анализ по участкам улично-дорожной сети города количества одновременных маршрутов с более чем 15 маршрутами выявил 10 промежуточных и 14 конечных остановочных пунктов. На этих остановках более 50% наиболее загружены маршрутами ГПТ. Частота движения пассажирского транспорта на этих остановках составляет 55-79 автобусов/час. Высокая интенсивность движения указывает на необходимость разделения загрузки остановочных пунктов в связи с длительной остановкой ПС и некачественным обслуживанием пассажиров при входе и ожидании остановки.

Анализ проблем доступности пешеходов, созданных для районов жилой застройки для некоторых районов города Тараз, показал, что на территории некоторых районов имеются территории, доступность пешеходов которых превышает нормативы для остановок городского пассажирского транспорта. Низкий уровень пешеходного доступа к остановкам городского пассажирского транспорта в районах Сахарного завода, Барысханского массива, Карасу и др.

Начало XX века советской эпохи можно отнести к исследованиям пассажирских потоков и корреспонденций, основоположниками которых являются ученые: Г.В. Шелейховский, С.А. Андреев. Формирование маршрутной транспортной сети, в основе которой лежат вопросы определения пассажирских потоков и корреспонденций, а также методы теории графов, позволило разработать действенные методы для организации пассажирских перевозок в городах. Исследованиями в этом направлении занимались: В.В. Коноплин, Б.Л. Геронимус, Д. Джумаев, М.В. Хрущев, В.В. Яворский, И.П. Макаров, В.П. Федоров, Н.В. Булычева, А.П. Лопатин, С.Ю. Ольховский, В.М. Вейцман и др.

Существующие методы организации и управления ГПТ, применяющиеся на реальной маршрутной сети городов, явились предпосылками проведения анализа состояния и перспектив развития пассажирских перевозок на примере г. Тараз.



Индикаторы маршрутной сети	Единицы измерения	Значение
Площадь территории города	км ²	187,0
Протяженность улиц, по которым передвигаются транспортные средства общего пользования	км	282,7
Суммарная длина маршрутных сети	км	828,2
Суммарная протяженность всех улиц города	км	996,0

Рисунок 1 – Маршрутных сети в городе Тараз

Во второй главе рассматривается экономическая сущность функционирования пассажирского транспорта, являющегося одной из составляющих городской инфраструктуры.

Зависимость производительности труда от временных затрат трудового движения создает трудности для некоторых предприятий, расположенных за пределами городской черты или в районах с плохой транспортной доступностью. Изменение производительности труда работников в зависимости от времени, затраченного на движение труда, результаты подтверждаются исследованиями, представленными на рис.2. Так, увеличение продолжительности трудовых поездок на 10 минут приводит к снижению производительности труда на 3-4%.

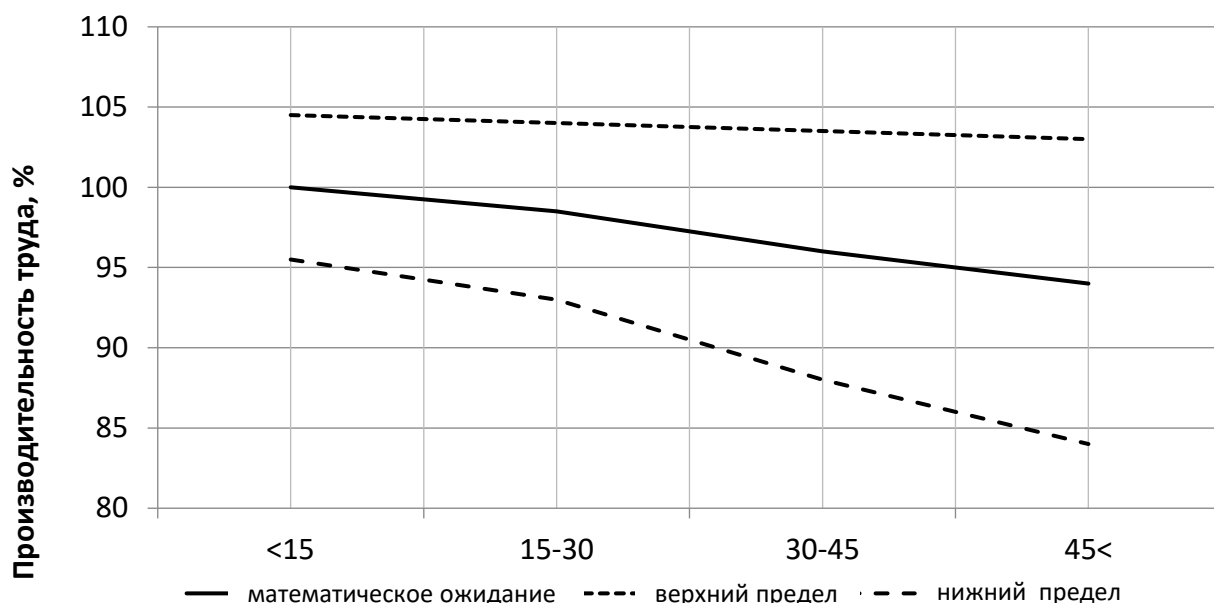


Рис.2. Зависимость производительности труда от времени поездки

В диссертации выявлена аналитическая зависимость между затратами времени на трудовые перемещения и производительностью труда:

$$E_{\text{енім}} = 100 - 0,0373T_{\text{жылжу}} - 0,00212T_{\text{жылжу}}^2 \quad (1)$$

где $T_{\text{жылжу}}$ – время, затраченное на движение;

Основная трудность в определении времени, затраченного на поездку, заключается в определении числовых значений составляющих, в частности, времени ожидания пассажира для начала обслуживания.

По данным Комитета по статистике за последние 13 лет в городе Тараз определены численность населения, пассажирский транспорт, ВРП на душу населения, средний доход на душу населения и количество легковых автомобилей. Используя зависимость линейного типа, мы используем уравнение регрессии для прогнозирования величины транспортной подвижности населения.

Связи показателей на транспортную подвижность населения:

– связь с показателями численности населения, ВРП на душу населения и среднедушевым доходом населения считается тесным, (r выше 0,9);

– связь с показателем уровня автомобилизации населения считается слабым, значение коэффициента корреляции $r = 0,209$;

Это означает, что рост численности населения наряду с уровнем жизни населения в последнее время ведет к росту транспортной мобильности. Рост уровня автомобилизации населения свидетельствует о непривлекательности использования пассажирского транспорта.

Остановочный пункт является объектом транспортной инфраструктуры и должны быть расположены надлежащим образом, чтобы обеспечить связь с прилегающими районами, обеспечивая тем самым доступность общественного транспорта.

Остановочной зоной, расположенной на территории города Тараза, принято считать отрезок размером от 500 до 1000 метров (рис.5).

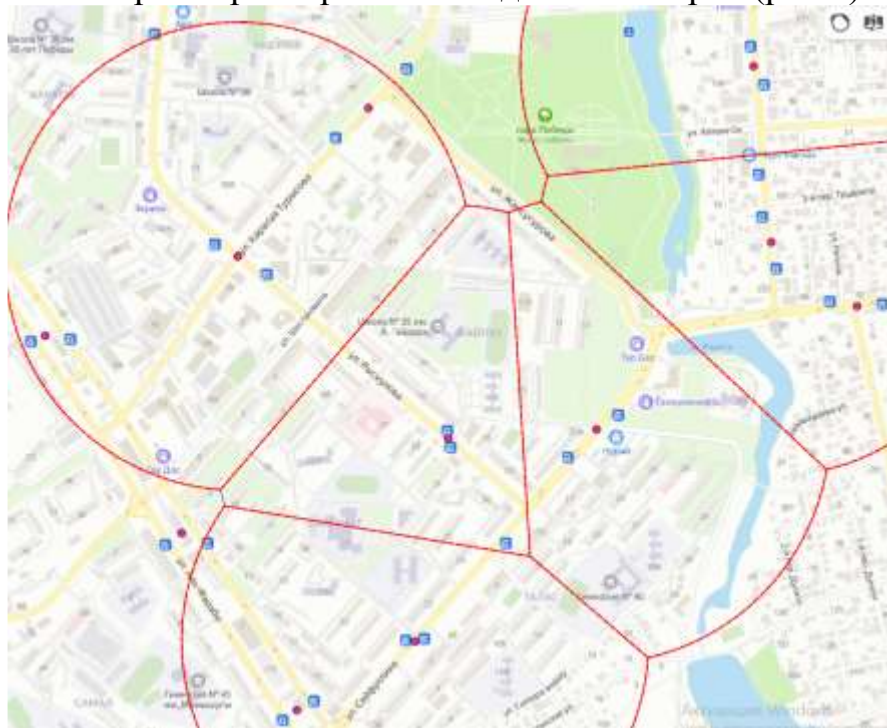


Рисунок 5 - Деление города Тараз на сегменты

Деление г. Тараз на сегменты реализовано в программах имитационного моделирования спроса и предложения общественного транспорта.

Транспортный спрос предусматривал создание матрицы межостановочной корреспонденции. Для этого всю площадь города разбивают на остановочные районы, которые являются пунктами зарождения и погашения городских пассажиропотоков. Матрица межостановочных корреспонденции была получена с помощью математического моделирования (с использованием "гравитационной" модели в программном комплексе MATLAB).

На основе анализа задач маршрутизации транспорта были рассмотрены дополнительные ограничения, которые необходимо учитывать при оптимизации маршрутных схем ГПТ. В качестве критерия оптимизации для системы ГПТ предложено использовать плотность пассажиропотока на определенном участке пути:

$$D_{AB} = \frac{\sum Q_{AB}}{L_{AB}} \rightarrow \max \quad (2)$$

Анализ методов решения задач транспортной маршрутизации показал, что наиболее перспективными на сегодняшний день являются Мета-эвристические алгоритмы.

В третьей главе рассмотрены обоснование расположения остановок общественного транспорта, исследование предпочтений пассажиров и разработка методов решения задач оптимизации маршрутных сетей пассажирского транспорта на основе муравьиного алгоритма.

В диссертации определены важнейшие факторы, влияющие на доступность остановок, и приведены результаты анализа априорного ранжирования. На основе априорной информации был составлен априорный рейтинг факторов, позволяющий выявить наиболее значимые факторы и устранить факторы, оказывающие незначительное воздействие.

Априорный рейтинг фактор с использованием теории размерностей рассматривается в двух стадиях: движение пешеходов до остановки и поездка пассажира до транзитной остановки, и является теоретической предпосылкой, позволяющей определить место расположения остановок общественного транспорта с учетом основных показателей как преодолеваемого расстояния пешеходами, с одной стороны, так и скорости движения общественного транспорта - с другой.

Первая стадия. На движение пешеходов до остановки, по мнению респондентов, влияют следующие факторы: расстояние, пройденное пешеходом до остановки L , время подхода к остановке t_1 , скорость пешехода v и климатическая температура окружающей среды θ .

$$t_1 = \left(\frac{L}{v}\right) \cdot f\left(\frac{\theta}{p \cdot Q}\right) \quad (3)$$

Вторая стадия. На поездку пассажира до транзитной остановки влияют следующие факторы: интенсивность движения общественного транспорта J , скорость движения транспорта v_a , вес общественного транспорта G_a и время поездки в транспорте t_2 .

$$t_2 = \text{const} \left(\frac{1}{N * t^{-1}}\right) \cdot \varphi\left(\frac{a_a}{a_t}\right). \quad (4)$$

Полученные зависимости могут быть использованы при разработке и обосновании мест расположения остановок общественного транспорта.

В данной главе разработана методика оценки предпочтений пассажиров при выборе автобусной линии в системе общественного транспорта. Предложенный подход основан на нечетком логическом математическом аппарате и использует данные опроса для расчета функций принадлежности, определяющих предпочтения пассажиров. Для иллюстрации разработанной методологии используется ситуационное исследование опроса пассажиров, проведенное в г. Тараз.

Для оценки функции принадлежности, отражающей последние предпочтения пассажиров, необходимо определить весовые коэффициенты

для каждого из выбранных признаков. Мы определили значения весовых коэффициентов как среднеарифметические значения для всех респондентов. Функции предпочтения, выбранные в соответствии с данными опроса, оценивались респондентами одинаково, хотя тариф оценивался как несколько важная функция.

Мы определили значения весовых коэффициентов как среднеарифметические значения для всех респондентов. Функции предпочтения, выбранные в соответствии с данными опроса, оценивались респондентами одинаково, хотя тариф оценивался как несколько важная функция.

На основании анализа литературных источников, указывающих на эффективность муравьиного алгоритма при решении известных оптимизационных трудных задач, обоснован выбор его основного принципа для разработки нового подхода.

Основная идея предложенного метода состоит в том, чтобы использовать несколько колоний, действующих одновременно, в отличие от традиционного алгоритма муравьев. Для достижения общей цели колонии принимают совместные решения на каждом этапе, но при этом каждая колония решает свою задачу.

Сначала формируются муравьиные группы, в состав которых входит по одному представителю из каждой колонии. Фактически, каждая из таких межколонийных групп заменит отдельного муравья из традиционного алгоритма муравья. Все муравьи в группе последовательно формируют решение. Муравей x , принадлежащий к колонии группы k с нормализованной вероятностью по формуле:

$$p_{x,i}^k(t) = \frac{[\tau_{x,i}^k(t)]^\alpha \cdot [\eta_{x,i}^k]^\beta}{\sum_{y \in Y} \sum_{j \in j^k} [\tau_{y,i}^k(t)]^\alpha \cdot [\eta_{y,i}^k]^\beta} \quad (5)$$

где: Y – множество колоний;

j^k – множество доступных вершин для группы k ;

$\eta_{x,i}^k$ – априорная привлекательность альтернативы, обратная стоимости перехода из вершины муравья x группы колонии k в вершину i ;

$\tau_{x,i}^k$ – апостериорная эффективность альтернативы, определяемая количеством феромона колонии на переходе из вершины муравья x группы колонии k в вершину i ;

α, β – настраиваемые свободные параметры алгоритма

На основе предложенного метода разработан мультиколонийный муравьиный алгоритм, позволяющий учитывать различные условия поставленной задачи.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований разработанного алгоритма и определен экономический эффект от предложенных мероприятий на примере г. Тараз

Для реализации алгоритма методики оптимизации маршрутных сетей выделено 3 этапа:

На первом этапе построением матрицы расстояний решается следующая задача: рассматривается некоторый граф $G(N,A)$, имеющий N вершин и A дуг. Требуется найти на графе кратчайшие пути и их длины от заданной вершины i до каждой в отдельности.

На втором этапе выполняется анализ городской транспортной системы: рассчитывается матрица корреспонденций. Выполняется преобразование матрицы межрайонных корреспонденций, полученной путем математического моделирования с использованием «гравитационной» модели в MATLAB, в матрицу межостановочных корреспонденций T_{ij} .

На третьем этапе осуществляется выбор оптимальных маршрутов следования пассажиров в системе городского общественного транспорта по критерию плотности пассажиропотока и определяются эффективные пересадочные узлы по величине пассажиропотока. Для решения задачи выбора оптимального направления разработан программный продукт на языке MATLAB.

Оптимизация маршрутной сети города Тараз позволила повысить качество пассажирских перевозок. В процессе оптимизации на некоторых участках улично-дорожной сети в центре города перераспределен пассажиропоток. В результате при сохранении всех мест притяжений и объемов перевозок интенсивность движения автобусов и пассажиропоток на наиболее загруженных участках линии снизились.

Общий пробег всех автобусов на маршрутах действующей маршрутной сети города Тараз в течение одного рабочего дня составляет 28415 км. Предложенная маршрутная сеть уменьшилась на 25212 км. Пассажироемкость приведена в соответствии с маркой ПАЗ-3205.

Можно сделать вывод, экономический эффект в переходе на новую маршрутную сеть города Тараз, получаемый при равном количестве перевезенных пассажиров (в результате уменьшения расходов на пассажирские перевозки), должен обеспечить средства в сумме 208 195 тг в сутки или 6 245 850 тг в месяц.

По теме диссертации опубликованы 12 статей и получено 3 авторских свидетельства:

1. Zhamanbayev, B. & Raimbayev, A & Almakhanova, E & Raimbayev, S & Waldemar W. Two-stage substantiation of placement of public transport stops. Transport problems. 2021. Vol. 16. No. 1. P. 87-97.

2. Naumov V., Zhamanbayev B., Agabekova D. Zhanbirov Zh. & Taran I. Fuzzy-Logic Approach to Estimate the Passengers' Preference when Choosing a Bus Line within the Public Transport System. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina. 2021, 23(3), A150-A157.

3. Жаманбаев Б.У., Бекжанова С. Е., Раимбаев А.Т. Алмаханова Э.А. Қоғамдық көлік аялдамаларының орналасуын негіздеу. г.Алматы. Вестник КазАТК, Том 123 № 4, 2022.

4. Жаманбаев Б.У., Бекжанова С. Алмаханова Э.А. Қалалық көлік жүйесінің көрсеткіштерін бағалау (Тараз қ.). г.Алматы. Вестник КазАТК, Том 123 № 4, 2022.

5. Б.К.Мусабаев, Б.У.Жаманбаев, Э.А.Алмаханова. Прогнозирование учетной транспортной подвижности населения г.Алматы. Вестник КазАТК, №3, 2019. с. 112-117

6. Имандосов А.Т., Жаманбаев Б.У., Алмаханова Э.А., Сатаева Ж.Б., Жетібаева Б.Б. Қалалық жолаушы көлігі жүйесінің аялдама пунктерін зерттеу. Научный журнал «Механика и Технологии», Тараз. – 2018. – №1. – С.81-90.

7. Жаманбаев Б.У., Имандосов А.Т., Раимбаев А.Т., Алмаханова Э.А., Аясқан Ж.Н., Әбдіғапар А.Р. Автобус түрі мен санын оптимизациялау моделі. Таразский государственный университет им.М.Х.Дулати, РК, Научный журнал «Механика и Технологии», Тараз. – 2018. – №1. – С.91-95.

8. Имандосов А.Т., Жаманбаев Б.У., Алмаханова Э.А., Аясқан Ж.Н., Байыс Н.Б., Сәбит М.Б. Қоғамдық көлік жүйесінің әлеуметтік-экономикалық тиімділігі. Научный журнал «Механика и Технологии», Тараз. – 2019. – №2. – С.146-158.

9. Жаманбаев Б.У., Алмаханова Э.А., Имандосов А.Т., Сатаева Ж.Б., Суюнбеков А.Ә., Сәбит М.Б.Қалалық жолаушы көлігінің жүйесін жетілдіру әдістері. Научный журнал «Механика и Технологии», Тараз. – 2019. – №2. – С.159-165.

10. А.М. Елшібеков, Н.Р. Джакупов, Б.У. Жаманбаев.Қалалық жолаушылар тасымалы үшін электрлі автобус пайдалану келешегі. Научный журнал «Механика и Технологии», Тараз. – 2020. – №1. – С.172-178.

11. Жаманбаев Б.У., Алмаханова Э.А., Молгаждаров А.С.Результаты априорного исследования современного состояния городского пассажирского транспорта г.Тараз. Материалы XLII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика», 18 апреля 2018 г., г. Алматы, КазАТК им. М.Тынышпаева. том 3, с. 312-316

12. Жаманбаев Б.У., Мусабаев Б.К., Алмаханова Э.А. Развитие городского пассажирского транспорта г.Алматы: проблемы и перспективы. Материалы XLIII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика», 17 апреля 2019 г., г. Алматы, КазАТК им. М.Тынышпаева. том 2, с. 115-118

13. Жаманбаев Б.У., Бекмагамбетова Л.К., Жанбирова Ж.Г. Жолаушылардың қоғамдық көлік желісін таңдау тәсілі. Авторское свидетельство № 27619, дата выдачи 01 июля 2022 г.

14. Жаманбаев Б.У., Жанбирова Ж.Г., Алмаханова Э.А. Өлшемдер теориясы негізінде аялдамалардың орналасуын негіздеудің математикалық моделі. Авторское свидетельство № 27847, дата выдачи 15 июля 2022 г.

15. Жаманбаев Б.У., Жанбирова Ж.Г., Алмаханова Э.А. Қалалық жолаушыларды тасымалдау тарифтерінің экономикалық-математикалық моделі. Авторское свидетельство № 27922, дата выдачи 21 июля 2022 г.