

На правах рукописи

КУПРИЯНОВА Александра Борисовна

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
ЦЕНТРА КРУПНОГО ГОРОДА В УСЛОВИЯХ ПРИОРИТЕТА  
ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА И СИСТЕМЫ  
ПЕРЕХВАТЫВАЮЩИХ СТОЯНОК

05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Иркутск - 2008

Работа выполнена на кафедре «Менеджмент на автомобильном транспорте» Иркутского государственного технического университета.

**Научный руководитель**

доктор технических наук, профессор  
Головных Иван Михайлович

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, профессор  
Гудков Владислав Александрович

кандидат технических наук, доцент  
Ляпустин Павел Константинович

**Ведущая организация**

лаборатория «Имитационное моделирование и логистика на транспорте» при ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Защита состоится « 9 » декабря 2008г. в 10.00 часов на заседании диссертационного Совета Д 212.073.04 в ГОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет»: 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83, корпус «К», конференц - зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Иркутского государственного технического университета по адресу: 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83 и на сайте университета [www.istu.edu](http://www.istu.edu)

Автореферат разослан

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2008г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д-р техн. наук, профессор

Н.Н. Страбыкин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Новые экономические условия и рост уровня автомобилизации населения выдвигают новые задачи совершенствования технологий и организации транспортного обслуживания городов России.

В российских городах уровень автомобилизации населения достиг 300 автомобилей на 1 тысячу жителей (Москве - 300 автомобилей, в Санкт-Петербурге - 260, в Екатеринбурге – 290, в Нижнем Новгороде - 250, в Иркутске – 240), при этом рост парка индивидуального автомобильного транспорта составляет 6 – 8% в год. Процесс автомобилизации в России сопряжен с негативными процессами, к числу которых относится перегруженность улично-дорожных сетей центров городов. Таким образом, российские города уже столкнулись с проблемами, характерными для крупных городов стран с высоким уровнем автомобилизации. В современной зарубежной практике организации транспортного обслуживания деловых центров городов (Central Business District - CBD) и центров исторических городов все большее применение получает приоритет общественного пассажирского транспорта в сочетании с перехватывающими стоянками (Park and Ride). В качестве примера можно привести такие города, как: Берн (Швейцария), Дижон, Страсбург, Бордо (Франция), Штутгарт и Дортмунд (Германия), Лондон (Англия), Токио (Япония) и т.д. Использование этого опыта в российских городах становится все более актуальным.

Проектирование организации приоритетного движения пассажирского общественного транспорта и системы перехватывающих стоянок требуют инструментария, позволяющего определять оптимальные решения. Моделирование приоритета общественного транспорта и систем перехватывающих стоянок не получило достаточного отражения в отечественной специальной литературе и периодике. В этой связи данное исследование посвящено разработке модели оптимизации транспортного обслуживания городского центра при условии приоритета общественного транспорта в сочетании с системой перехватывающих стоянок.

**Рабочая гипотеза** состоит в том, что оптимизационная модель снижения затрат времени населения на передвижения в центр города позволит определить оптимальные параметры зоны приоритета общественного транспорта и системы перехватывающих стоянок.

**Цель диссертационной работы** – повышение эффективности транспортного обслуживания центров крупных городов в условиях приоритета общественного транспорта.

### **Задачи исследования:**

1. Сформулировать и обосновать модель транспортного обслуживания центра крупного города при условиях создания зоны приоритета общественного транспорта и системы перехватывающих стоянок.

2. Предложить методику сбора данных для выполнения моделирования транспортного обслуживания центра крупного города.

3. Оценить качество транспортного обслуживания населения при передвижении в городской центр.

4. Исследовать свойства предложенной модели.

5. На основе предложенной модели определить оптимальное решение транспортного обслуживания центра крупного города на примере г. Иркутска.

**Объект исследования** – процесс обслуживания центра крупного города общественным пассажирским транспортом и индивидуальным транспортом в сочетании с системой перехватывающих стоянок.

**Предмет исследования** - характеристики обслуживания центра крупного города автомобильными стоянками и сетью общественного транспорта.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** обеспечены репрезентативными выборками статистических данных, строгостью исходных предпосылок, применяемой теоретической моделью, верификацией результатов экспериментов с использованием распространенных статистических критериев, использованием новейших версий библиотек статистической обработки данных и оптимизации среды MATLAB.

**Научная новизна:**

- предложена модель транспортного обслуживания центра крупного города при условии создания зоны приоритета общественного транспорта и системы перехватывающих стоянок;

- установлена взаимосвязь между параметрами улично – дорожной сети (УДС), системы городского пассажирского транспорта (ГПТ) и хранения индивидуального транспорта, затратами времени для передвижения в центр;

- получено оптимальное решение, обеспечивающее минимум суммарных затрат времени населения для передвижения в центр на примере Иркутска.

**Положения, выносимые на защиту:**

- оптимизационная модель транспортного обслуживания центра города, включающая зону приоритета общественного транспорта и систему перехватывающих автомобильных стоянок, целевой функцией модели является минимизация суммарных затрат времени населения на достижение центра при двух конкурирующих видах передвижений: передвижения на общественном транспорте и передвижения на индивидуальном транспорте с использованием системы перехватывающих стоянок, предложенная модель позволяет определить оптимальные решения транспортного обслуживания центра города;

- система критериев, характеризующих транспортное обслуживание центра крупного города;

- методика проведения анкетных обследований передвижений населения в центр крупного города по трудовым и культурно – бытовым целям, позволяющая получить необходимые данные для оценки существующего состояния системы маршрутного пассажирского транспорта;

- методика оценки спроса на обслуживание внеуличными и уличными стоянками центра города, позволяет оценить спрос на поездки в городской центр, в т.ч. определить количество паркующихся транспортных средств на уличных и внеуличных стоянках в городском центре, общее количество одно-

временно паркирующихся транспортных средств в городском центре, количество транспортных средств приезжающих в центр города и количество транспортных средств, осуществляющих транзитное движение через центр;

- рекомендуемое оптимальное решение по транспортному обслуживанию центра города, полученное в результате моделирования.

### **Практическая ценность работы**

Предложенная модель позволяет осуществлять выбор оптимального решения транспортного обслуживания центра города.

Методики, выводы и рекомендации диссертации могут быть использованы в практической деятельности городских властей по организации транспортного обслуживания, а также в разработке комплексных транспортных схем, комплексных схем организации движения и генеральных планов городов.

Результаты исследований нашли применение в учебном процессе кафедры «Менеджмента на автомобильном транспорте Иркутского государственного технического университета при подготовке инженеров по специальности 190702: «Организация и безопасность движения».

### **Реализация работы**

Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований приняты к практическому использованию в проектной работе выполненной по заказу администрации г. Иркутск «Расчет пассажирских потоков на городском маршрутном пассажирском транспорте и индивидуальном транспорте в г. Иркутске» и в учебном процессе на кафедре «Менеджмента на автомобильном транспорте» Иркутского государственного технического университета.

### **Апробация работы**

Основные положения и результаты диссертационного исследования представлялись в научных докладах и выступлениях: ежегодная научно-техническая конференция Иркутского государственного технического университета (г. Иркутск, 2007 г.); XV и XVI международные научно-практические конференции «Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния» (г. Екатеринбург, 2006, 2007 гг.), V всероссийская научно – техническая конференции (Красноярск, 2007 г.), V международная научно-практическая конференция (Минск, 2007г.), VIII международная научно-практическая конференция “Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах” (г. С-Петербург, 2008 г),

### **Публикации**

По результатам диссертационного исследования опубликовано 11 печатных работ в т.ч. 2 печатные работы в изданиях, утвержденных ВАК Минобробразования РФ для кандидатских диссертаций.

### **Структура и объем работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и 6 приложений. Общий объем диссертации составляет 162 страницы машинописного текста, в том числе 133 стр. основного текста, включающего 44 рисунка и 7 таблиц. Библиография содержит 156 наименований, в том числе 70 источников на иностранном языке.

Автор выражает свою глубокую благодарность за консультации при выполнении данной работы проф., д.т.н. А. Ю. Михайлову.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность работы, изложена научная новизна и практическая ценность исследования.

**В первой главе** выполнен анализ опыта транспортного обслуживания центров городов и управления стоянками. Различным аспектам проектирования и оценки функционирования стоянок посвящены исследования М.Б. Афанасьева, Е.Н. Боровик, А.Н. Герасимова, И.М. Головных, А.Ю. Михайлова, Г.Е. Голубева, В.И. Коноплянко, Г.И. Клинковштейна, Ю.С. Ланцберга, Е.М. Лобанова, И.О. Пихлака, А.Г. Романова, Д.С. Самойлова, Г.М. Саруханяна, А.В. Сигаева, В.В. Шештокаса и ряда других авторов.

Среди зарубежных ученых вопросы регулирования паркингов рассмотрены в работах следующих авторов: S.P. Anderson, A. de Palma, R. Arnott, E. Calthrop, A. Glazer, J. Rowse, W. Vickrey, W. Young. Состояние практики управления уличными и внеуличными стоянками систематизировано в документах Мировой дорожной ассоциации PIARC, в которых рассмотрено состояние организации паркингов большинства стран мира.

В 1995 г. PIARC провел специализированный XX Мировой дорожный конгресс (XX World Road Congress), посвященный исключительно проблемам транспортной планировки городов. Методические документы PIARC последних лет и труды XX конгресса выделяют следующие важнейшие направления развития организации дорожного движения (ОДД):

- снижение интенсивности движения автомобилей в центрах городов;
- приоритет общественного пассажирского транспорта и автомобилей, использующихся несколькими пассажирами (HOV – high occupancy vehicles);
- регламентация паркингов;
- взаимодействие между улично-дорожной сетью и городской средой.

Аналогичные приоритеты в области ОДД сформулированы в специальных документах Института транспортных инженеров США (ITE), посвященных проблемам перегрузки дорожной сети.

В настоящее время используется широкий спектр мер, призванных снизить нагрузки на УДС и интенсивность движения в городских центрах и увеличить привлекательность общественного пассажирского транспорта, начиная с градостроительного и технического проектирования и кончая административной деятельностью муниципалитетов. Характерна тесная интеграция организации дорожного движения (ОДД) с другими видами транспортного и градостроительного проектирования. Обязательным элементом проектов ОДД является оценка их влияния на городскую среду, экологического и социального эффектов.

По результатам анализа в данном исследовании решено рассматривать транспортную систему центра, характеризующуюся наличием:

- выделенной зоны приоритета общественного транспорта;
- системы перехватывающих стоянок на границе зоны приоритета.

Рассматриваемая транспортная система центра города основана на двух видах обслуживания:

- передвижения с использованием общественного транспорта;
- передвижения с использованием индивидуального транспорта до границы зоны приоритета и передвижения пешком в зоне приоритета

На основе проведенного анализа были сформулированы цель и задачи исследования.

**Во второй главе** разработана модель транспортного обслуживания центра города при условии приоритета общественного транспорта.

Одним из характерных примеров работ, в которых рассматривалось моделирование системы стоянок в районе центра города, является работа авторов R. Arnott и J. Rowse. Оптимальное состояние транспортной системы, обслуживающей центр, определяется как минимум затрат времени населения на передвижения в центр. При этом конкурирующими способами передвижения являются передвижения пешком и передвижения с использованием автомобиля.

Некоторые авторы рассматривают использование оплаты за паркирование как средство компенсации издержек, вызванных перегруженностью УДС. A. Glazer показывают, что повышение размера оплаты за паркирование при ограничении поездок в центр города может провоцировать транзитное движение. W. Vickrey описывает ценообразование на уличных стоянках для периода часа пик. Он предлагает правило, согласно которому цена остающихся уличных парковочных мест является функцией от числа мест, остающихся неиспользованными.

По результатам анализа решению задач, рассматриваемых в данной работе, более всего отвечает модель транспортного обслуживания центра R. Arnott и J. Rowse.

В данном диссертационном исследовании рассматривается неоднородная городская среда и формулируется следующая постановка задачи транспортного обслуживания центра:

- в центральной части города вводится приоритет общественного транспорта, в зону приоритета ГПТ ограничивается доступ легкового транспорта, а перехватывающие стоянки размещаются по границе зоны приоритета;
- размер зоны приоритета ГПТ принимается с учетом нормативов пешеходной доступности – от границы зоны до ее центра, т. е. радиуса пешеходной доступности 500-700 м;
- критерий нахождения оптимума – минимум затрат времени на передвижения в центр.

В качестве конкурирующих способов передвижения предлагается применять передвижения с использованием общественного транспорта ( $q=1$ ) и передвижения с использованием индивидуального транспорта и системы перехватывающих стоянок ( $q=2$ ). Оптимальным решением транспортного обслужи-

вания считается обеспечивающее условие минимизации суммарных передвижений в центр

$$\min \sum_i \sum_j \sum_q x_{ijq} \cdot t_{ijq} = \sum_i \sum_j x_{ij} [(1 - Qp) \cdot t_{ijq} + Qp \cdot t_{ijq}], \quad (1)$$

где  $x_{ij}$  – количество поездок из расчетного транспортного района  $i$  (вне центра) в расчетный транспортный район центра  $j$ ;  $t_{ijq}$  – полные затраты времени на передвижение из района  $i$  в район  $j$  при использовании вида транспорта  $q$ ;  $i$  – индексы районов убытия,  $i = 1, 2, \dots, k$ ;  $j$  – индексы районов принадлежащих центру,  $j = k + 1, k + 2, \dots, k + m$ ;  $Q$  – уровень автомобилизации, авт./1000 жит.;  $p$  – заполнение легкового автомобиля.

Правило, по которому часть пользователей индивидуального автомобильного транспорта отказывается от его применения и пользуется общественным транспортом, зависит от обеспеченности местами парковки. В данной работе предполагается 100% обеспечение спроса на места на перехватывающих стоянках.

*Передвижения на общественном транспорте*  $t_{ijq}$ ,  $q = 1$ , включают в себя:  $t_{neu1}$  – время подхода до остановочного пункта,  $t_{iaeä}$  – время ожидания,  $l_{ij}/V_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{u}\tilde{l}\tilde{o}}$  – время поездки,  $l_{ij}$  – расстояний по сети между районами  $i$  и  $j$ ,  $t_{iäo 2}$  – время подхода от остановочного пункта до места назначения:

$$t_{ij1} = t_{iäo 1} + t_{iaeä} + l_{ij}/V_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{u}\tilde{l}\tilde{o}} + t_{iäo 2} \quad (2)$$

Время подхода до остановочного пункта  $t_{neu1}$  зависит от плотности маршрутной сети города  $F_1$

$$t_{iäo 1} = \hat{e}_{i.i} \cdot \hat{e}_{ä.i} / v_{iäo} \cdot (1/3 F_1) + (l_{i\tilde{n}\tilde{o}} / 4), \quad (3)$$

где  $\kappa_{н.н.} = 1,2$  – коэффициент непрямолинейности подхода;  $\kappa_{г.о} = 1 + v_{iäo} / V_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{u}\tilde{l}\tilde{o}}$  – коэффициент выбора остановочного пункта, обеспечивающего экономию общих затрат времени на передвижение по сравнению с поездкой от ближайшего ОП;  $V_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{u}\tilde{l}\tilde{o}}$  – скорость сообщения рассматриваемого вида транспорта;  $l_{i\tilde{n}\tilde{o}}$  – среднее расстояние между остановочными пунктами;  $v_{iäo}$  – скорость передвижения пешком.

На плотности маршрутной сети накладываются двухсторонние ограничения  $0 < F_1 < F_1, max = 2,5 \text{ км/км}^2$ .

Расчеты времени подхода к ОП тесно связаны с расположением их на транспортной сети, нормированием радиусов пешеходной доступности  $R_{i.ä.iäeñ}$  и транспортной обслуженности территории города. Все эти характеристики тесно связаны с характеристиками городской застройки по экономическим, архитектурно – планировочным и другим соображениям. “Методические указания по проектированию сетей общественного транспорта, улиц и дорог” ЦНИИП градостроительства рекомендуют принимать максимально допустимое расстояние пешеходного подхода к ближайшим остановкам МПТ в районах с капитальной многоэтажной застройкой (в среднем более двух эта-



жей) равным 500 м и в районах с малоэтажной (усадебной) застройкой – 700 м, причем с учетом непрямолинейности подходов их следует сокращать на 20% в расчете на коэффициент непрямолинейности подхода  $k_{н.н.} = 1,2$ , т.е. принимать соответственно равными 400 и 560 м.

Время подхода от остановочного пункта до места назначения  $t_{i\alpha\delta}$  рассчитывается по формуле (4), зависит от плотности маршрутной сети центра  $F_2$ , при условии  $0 < F_2 < F_{2max} = 4,5$  км/км<sup>2</sup>.

Время ожидания  $t_{i\alpha\delta\delta}$  может колебаться в зависимости от интервалов движения общественного транспорта  $t_{i\alpha\delta\delta}$ . Чтобы получить достаточно малое время  $t_{i\alpha\delta\delta}$ , нужно иметь небольшую плотность сети. Но уменьшение плотности сети приводит к увеличению зоны пешеходного движения и уменьшению пешеходной доступности транспортных линий. Оптимальную плотность транспортной сети определяют по критерию минимума общих затрат времени в корреспонденциях с учетом капитальных затрат и эксплуатационных расходов, которые растут вместе с ростом плотности сети  $F$ :

$$t_{i\alpha\delta\delta} = t_{i\alpha\delta} / 2, \quad (4)$$

Время поездки зависит от двух величин - от  $l_{ij}$  расстояний по сети между районами  $i$  и  $j$ , а также скорости сообщения  $V_{i\alpha\delta}$ , при этом на данный показатель накладываются двухсторонние ограничения  $0 < V_{i\alpha\delta} < V_{max}$ .

Очевидно, что плотность транспортной сети  $F$  является одним из основных определяющих параметров, от которых зависят все составляющие передвижения.

В данной модели скорость сообщения  $V_{сообщ}$  также предлагается рассматривать как функцию от плотности транспортной сети  $F$ :

$$V_{i\alpha\delta} = \frac{3600 \cdot l_{ij}}{\frac{l_{ij} \cdot 3600}{V_{\delta\alpha\delta\delta}} + \frac{t_{\zeta\delta\delta} \cdot l_{ij} \cdot F \cdot P + 2 \cdot \sqrt{P}}{2P} + \frac{l_{ij} \cdot t_{i\alpha\delta\delta}}{l_{i\delta\delta}}}, \quad (5)$$

где  $V_{разреш.}$  – разрешенная скорость движения на маршруте, км/ч;  $t_{з.ср.}$  – средняя задержка на одно транспортное средство при движении через перекресток, с;  $t_{обс.ср.}$  – среднее время обслуживания на остановочном пункте, с;  $k_i = l_{ij} / l_n$  – количество пересечений на маршруте;  $m_i = l_{ij} / l_{i\delta\delta}$  – количество остановочных пунктов на маршруте ( $l_{осм.}$  – среднее расстояние между остановочными пунктами на маршруте);  $l_i = \frac{2P}{F \cdot P + 2 \cdot \sqrt{P}}$  – среднее расстояние между пересечениями;  $P$  – площадь рассматриваемой территории;  $F$  – плотность транспортной сети для рассматриваемой территории.

В результате, затраты времени населения для передвижения на общественном транспорте можно определить по формуле:

$$t_{ij1} = \left[ \left( \frac{\hat{e}_{i.i} \cdot \hat{e}_{a.i} \cdot \left( 1 + \frac{v_{i\dot{a}\sigma}}{V_{\ddot{n}\ddot{i}\ddot{a}\ddot{u}\ddot{i}\ddot{O}}} \right)}{V_{i\dot{a}\sigma}} \right) \cdot \left( \left( \frac{1}{3F_1} \right) + \left( \frac{l_{i\ddot{n}\ddot{o}}}{4} \right) \right) \right] + \frac{l_{ij}}{V_{\ddot{n}\ddot{i}\ddot{a}\ddot{u}\ddot{i}\ddot{O}}} +$$

$$+ \left[ \left( \frac{\hat{e}_{i.i} \cdot \hat{e}_{a.i} \cdot \left( 1 + \frac{v_{i\dot{a}\sigma}}{V_{\ddot{n}\ddot{i}\ddot{a}\ddot{u}\ddot{i}\ddot{O}}} \right)}{V_{i\dot{a}\sigma}} \right) \cdot \left( \left( \frac{1}{3F_2} \right) + \left( \frac{l_{i\ddot{n}\ddot{o}}}{4} \right) \right) \right], \quad (6)$$

Передвижения на индивидуальном транспорте  $t_{ijq}$ ,  $q = 2$ , включают:  
 $t_{i\ddot{n}\ddot{a}\ddot{o}}_1$  - время подхода к постоянному месту хранения автомобиля,  
 $l_{ij} / V_{\ddot{n}\ddot{i}\ddot{a}\ddot{u}\ddot{i}\ddot{O}}$  - время поездки,  $t_{i\ddot{n}\ddot{a}\ddot{o}}_2$  - время подхода к месту назначения:

$$t_{ij2} = t_{i\ddot{n}\ddot{a}\ddot{o}}_1 + \frac{l_{ij}}{V_{\ddot{n}\ddot{i}\ddot{a}\ddot{u}\ddot{i}\ddot{O}}} + t_{i\ddot{n}\ddot{a}\ddot{o}}_2, \quad (7)$$

Время подхода к месту хранения  $t_{i\ddot{n}\ddot{a}\ddot{o}x1}$  зависит от плотности размещения гаражей, т.е. от средней длины подхода  $L_{i\ddot{n}\ddot{a}\ddot{o}x1}$ .

Соответственно, среднее время подхода к месту хранения:

$$t_{i\ddot{n}\ddot{a}\ddot{o}}_1 = \frac{0,7 \cdot \hat{e}_{i.i}}{V_{i\dot{a}\sigma}} \cdot \sqrt{\frac{1}{G}}, \quad (8)$$

где  $V_{new}$  - скорость передвижения пешком.

Время подхода к месту назначения:

$$t_{i\ddot{n}\ddot{a}\ddot{o}}_2 = \frac{0,7 \cdot \hat{e}_{i.i}}{V_{i\dot{a}\sigma}} \cdot \sqrt{S_{i\dot{O}}}, \quad (9)$$

где  $S_{OT}$  - площадь участка центра с приоритетом общественного транспорта;  $G$  - плотность размещения гаражей (на данный параметр также накладываются двухсторонние ограничения).

То есть, затраты времени населения для передвижения на индивидуальном транспорте определяются по формуле:

$$t_{ij2} = \frac{0,7 \cdot \hat{e}_{i.i}}{V_{i\dot{a}\sigma}} \cdot \sqrt{\frac{1}{G}} + \frac{l_{ij}}{V_{\ddot{n}\ddot{i}\ddot{a}\ddot{u}\ddot{i}\ddot{O}}} + \frac{0,7 \cdot \hat{e}_{i.i}}{V_{i\dot{a}\sigma}} \cdot \sqrt{S_{i\dot{O}}}, \quad (10)$$

Скорость сообщения на индивидуальном транспорте определяется по выражению (5) также как и для общественного транспорта при условии, что среднее время обслуживания на остановочных пунктах равно нулю.

Целевая функция модели (11), решением которой является минимизация суммарных затрат времени на передвижения в центр с использованием обоих видов транспорта при различных ограничениях:

$$T_{\text{нóи}} = \sum_i \sum_j x_{ij} \left\{ (1-Qp) \cdot \left[ \frac{\hat{e}_{i.i} \cdot \hat{e}_{á.i} \cdot \left( 1 + \frac{V_{iáó}}{V_{\text{нóиáиò}} \right)}{V_{iáó}} \cdot \left( \frac{1}{3F_1} + \frac{l_{\text{нó}}}{4} \right) \right] + \frac{l_{ij}}{V_{\text{нóиáиò}}} + \right. \quad (11)$$

$$\left. \left[ \frac{\hat{e}_{i.i} \cdot \hat{e}_{á.i} \cdot \left( 1 + \frac{V_{iáó}}{V_{\text{нóиáиò}} \right)}{V_{iáó}} \cdot \left( \frac{1}{3F_2} + \frac{l_{\text{нó}}}{4} \right) \right] + Qp \cdot \left( \frac{0,7 \cdot \hat{e}_{i.i}}{V_{iáó}} \sqrt{G} + \frac{l_{ij}}{V_{\text{нóиáиò}}} + \frac{0,7 \cdot \hat{e}_{i.i}}{V_{iáó}} \sqrt{S_{iò}} \right) \right\} \rightarrow \min$$

Исходными данными для решения оптимизационной задачи являются:

1. Матрица корреспонденций,  $x_{ij}$  - количество поездок из районов  $i$  и  $j$ , включающая:

- трудовые поездки;
- культурно – бытовые поездки.

2. Кривая расселения;

3. Объем корреспонденций в центр города.

Весь город разделен на транспортные (расчетные) районы. Выделен центр, состоящий из нескольких расчетных районов.

В результате данного исследования получена подробная модель, позволяющая рассматривать разные нюансы задачи при различных ограничениях.

**В третьей главе** представлены методики проведения обследования подвижности населения и проведения обследования спроса на паркирование.

Основной целью проведения обследований является оценка спроса на поездки в городской центр.

Обследование подвижности населения дает необходимые данные для оценки существующего состояния системы маршрутного пассажирского транспорта.

Целью данного обследования является выявление ряда параметров, которые являются расчетными при оценке матриц корреспонденций между расчетными транспортными районами города, а также при оценке распределения пассажирских и транспортных потоков по УДС города:

1. Средняя подвижность населения по целям с разделением на группы «источник-цель», например, для таких групп как: «Дом – Работа», «Работа – Покупки», «Работа – Дом» и др.);

2. Характеристики передвижений с использованием транспорта: скорость передвижения, скорость сообщения, коэффициент пересадочности;

3. Накладные затраты: время подхода к остановке (постоянному месту хранения автомобиля), от остановки (парковки) до места назначения, время ожидания транспорта, время пересадок;

4. Распределение поездок с использованием общественного транспорта (ОТ) и индивидуального транспорта (ИТ), а также между передвижениями, совершаемыми пешком;

5. Доля внутрирайонных передвижений.

Ряд из перечисленных выше количественных параметров одновременно являются и показателями качества транспортного обслуживания населения (в первую очередь, скорость передвижения и скорость сообщения).

Для обработки анкет было разработано программное приложение на базе Microsoft Access. В структуру данного приложения вошла специально подготовленная база данных по каждой из улиц г. Иркутска. Каждой из улиц (каждого из микрорайонов города) были присвоены номера транспортных районов.

В процессе ввода производится проверка данных на программном уровне, что значительно снижает возможность возникновения погрешностей при обработке результатов анкетного обследования.

На основе полученных данных рассчитана матрица корреспонденций.

Целью обследования уличных и внеуличных стоянок в центральной части г. Иркутск являются определение:

- количества паркующихся транспортных средств на уличных и внеуличных стоянках в городском центре;
- общего суммарного количества одновременно паркующихся транспортных средств в городском центре;
- количества транспортных средств приезжающих в центр города и количества транспортных средств, осуществляющих транзитное движение через центр.

Обследование выполнялось путем подсчета паркуемых транспортных на уличных и внеуличных стоянках с указанием следующей информации:

- дата и время подсчета;
- перегон улицы (с указанием места положения перегона «от улицы» и «до улицы»), включая указание «четная сторона» и «нечетная сторона».

Обследованием предполагается получить следующую информацию:

1. Общее состояние организации парковки в исследуемом районе, с целью определить места массового скопления автомобильного транспорта, то есть определить стоянки, обладающие высокой степенью посещаемости.

Определить это можно на основе общего обследования состояния парковки автомобилей, которое предполагает обход всех улиц выбранного городского района с ежечасным занесением количества автомобилей в специальную карту. В качестве карты была выбрана схематическая карта данного района.

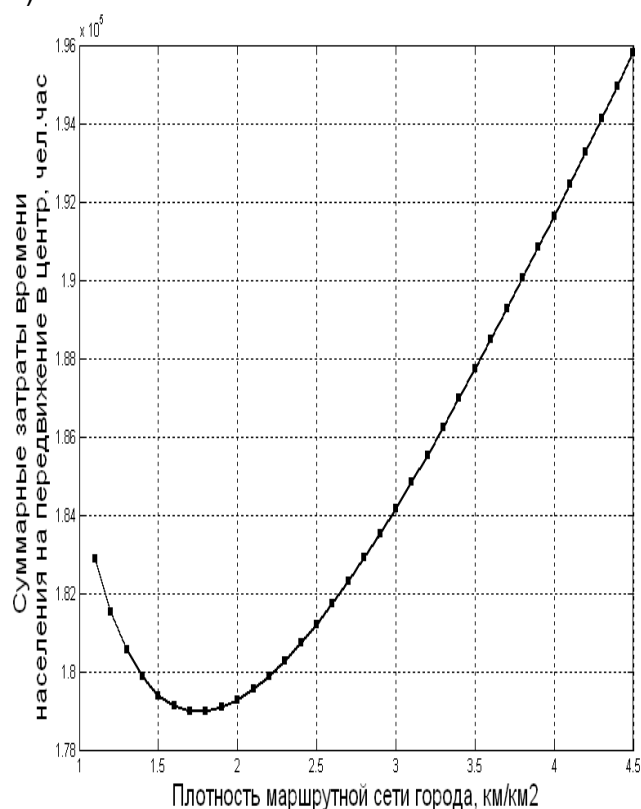
2. Перечень парковок, расположенных вокруг объектов массового тяготения.

**В четвертой главе** представлены результаты моделирования и влияние входных данных модели (11) на затраты времени населения при передвижениях в центр.

Ограничение допустимых затрат времени на передвижения порождает целый ряд требований к развитию сети магистральных улиц городского и районного значения, которые обслуживает маршрутный пассажирский транспорт. Развитие сети маршрутного пассажирского транспорта оценивается плотностью – отношением суммарной протяженности сети к площади территории, обслуживаемой сетью.

Плотность сети линий наземного общественного пассажирского транспорта на застроенных территориях необходимо принимать в зависимости от функционального использования и интенсивности пассажиропотоков, как правило, в пределах 1,5-2,5 км/км<sup>2</sup> (СНиП 2.07.01-89).

а)



б)

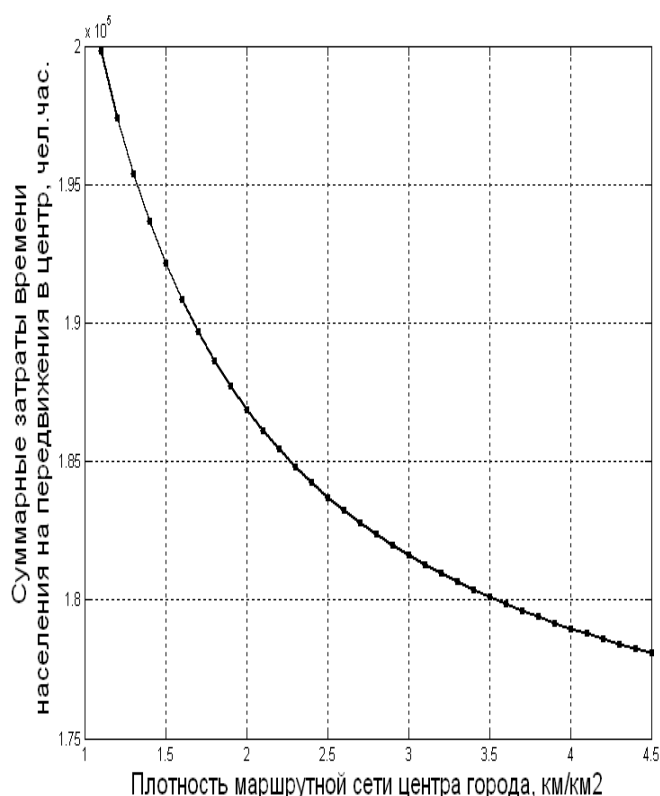


Рис. 1. Зависимость: а) - общего времени достижения центра от маршрутной сети города; б) - общего времени достижения центра от маршрутной сети центра (на примере г. Иркутск)

При существующей в Иркутске плотности транспортной сети равной 0,995 км/км<sup>2</sup> суточные суммарные затраты времени населения на передвижение в центр составляют 184825 чел. час. Увеличивая значение плотности транспортной сети до максимального ограничения, т.е. 2,5 км/км<sup>2</sup>, суммарные затраты времени населения на передвижение в центр равны 181259 чел. час. Затраты на достижение центра при плотности маршрутной сети 2,5 км/км<sup>2</sup> снизились (рис 1а). Минимальные затраты времени на достижение центра 178530 чел. час могут быть получены при плотности маршрутной сети равной 1,8 км/км<sup>2</sup>. При этом, если увеличивать плотность маршрутной сети выше, чем 2,5 км/км<sup>2</sup>, суммарные затраты времени на передвижения в центр увеличивают-

ся, это связано с падением скорости сообщения на общественном и индивидуальном транспорте.

В данной модели (11) скорость сообщения  $V_{сообщ}$  (5) рассматривается как функцию от плотности маршрутной сети  $F$  (рис 2). При этом скорость сообщения снижается с 27 км/час на ОТ и 46 км/час на ИТ при плотности 0,995 км/км<sup>2</sup> до 18 км/час на ОТ и 27 км/час на ИТ при 2,5 км/км<sup>2</sup>. Следует отметить, что взаимосвязь скорости сообщения и плотности маршрутной сети носит сложный характер. При достижении определенного оптимума, увеличение плотности маршрутной сети приводит к увеличению затрат времени на передвижение в центр. Из - за снижения скорости сообщения время поездки, как на общественном, так и на индивидуальном транспорте увеличивается. При этом, если повысить эффективность работы перекрестков и остановочных пунктов ГПТ, т.е. уменьшить среднюю задержку на перекрестке и время обслуживания на остановочном пункте, скорость сообщения увеличится, а следовательно, суммарные затраты времени на достижение центра снизятся.

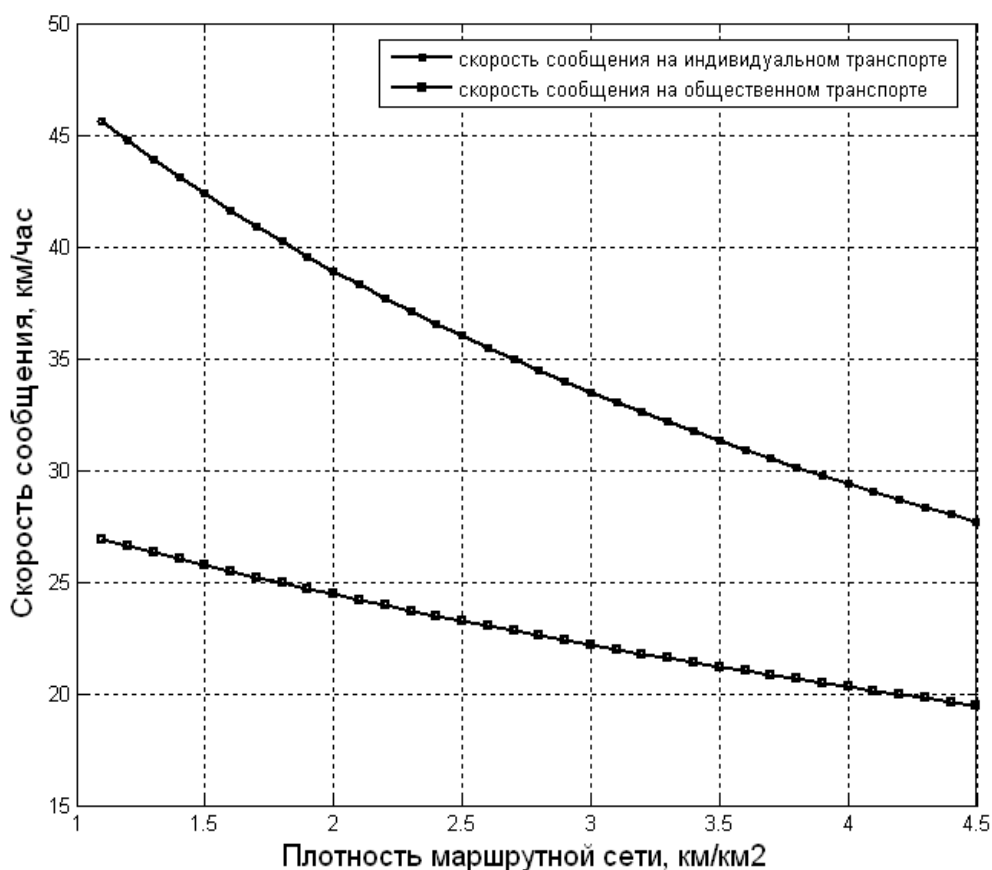


Рис. 2. Зависимость скорости сообщения на общественном и индивидуальном транспорте от плотности маршрутной сети города.

При существующей плотности маршрутной сети центра равной 1,94 км/км<sup>2</sup> суточные суммарные затраты времени населения на передвижение в центр на общественном транспорте составляют 187712 чел. час. Изменяя значения плотности маршрутной сети центра до максимального ограничения, т.е. 4,5

км/км<sup>2</sup>, суммарные затраты времени населения на передвижение в центр на общественном транспорте составляют 178975 чел. час (рис. 1б).

После установления влияния параметров УДС и сети ГПТ на затраты времени передвижения в центр моделировалось влияние характеристик постоянного хранения автомобилей.

При выполнении анализа подвижности населения, а также при анализе распределения пассажирских и транспортных потоков по УДС города, территорию города необходимо поделить на, так называемые, расчетные транспортные районы (транспортные зоны). В дальнейшем все расчеты выполнялись, опираясь на характеристики этих районов.

Территория Иркутска предварительно была разделена на 86 транспортных районов и 13 укрупненных районов. Центром города мы принимаем 1-й транспортный район (зона) - бывший Кировский административный район. В центральной части выделяется участок с приоритетом общественного транспорта. В 1-й транспортный укрупненный район (зону) входят 13 зон, в участок же выделенного центра входят только 4 зоны (рис.3). Данные зоны выделяются, исходя из матрицы корреспонденций, в них наблюдается наибольшее число корреспонденций.

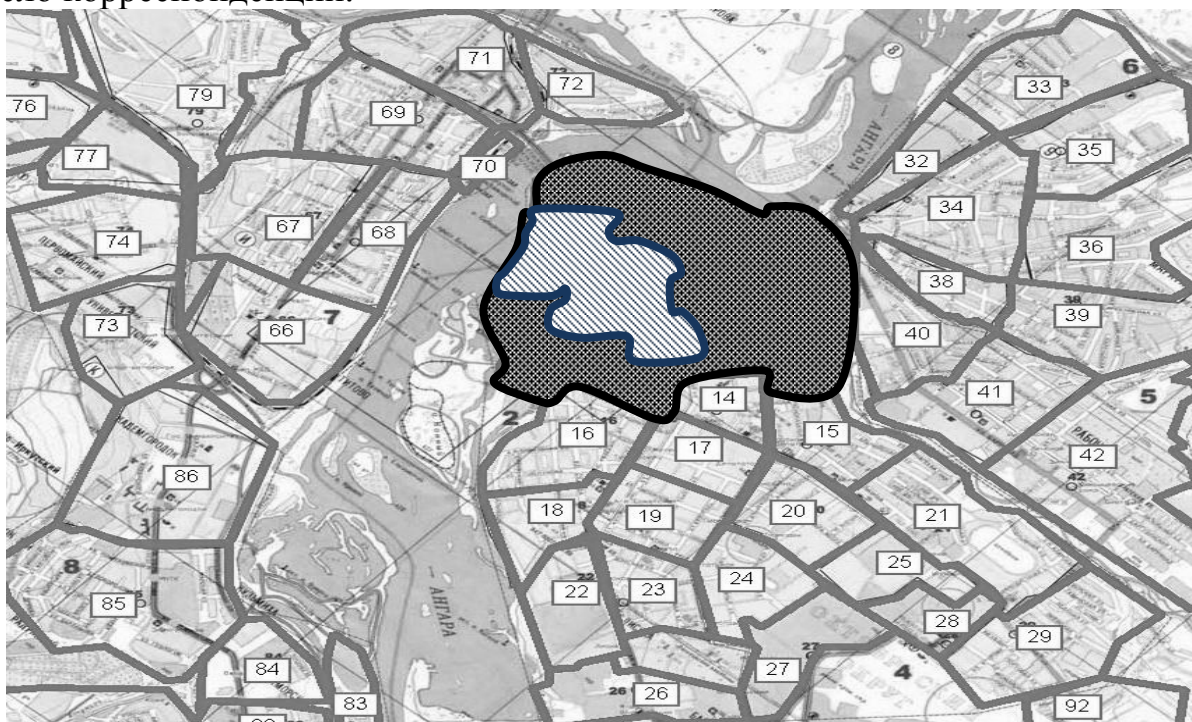


Рис. 3. Центральная часть города с участком выделенного центра с приоритетом общественного транспорта

Размещение мест постоянного хранения автомобиля влияет на суммарные затраты времени для достижения центра. Чем ниже плотность размещения мест постоянного хранения автомобиля, тем выше затраты времени для подхода к месту хранения, что сопровождается увеличением суммарных затрат времени. Оптимум 178097 чел.час, достигается при плотности мест постоянного хранения автомобилей, т.е. комплекса гаражей или стоянок, равный 2 ед/км<sup>2</sup>,

суммарные затраты времени на достижение центра при существующей плотности 0,5 ед/км<sup>2</sup> составляют 190726 чел. час. (рис. 4а). Увеличение плотности мест постоянного хранения автомобилей свыше 2 ед/км<sup>2</sup> не целесообразно, т.к. достигается интервал пешеходной доступности до места постоянного хранения автомобиля пять минут.

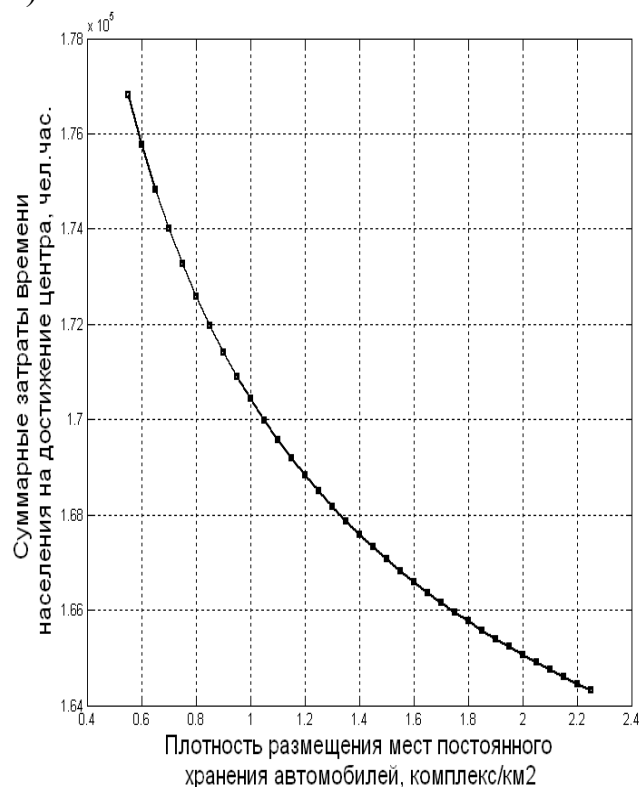
Емкость одного комплекса гаражей (стоянок) определяется исходя из плотности населения и уровня автомобилизации, проживающего на данной территории. Основным критерием плотности размещения комплекса гаражей (стоянок) является зона пешеходной доступности равной 500 м, и пешеходный интервал пять - семь минут.

На первоначальном этапе рассматривается вариант 100% обеспечения местами хранения автомобиля в комплексе гаражей (стоянок).

В дальнейших исследованиях можно рассматривать дефицит парковочных мест комплексе гаражей (стоянок).

В данные зоны запрещается доступ индивидуального транспорта, а по периметру организуется система перехватывающих стоянок. Главным критерием выбора выделенного участка центра, кроме количества корреспонденций, является показатель пешеходной доступности – 500 метров.

а)



б)

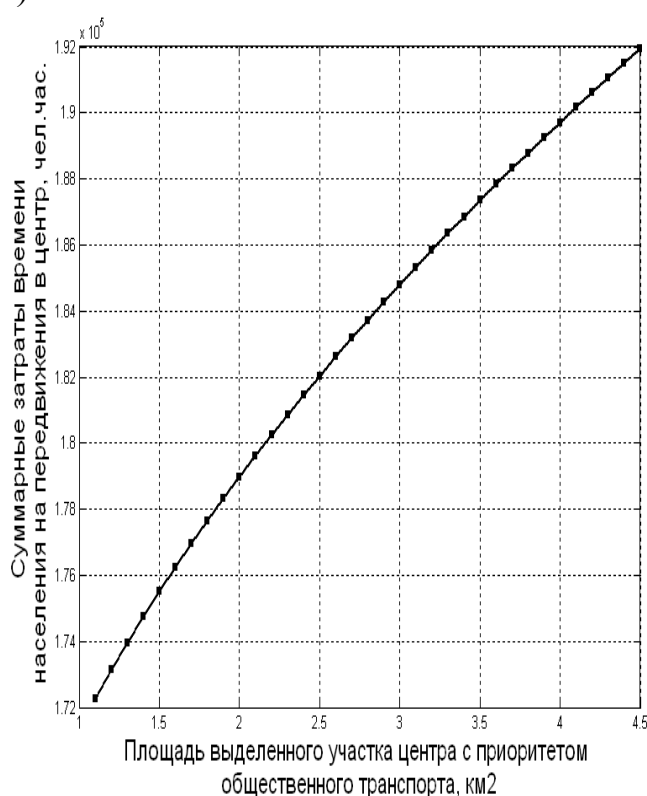


Рис. 4. Зависимость: а) - общего времени достижения центра от плотности размещения мест постоянного хранения автомобиля; б) - общего времени достижения центра от площади участка выделенного центра с приоритетом общественного транспорта

Площадь существующего центрального района, включающего в себя 13 зон, составляет 5 км<sup>2</sup>, а суммарные затраты на достижение центра 191932 чел.



час. Предложенный выделенный участок центра имеет площадь 1,56 км<sup>2</sup>, а суммарные затраты – 175504 чел. час (рис. 4б). Уменьшение площади выделенного участка центра с приоритетом общественного транспорта приводит к снижению суммарных затрат времени на достижение центра.

Если принимать площадь выделенного участка центра меньше чем 1,56 км<sup>2</sup>, то из этого участка центра выпадают некоторые зоны с максимальным количеством передвижений, поэтому выделенный участок включает в себя 4 зоны общей площадью 1,56 км<sup>2</sup>.

Из рис. 5 видно, что наиболее эффективным мероприятием по снижению затрат времени населения на достижение центра является – выделение участка с приоритетом общественного транспорта.

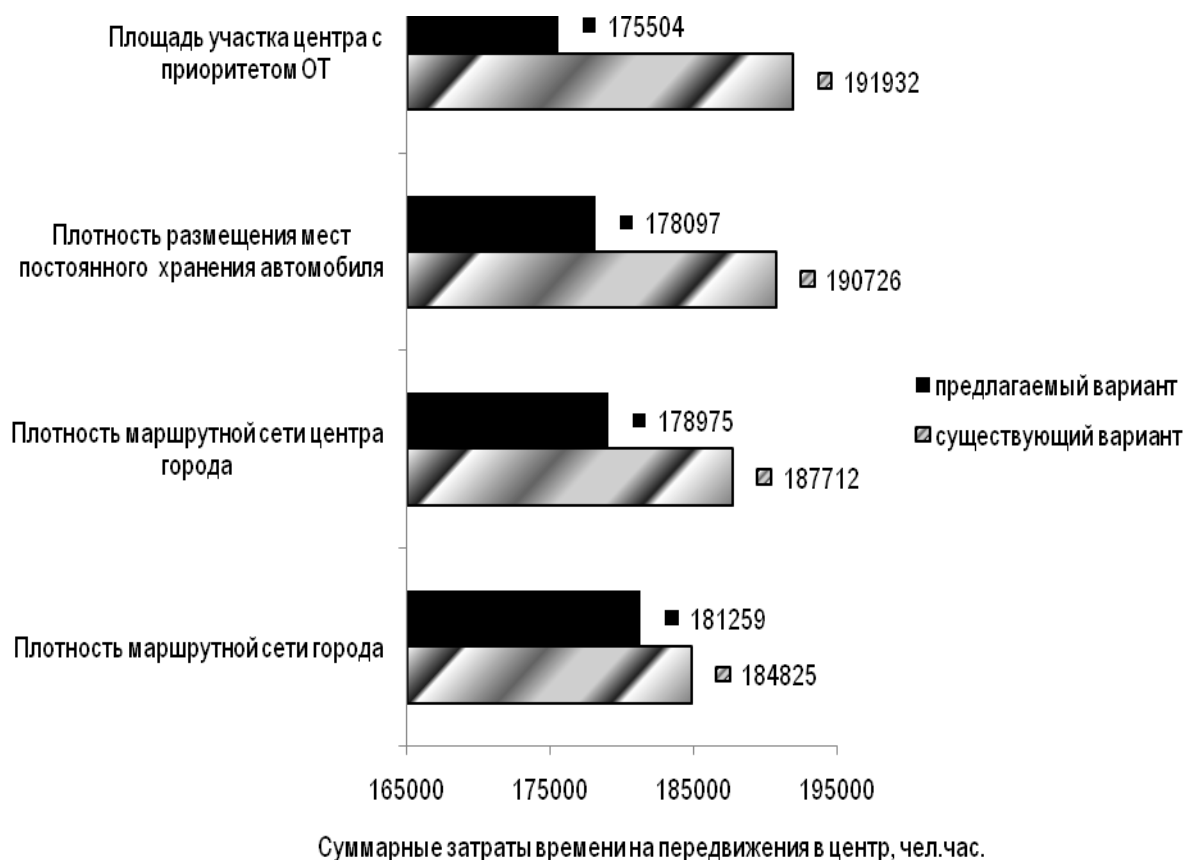


Рис. 5 . Оптимальные значения параметров, обеспечивающие снижение суммарных затрат времени.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

**Диссертация является законченной научно-квалификационной работой**, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для отрасли автомобильного транспорта и направленной на повышение эффективности транспортного обслуживания центра крупного города при условии выделения зоны центра с приоритетом общественного транспорта и создания на границах зоны системы перехватывающих стоянок.

1. Теоретически разработана и обоснована оптимизационная модель транспортного обслуживания центра крупного города в условиях приоритета общественного транспорта и системы перехватывающих стоянок.

На основе анализа данных специальной литературы и периодики, результатов исследований других авторов сформулированы требования к модели транспортного обслуживания города. Предложенная модель включает в себя следующие параметры: количество передвижений в городской центр на общественном и индивидуальном транспорте, плотность маршрутной сети города, плотность размещения мест постоянного хранения автомобилей и уровень автомобилизации.

2. Предложена методика сбора данных для выполнения моделирования транспортного обслуживания центра крупного города включающая:

- оценку подвижности населения с помощью анкетирования;
- оценку спроса на уличные и внеуличные стоянки.

3. На основе выполненных обследований:

- определены затраты времени населения на передвижения в центр Иркутска;
- определена структура затрат времени населения на передвижения в центр Иркутска;
- выявлены наиболее неблагоприятные районы Иркутска по критерию затрат времени населения на передвижения в центр;
- предложены границы зоны приоритетного движения ГПТ;
- оценен транспортный спрос на передвижения в центр города, представленный в виде матрицы корреспонденций;
- оценен спрос на обслуживание уличными и внеуличными стоянками, представленный в виде картограммы.

4. Исследование свойств предложенной модели позволило:

- установить взаимосвязь между параметрами УДС, системы ГПТ и системы хранения индивидуального транспорта и затратами времени для передвижения в центр;
- получить оптимальное решение, обеспечивающее минимум суммарных затрат времени населения для передвижения в центр на примере Иркутска.

5. На основе предложенной модели, выполненных обследований и численного моделирования:

установлены оптимальные показатели транспортной системы г. Иркутск, по критерию затрат времени для передвижения в центр:

- выделенный участок центра с приоритетом общественного транспорта площадью  $1,56 \text{ км}^2$ .
- плотность размещения постоянных мест хранения автомобиля, т.е. комплекса гаражей (стоянок)  $2 \text{ ед/км}^2$ ;

установлено, что для случая городского центра г. Иркутск изменение ряда параметров приводит к следующим эффектам:

- увеличение плотности маршрутной сети города с  $0,995 \text{ км/км}^2$  до  $2,5 \text{ км/км}^2$  сопровождается снижением суммарных затрат времени на достижение центра с 184825 чел. час до 181259 чел. час, а минимальные затраты времени для достижения центра достигаются при плотности маршрутной сети равной  $1,8 \text{ км/км}^2$  178530 чел. час.;

- увеличение плотности маршрутной сети центра города с  $1,94 \text{ км/км}^2$  до  $4,5 \text{ км/км}^2$  приводит к снижению суммарных затрат времени для достижения центра с 187712 чел. час до 178975 чел. час;

- увеличение плотности размещения постоянных мест хранения автомобиля, т.е. комплекса гаражей (стоянок) с  $0,5 \text{ ед/км}^2$  до  $2 \text{ ед/км}^2$  приводит к снижению суммарных затрат времени для достижения центра с 190726 чел. час до 178097 чел. час;

- выделение участка центра с приоритетом общественного транспорта площадью  $1,56 \text{ км}^2$  приводит к снижению суммарных затрат времени на достижение центра с 191932 чел. час до 175504 чел. час.

В дальнейших исследованиях предполагается рассмотрение аспектов транспортного обслуживания центра крупного города, связанных с дефицитом мест паркования; размещением перехватывающих стоянок по всей территории города; влиянием объектов массового тяготения по культурно-бытовым целям, размещаемым вне городского центра.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

**В том числе в изданиях утвержденных ВАК Минобразования РФ для кандидатских диссертаций:**

1. Куприянова А.Б. К вопросу об оптимизации транспортного обслуживания центра крупных городов // Вестник ИрГТУ №4(32) 2007г. – Иркутск: Иркутский государственный технический университет, 2007. – С.155 -159.

2. Куприянова А.Б. Модель транспортного обслуживания центра крупных городов в условиях приоритета общественного транспорта и системы перехватывающих стоянок // Вестник ИрГТУ №3(35) 2008г. – Иркутск: Иркутский государственный технический университет, 2008. – С.123 -125.

**В других изданиях:**

3. Куприянова А.Б. Оценка пропускной способности остановочных пунктов маршрутного пассажирского транспорта / А.Б.Куприянова, А.В. Зедгенизов, М.И. Шаров // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния. Материалы XV Международной научно-практической конференции – Екатеринбург: АМБ, 2006. - С.197 – 201.

4. Куприянова А.Б. Исследование параметров расселения г. Иркутска / А.Б.Куприянова, Р.Ю. Лагерев, М.И. Шаров. // Вестник стипендиатов DAAD, Иркутск: Иркутский государственный технический университет, 2006. – С.90-95.

5. Куприянова А.Б. К вопросу о пропускной способности остановочных пунктов / А.Б. Куприянова, А.В. Зедгенизов, А.Ю. Михайлов, М.И. Шаров //

Проблемы земной цивилизации, Иркутск: Иркутский государственный технический университет, 2006. – С.272 - 281.

6. Куприянова А.Б. К вопросу о моделировании системы стоянок / А.Б. Куприянова, А.Г. Левашев, А.Ю.Михайлов// Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния. Материалы XVI Международной научно-практической конференции – Екатеринбург: АМБ, 2007. – С.115 – 120.

7. Куприянова А.Б. Оценка кривой тяготения жителей г. Иркутска относительно центра / А.Б. Куприянова, Р.Ю. Лагерева, М.И. Шаров. // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния. Материалы XVI Международной научно-практической конференции – Екатеринбург: АМБ, 2007. – С. 166 – 168.

8. Куприянова А.Б. К вопросу о моделировании системы перехватывающих стоянок / А.Б. Куприянова, А.Г. Левашев // Политранспортные системы. Материалы V Всероссийской научно – технической конференции - Красноярск: Красноярский государственный технический университет, 2007. – С. 150 – 155.

9. Куприянова А.Б. Постановка задачи моделирования системы стоянок / А.Б. Куприянова, А.Г. Левашев, Ю.В. Тарасюк // Материалы пятой международной научно-практической конференции – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2007. – С. 530 – 535.

10. Куприянова А.Б. Особенности формирования инвестиций в парковочном комплексе крупных городов /А.Б. Куприянова, Д.С. Фадеев //Сборник докладов 8-й международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» – Санкт–Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно – строительный университет, 2008. – С. 94 – 98.

11. Куприянова А.Б. Оптимизационная модель транспортного обслуживания центра крупного города в условиях приоритета общественного транспорта и системы перехватывающих стоянок / А.Б. Куприянова, А.Г. Левашев, Д.С. Фадеев// Сборник докладов 8-й международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» – Санкт–Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно – строительный университет, 2008. – С. 271 – 276.