

На правах рукописи



Кулев Андрей Владимирович

**ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ
ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДЕ**

Специальность 05.22.10 - Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Орел – 2015

Работа выполнена на кафедре «Сервис и ремонт машин» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс» (переименован в Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Приокский государственный университет»).

Научный руководитель: **Новиков Александр Николаевич**
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Сервис и ремонт машин» ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Официальные оппоненты: **Ефименко Дмитрий Борисович**
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Транспортная телематика» ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Москва

Пышный Владислав Александрович
кандидат технических наук, ассистент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород

Защита диссертации состоится **«16» декабря 2015 г. в 10:00 часов** на заседании объединенного диссертационного совета Д999.030.03 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе ФГБОУ ВПО «Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс», ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет» по адресу: **302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте (www.gu-unpk.ru) ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет» по адресу: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29, аудитория 340.

Автореферат разослан **«11» ноября 2015 г.** Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет» (www.gu-unpk.ru) и на официальном сайте Министерства образования и науки Российской Федерации (vak2.ed.gov.ru).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации направлять в диссертационный совет по адресу: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29. Телефон для справок +79058569797

Ученый секретарь диссертационного совета Д 999.030.03



А.А. Катунин

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время в большинстве городов Российской Федерации существует тенденция увеличения количества индивидуальных транспортных средств у населения, что влечет к увеличению нагрузки на улично-дорожную сеть (УДС), ухудшению экологической обстановки, снижению безопасности дорожного движения. В данной ситуации выходом является повышение привлекательности для городского населения маршрутного пассажирского транспорта.

В последнее время наблюдается тенденция ухудшения качества перевозок на городском пассажирском транспорте общего пользования (ГПТОП). Ее основными причинами являются: снижение спроса на использование городского маршрутного транспорта, конкуренция между операторами перевозок, старение и отсутствие возможности обновления парка транспортных средств (ТС).

К главным недостаткам существующей структуры транспортного обслуживания населения на ГПТОП можно отнести: низкое качество и неэффективная работа операторов перевозок; нерациональное формирование маршрутной транспортной сети; снижение уровня безопасности при перевозке пассажиров; неэффективная координация работы операторов перевозок.

Наибольший вклад в исследование проблем функционирования маршрутных сетей городов внесли следующие зарубежные и отечественные ученые: С. Brand, G.A. Currie, D. Habarda, K.R. Jacques, H. S. Levinson, Л.Б. Миротин, А.В. Вельможин, М.Е. Антошвили, Б.Л. Геронимус, М.Р. Якимов, Л.Б. Зырянов, Д.Б. Ефименко, В.А. Корчагин и др. Проблемами качества пассажирских перевозок посвящены труды: J. Cibulka, В.А. Гудков, И.В. Спирин. Однако, остаются недостаточно проработанными вопросы формирования маршрутной транспортной сети в условиях конкуренции операторов перевозок. Предлагаемые научно-методические подходы должны обобщить методы по обследованию пассажиропотоков, формированию маршрутной транспортной сети города, расчета необходимого вида и количества подвижного состава (ПС), формированию перечня льготных маршрутов.

Степень ее разработанности. Известные из научной литературы результаты теоретико-прикладных исследований по вопросам повышения эффективности работы системы ГПТОП не в полной мере отвечают сегодняшним «вызовам» функционирования рынка пассажирских перевозок на современном этапе развития экономики, недостаточно проработаны вопросы оптимизации маршрутной сети и обслуживания льготных категорий граждан на городском пассажирском транспорте. Эти проблемы изучены неполностью и на сегодняшний день не соответствуют реальным потребностям российской экономики.

Отсутствие теоретико-методических подходов оптимизации маршрутной сети пассажирского транспорта с учетом рационального распределения льготных маршрутов требует постановки и решения научной задачи.

Цель диссертационной работы - оптимизация маршрутной транспортной сети, с учетом рационального распределения льготных маршрутов.

Для достижения указанной цели в работе поставлены следующие **задачи**:

- выполнить анализ существующих методик обследования пассажиропотоков;
- разработать научно-методические подходы расчета оптимальной маршрутной сети города с учетом рационального распределения льготных маршрутов;
- выполнить комплексное исследование пассажиропотоков в г. Орле;
- апробировать предложенные теоретико-методические подходы расчета оптимальной маршрутной транспортной сети в г. Орле;
- определить технико-экономические показатели оптимизированной маршрутной транспортной сети.

Объектом исследования является система городского пассажирского транспорта.

Предметом исследования является оптимизация маршрутной сети городского пассажирского транспорта.

Научную новизну составляют:

- разработанная целевая функция оптимизации маршрутной транспортной сети ГПТОП, позволяющая организовать работу пассажирского транспорта с минимальными затратами времени на подход к остановочному пункту, ожидание транспортного средства, передвижение в подвижном составе, осуществление пересадки, в том числе на передвижение пассажиров пешим ходом между остановочными пунктами;
- научно-методические подходы и модель распределения пассажиров с учетом различных льготных категорий граждан по виду маршрутов;
- вероятностный подход для определения частоты использования льготы пассажирами.

Положения, выносимые на защиту:

- целевая функция оптимизации маршрутной транспортной сети ГПТОП;
- научно-методические подходы и модель распределения пассажиров с учетом различных льготных категорий граждан по виду маршрутов;
- результаты обследования пассажиропотоков и разработанный реестр городского пассажирского транспорта в г. Орле;
- технико-экономические показатели функционирования оптимизированной маршрутной транспортной сети г. Орла.

Теоретическая значимость работы. Полученные новые результаты в виде совокупности теоретико-методических подходов, модели, алгоритмов вносят существенный вклад в теорию и практику организации городских пассажирских перевозок по наиболее эффективному социально-экономическому варианту решения важных транспортных задач. Созданы научно-методические подходы оптимизации маршрутной сети городского пассажирского транспорта с учетом рационального распределения льготных маршрутов для улучшения транспортного обслуживания населения.

Практическая значимость. Предлагаемые в работе научно-методические подходы могут быть использованы работниками областных управлений и городских департаментов транспорта при формировании маршрутных транспортных сетей пассажирских перевозок; для обоснования выбора рационального управля-

ющего решения и поиска путей повышения эффективности работы подвижного состава.

Теоретико-методические подходы оптимизации маршрутной сети городского пассажирского транспорта служат научной основой для повышения эффективности работы пассажирского транспорта.

Методология и методы 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. Методы исследования: математический анализ, динамическое программирование, математическая статистика, математическое моделирование.

Апробация и реализация результатов работы. Основные результаты исследований доложены на 2-ой Международной научно-практической интернет-конференции «Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса» (г. Орел); Международной научно-практической конференции «Наука 2012: Итоги, перспективы» (г. Москва); 3-ей Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса» (г. Орел); 4-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса» (г. Орел), Молодёжной Международной научно-практической конференции «Молодые учёные - альтернативной транспортной энергетике» (г. Воронеж), Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» (г. Орел); Smart cities symposium Prague 2015 (Чехия, г. Прага); заседаниях кафедры «Сервис и ремонт машин», 2012 – 2015 гг.; заседаниях межведомственной комиссии по безопасности г. Орла, 2012 – 2014 гг.

Значимость результатов исследования подтверждается тем фактом, что основные теоретические положения, научные и практические результаты, математические модели и научно-методические подходы оптимизации использовались при решении важных проблем в ходе выполнения хозяйственных работ по заказу администрации г. Орла: «Обследование пассажиропотока на автотранспорте общего пользования в городе Орле, оценка перспектив развития маршрутной сети на 2011 г. и плановый до 2015 г., анализ эффективности работы и взаимодействия различных видов транспорта общего пользования»; «Разработка технико-экономического обоснования введения новых маршрутов в г. Орле»; «Исследование развития транспортного обслуживания микрорайона «Новая Ботаника» муниципального образования «город «Орел» до 2016 года»; «Обследование пассажиропотока по сезонным маршрутам для проезда жителей города Орла к садово-дачным массивам».

Основные теоретико-методические подходы внедрены в процесс формирования оптимальной транспортной сети ГПТОП в г. Орле.

Полученные результаты диссертации используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК» (ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет») при изучении дисциплины «Пассажирские перевозки».

Достоверность результатов. Обоснованность и достоверность выносимых на защиту научно-методических подходов и выводов, обеспечивается принятой методологией исследования, включающей в себя современные научные методы, апробацией при обсуждении результатов диссертационной работы на международных научно-практических конференциях. Это позволило обеспечить репрезентативность, доказательность и обоснованность разработанных подходов и полученных результатов.

Достоверность теоретико-методических подходов и выводов диссертационной работы подтверждена положительными результатами их использования при выполнении хозяйственных исследований и внедрения в практическую деятельность, отмеченных в подразделе «Апробация и реализация результатов работы».

Публикации. По результатам диссертации опубликованы 13 публикаций, в том числе в изданиях из «Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук» ВАК Минобрнауки – 7 работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и выводов по работе, изложена на 127 страницах машинописного текста, включает 24 таблицы, 48 рисунков, источников литературы из 120-ти наименований, 5-и приложений на 14 страницах.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируется цель и задачи работы, отмечается научная новизна и практическая ценность исследования, приводятся сведения о публикациях, структуре и объеме работы.

В первой главе проведен анализ состояния действующей маршрутной сети городского пассажирского транспорта в г. Орле.

Транспортное обслуживание населения города Орла (Рисунок 1) осуществляется двумя муниципальными транспортными предприятиями: муниципальное унитарное пассажирское автотранспортное предприятие №1 (МУ ПАТП-1) и муниципальное унитарное предприятие «Трамвайно-троллейбусное предприятие» (МУП ТТП), а также 54 частными перевозчиками (лицензированными юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями).



Рисунок 1 – Распределение операторов перевозок по маршрутам г. Орла

В ходе проведенного анализа маршрутной транспортной сети города Орла выявлены следующие проблемы городского пассажирского транспорта: нерациональное распределение маршрутов общественного транспорта по транспортной сети; преобладание подвижного состава малой вместимости; несоблюдение ин-

тервалов движения; отсутствие координации движения частных и муниципальных перевозчиков.

Анализ методов обследования пассажиропотоков показал, что ни один из существующих методов не способен дать полную и достоверную информацию для разработки оптимальной маршрутной сети.

Во второй главе «Разработка научно-методических подходов оптимизации маршрутной сети пассажирского транспорта в городе» разработана и научно обоснована методика оптимизации маршрутной сети городского пассажирского транспорта на основе минимизации затрат времени на передвижение пассажиров.

Затраты времени пассажиров складываются из: времени, необходимого для подхода к остановочному пункту, ожидания маршрутного транспортного средства (МТС), времени перемещения в подвижном составе, времени на совершение пересадки, времени на движение от конечного остановочного пункта (ОП) до места назначения (Рисунок 2).

В общем случае, время на передвижение пассажира можно определить по формуле:

$$t_{нас} = t_{под} + t_{ож} + t_{передв} + t_{перес} + t_{от}, \quad (1)$$

где $t_{под}$ - время, затрачиваемое пассажиром на перемещение к начальному ОП пешим ходом, ч.;

$t_{ож}$ - время, затрачиваемое пассажиром на ОП в ожидании МТС, ч.;

$t_{передв}$ - время, затрачиваемое пассажиром на перемещение внутри МТС до необходимого пункта следования, ч.;

$t_{от}$ - время, затрачиваемое пассажиром на перемещение пешим ходом от ОП до места назначения, ч.

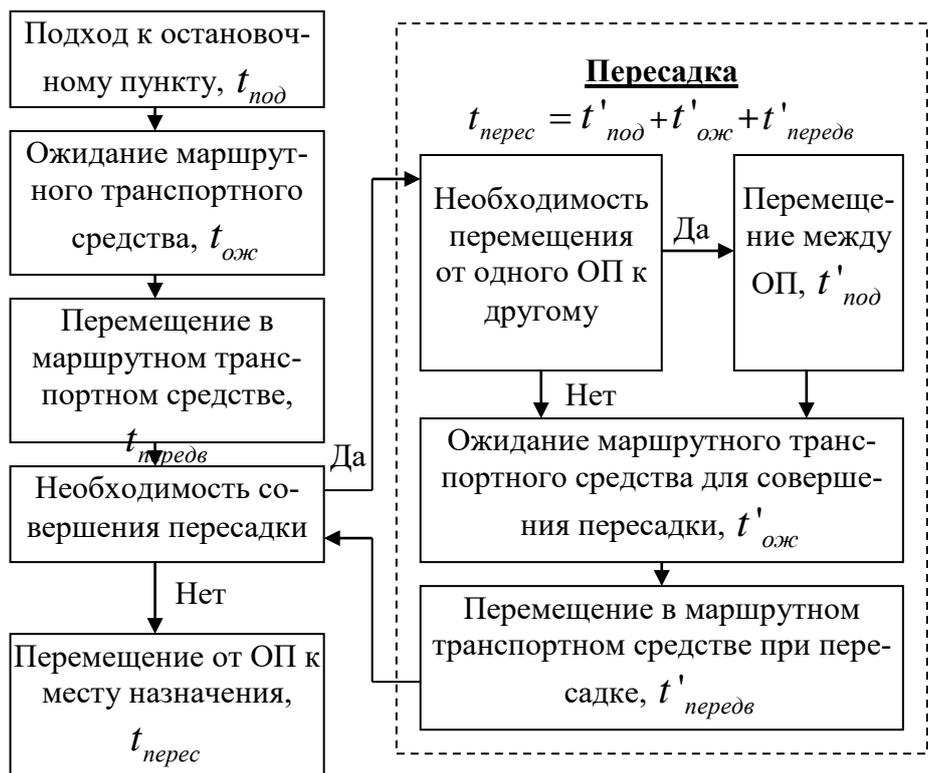


Рисунок 2 – Технологическая схема передвижения пассажиров при использовании ГПТОП

$t_{перес}$ - время, затрачиваемое пассажиром на совершение пересадки в другое маршрутное транспортное средство, ч.

Время пересадки может включать в себя время на перемещение от одного остановочного пункта к другому (в случае необходимости), время на ожидание

нужного транспортного средства и время, затрачиваемое на передвижение в маршрутном транспортном средстве. В случае отсутствия необходимости в совершении пересадки $t_{перес} = 0$. Время на пересадку можно рассчитать по формуле:

$$t_{перес} = t'_{нод} + t'_{ож} + t'_{передв}, \quad (2)$$

где $t'_{нод}$ - время, затрачиваемое пассажиром на перемещение пешим ходом между остановочными пунктами в случае необходимости совершения пересадки с одного маршрутного транспортного средства на другое, ч;

$t'_{ож}$ - время, затрачиваемое пассажиром на ожидание маршрутного транспортного средства для пересадки, ч;

$t'_{передв}$ - время, затрачиваемое пассажиром на перемещение в маршрутном транспортном средстве при пересадке, ч.

Исходя из всего вышесказанного, целевую функцию для определения оптимальной маршрутной транспортной сети городского общественного транспорта можно представить в следующей форме:

$$E = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (t_{передв_{ij}} + t'_{передв_{ij}}) \cdot \Pi_{ij} + \sum_{k=1}^K (t_{ож_k} + t'_{ож_k}) \cdot \Pi_k + \\ + \sum_{i_1=1}^{m_1} \sum_{i_2=1}^{m_1} (t'_{нод_{i_1 i_2}} \cdot \Pi_{i_1 i_2} + \Pi_{i_1} \cdot t_{нод_{i_1}} + \Pi_{i_2} \cdot t_{ом_{i_2}}) \rightarrow \min, \quad (3)$$

где $i=1,2,\dots,m$ – порядковые номера микрорайонов начала передвижения пассажиров;

$j=1,2,\dots,m$ – порядковые номера микрорайонов окончания передвижения пассажиров;

$k=1,2,\dots,K$ – маршруты городского пассажирского транспорта;

K – количество маршрутов, ед.;

$i_1=1,2,\dots,m_1$ – порядковые номера остановочных пунктов начала передвижения;

$i_2=1,2,\dots,m_1$ – порядковые номера остановочных пунктов окончания передвижения;

Π_{ij} - количество пассажиров, совершивших передвижения между микрорайонами i и j , чел;

Π_k - количество пассажиров, воспользовавшихся k -ым маршрутом городского общественного транспорта, чел;

Π_{i_1} - количество пассажиров, начавших передвижение от l -го остановочного пункта, чел;

Π_{i_2} - количество пассажиров, закончивших передвижение в r -ом остановочном пункте, чел;

$P_{i_1 i_2}$ - количество пассажиров, осуществивших пеший переход для пересадки из l -го в r -ый остановочный пункт, чел;

Процесс проектирования маршрутной сети городского общественного транспорта характеризуется тем, что оптимальный вариант находится на стыке интересов трех подсистем: «город», «пассажир», «перевозчик» (Рисунок 3).

Подсистема «город», как правило, представлена администрацией муниципального образования. Для администрации города к основным критериями, предъявляемым к маршрутной транспортной сети, можно отнести: обеспечение бесперебойной перевозки населения от центров зарождения пассажиропотока к центру его погашения; экологический ущерб, наносимый автотранспортом; безопасность транспортного процесса. Для перевозчиков процесс перевозки пассажиров является источником дохода, поэтому основным для них является максимально увеличить прибыль, получаемую в процессе обслуживания маршрута, и сократить эксплуатационные расходы. Пассажиров интересуют стоимость и время поездки, уровень комфорта, регулярность движения маршрутных транспортных средств, а так же безопасность перевозочного процесса.

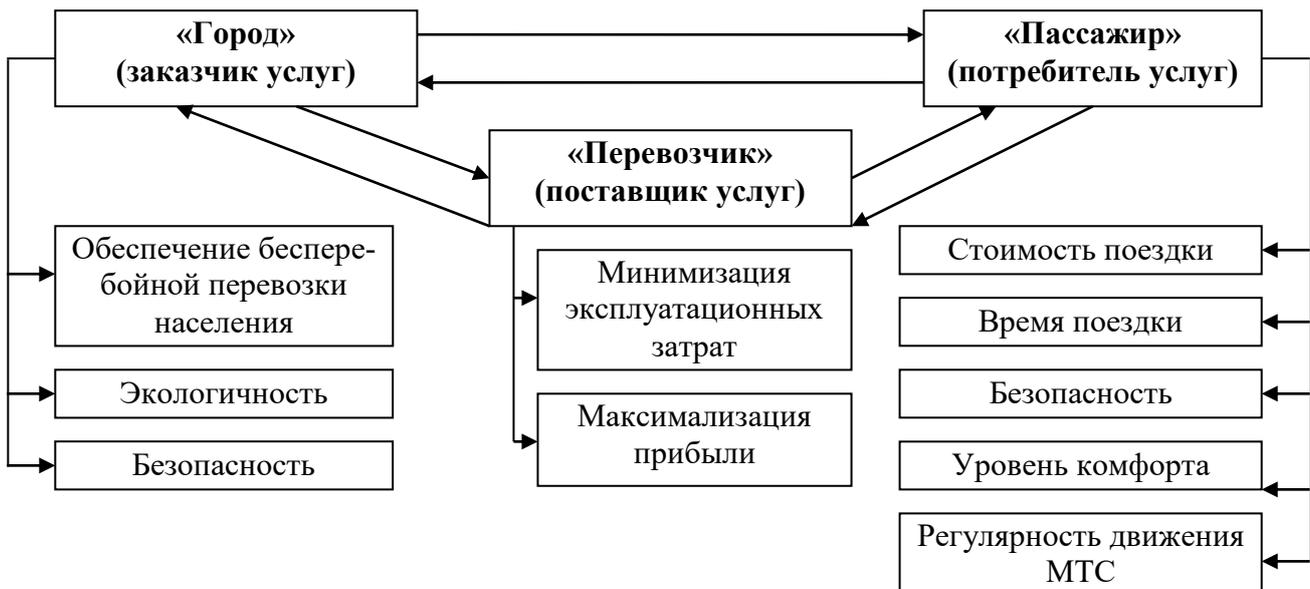


Рисунок 3 – Взаимодействие элементов системы ГПТОП

За основу модели распределения пассажиров в зависимости от их принадлежности от их льготной категории взята равновесная модель теории игр, предложенная М.Е. Корягиным.

В основе разработанной модели использовано следующее положение: пассажиры, не имеющие льготного права на проезд в городском общественном транспорте, используют, в равной степени, как льготные, так и нельготные маршруты (Рисунок 4).

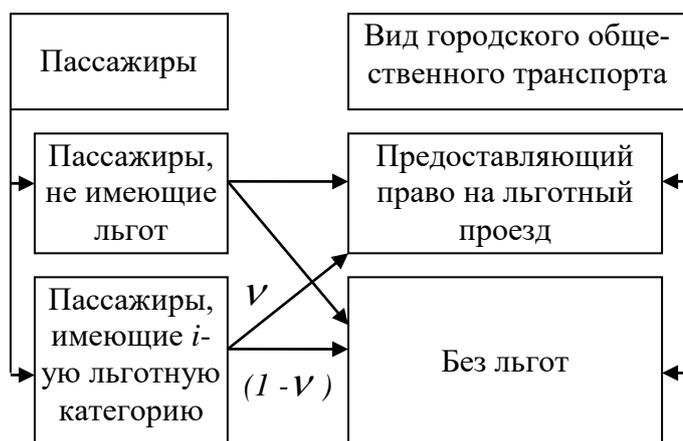


Рисунок 4 – Технологическая схема выбора пассажирами МТС, в зависимости от наличия льгот

Выбор, как правило, зависит от того, какой вид общественного транспорта прибывает на остановочный пункт первым. В свою очередь, льготные категории граждан делают выбор из расчета запаса времени, т.е., если пассажир обладает достаточным запасом времени, то он будет дожидаться появления маршрутного транспортного средства, предоставляющего льготное право на проезд. В противном случае пассажир воспользуется нельготным маршрутом.

Поэтому, выбор характеризуется вероятностью или частотой использования. Следует отметить, что частота использования нельготных маршрутов у различных категорий льготных пассажиров может отличаться.

Пассажиры, не имеющие льгот, используют как льготные маршруты, так и маршруты без льгот, т.е. данный пассажиропоток распределяется по всем маршрутным транспортным средствам.

Распределение льготных категорий пассажиров, осуществляется между двумя видами маршрутных транспортных средств (предоставляющих и не предоставляющих право льготного проезда) в зависимости от частоты использования льготы V_{ij} .

Частота использования льготы V_{ij} определяется для пассажиров, совершающих передвижение между микрорайонами i и j , по результатам анкетного обследования по формуле:

$$V_{ij} = \frac{N_{ij}^{\text{Льготное}}}{N_{ij}^{\text{Общее}}}, \quad (5)$$

где $N_i^{\text{Льготное}}$ - количество перемещений с использованием льготы между микрорайонами i и j за расчетный период времени;

$N_i^{\text{Общее}}$ - общее количество перемещений между микрорайонами i и j за расчетный период времени;

Среднее количество льготных пассажиров, которые осуществляют перемещение между микрорайонами i и j , выбравших g -ый льготный маршрут:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{V_{ij} A_{i,j}^k \mu_g^{(0)} \lambda_{i,j}^{(0)}}{\sum_{k=1}^K A_{i,j}^k (\mu_k^{(0)} + \mu_k^{(1)})}, \quad (6)$$

где K - количество маршрутов;

$k = 1, 2, \dots, K$ - порядковые номера маршрутов;

$A_{i,j}^k$ - принимает значение 1, в случае, если по k -му маршруту можно осуществить передвижение из i -го микрорайона в j -й, иначе принимает значение 0;

$\mu_k^{(0)}$ - интенсивность потока городского общественного транспорта, предоставляющего льготы, обслуживающего маршрут k ;

$\mu_k^{(1)}$ - интенсивность потока городского общественного транспорта, не предоставляющего льготы, обслуживающего маршрут k ;

$\lambda_{i,j}^{(0)}$ - интенсивность потока пассажиров, имеющих льготы на проезд в городском общественном транспорте, желающих совершить проезд из i -ого в j -ый микрорайон.

Среднее количество льготных пассажиров, которые осуществляют перемещение между микрорайонами i и j , выбравших g -ый нельготный маршрут:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{(1 - v_{ij}) A_{i,j}^k \mu_g^{(1)} \lambda_{i,j}^{(0)}}{\sum_{k=1}^K A_{i,j}^k (\mu_k^{(0)} + \mu_k^{(1)})}, \quad (7)$$

где $\lambda_{i,j}^{(1)}$ - интенсивность потока пассажиров, не имеющих льгот на проезд в городском общественном транспорте, желающих совершить проезд из i -ого в j -ый микрорайон.

Среднее количество пассажиров, которое выигрывает g -ый льготный маршрут, осуществляющий перевозку пассажиров между микрорайонами i и j :

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{A_{i,j}^k \mu_g^{(0)} (v_{ij} \lambda_{i,j}^{(0)} + \lambda_{i,j}^{(1)})}{\sum_{k=1}^K A_{i,j}^k (\mu_k^{(0)} + \mu_k^{(1)})}. \quad (8)$$

Среднее количество пассажиров, которое выигрывает g -ый нельготный маршрут, осуществляющий перевозку пассажиров между микрорайонами i и j :

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{A_{i,j}^k \mu_g^{(1)} ((1 - v_{ij}) \lambda_{i,j}^{(0)} + \lambda_{i,j}^{(1)})}{\sum_{k=1}^K A_{i,j}^k (\mu_k^{(0)} + \mu_k^{(1)})}. \quad (9)$$

Данная модель позволяет назначить льготные маршруты на основании предпочтений пассажиров, имеющих право на проезд в общественном пассажирском транспорте на основе льготы.

В третьей главе рассматриваются вопросы проведения обследования пассажиропотоков, с целью получения информации для оптимизации маршрутной сети городского пассажирского транспорта. Выбор методов осуществляется с помощью интеграции мнения специалистов (априорное ранжирование) (Таблица 1). В качестве экспертов выбраны представители администрации г. Орла, представи-

тели перевозчиков и преподаватели кафедры «Сервис и ремонт машин». Экспертами выбраны анкетный, табличный и глазомерный методы.

Комбинация данных методов характеризуется обширным перечнем определяемых показателей транспортной подвижности населения, высокой полнотой и достоверностью полученной информации, возможностью применения в условиях г. Орла и относительно низкой стоимостью и трудоемкостью.

Таблица 1 - Результаты априорного ранжирования методов обследования пассажиропотоков

Факторы k и их №№	Условные номера экспертов, m								Сумма рангов Δ_k	Отклонения суммы рангов Δ_k'	$(\Delta_k')^2$	Занимаемое место M_1	Вес фактора q_k
	1	2	3	4	5	6	7	8					
	Ранги оценки a_{km}												
Табличный метод ($k = 1$)	2	1	1	3	2	1	2	1	13	-19	361	1	0,25
Силуэтный метод ($k = 2$)	4	5	3	2	4	4	3	4	29	-3	9	4	0,14
Глазомерный метод ($k = 3$)	1	2	2	4	3	2	1	2	17	-15	225	2	0,21
Анкетный метод ($k = 4$)	3	3	4	1	1	3	4	3	22	-10	100	3	0,18
Опросный метод ($k = 5$)	6	7	6	7	6	7	6	7	52	20	400	7	0,04
Галонный метод ($k = 6$)	5	4	5	5	5	5	5	6	40	8	64	5	0,11
Методы математического моделирования ($k = 7$)	7	6	7	6	7	6	7	5	51	19	361	6	0,07
Итого									$\sum_1^k \Delta_k = 224$		$S = 1520$		1,0

Обследование пассажиропотоков проходило в три этапа:

1. Сплошное обследование пассажиропотоков на городском общественном транспорте в г. Орле, выполненное в апреле – мае 2011 г.

2. Выборочное обследование пассажиропотоков на сезонных маршрутах для проезда жителей г. Орла к садово-дачным массивам, проведенное в августе – сентябре 2013 г.

3. Выборочное обследование пассажиропотоков микрорайонов «Выгонка» и «Новая Ботаника», проведенное в апреле – мае 2013 г.

Для обработки результатов создана база данных (Рисунок 5), которая имеет возможность автоматизировано получить следующие необходимые данные: корреспонденции пассажиров, объемы перевозок, наполнение транспортных средств, пассажиропоток по направлениям, времени, остановочным пунктам, маршрутам и др.

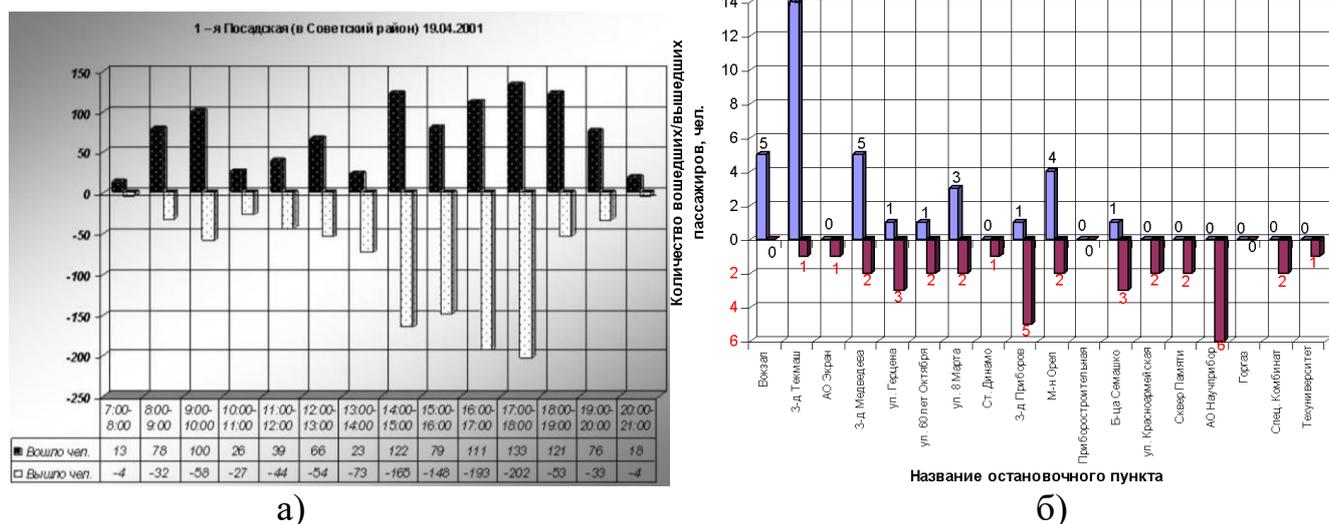


Рисунок 5 – Автоматизированная обработка результатов обследования пассажиропотоков:

а) пассажирообмен остановочного пункта; б) пассажиропоток на маршруте

В ходе обследования пассажиропотоков были получены данные о подвижности населения г. Орла, необходимые для оптимизации маршрутной транспортной сети (Таблица 2).

Таблица 2 - Результаты обследования транспортной подвижности категорий населения г. Орла, имеющих право льготного проезда

Категория льготы	Частота поездок			Итого за неделю	Среднее количество поездок в день
	1-2 поездки	3-4 поездки	более 4 поездки		
<i>Трамвай</i>					
Пенсионеры	196	108	42	6188	2,21
Школьники	62	40	24	2380	2,42
Студенты	78	162	86	6902	2,86
Иная льготная категория	38	22	18	1498	2,37
Итого для вида транспорта – Трамвай					2,47
<i>Троллейбус</i>					
Пенсионеры	492	228	64	13468	2,34
Школьники	82	90	34	3990	2,56
Студенты	370	658	270	26558	2,75
Иная льготная категория	46	32	28	2100	2,72
Итого для вида транспорта – Троллейбус					2,59
<i>Автобус</i>					
Пенсионеры	140	68	18	3892	2,31
Школьники	14	10	4	518	2,31
Студенты	86	140	28	4928	2,58
Иная льготная категория	34	14	8	994	2,36
Итого для вида транспорта – Автобус					2,39
Итого					2,48

Таким образом, анализ таблицы 2 показывает, что в среднем, все категории пассажиров выполняют в день 2,48 поездки, троллейбусами – 2,59 поездки в день, трамваями – 2,47 поездки в день, автобусами – 2,39.

Предпочтения различных категорий граждан по выбору маршрутных транспортных средств (МТС), представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Предпочтения льготных категорий граждан к выбору транспортного средства

Категория льготы	Вид транспортного средства				
	Трамвай	Троллейбус	Автобус большой вместимости	Автобус средней вместимости	Автобус малой вместимости
Пенсионер	400	820	240	188	90
Школьник	140	222	32	116	112
Студент	344	1378	272	1142	786
Иная льготная категория	90	110	60	164	110
Итого	1084	2720	792	2044	1414

Расчитанные значения коэффициента неравномерности перевезенных пассажиров по типу подвижного состава, характеризующие отношение максимального среднесуточного количества пассажиров, перевезенных МТС к среднему среднесуточному количеству пассажиров, перевезенных МТС представлены на рисунке 6.

Анализ соблюдения интервалов движения выявил значительные отклонения между максимальным и минимальным значениями у операторов перевозок. Так отношение максимального к минимальному отклонению составило:

- для автобусов большого и среднего классов 1,27;
- для автобусов малого класса вместимости - 2,25;
- для автобусов особо малого класса вместимости - 3,16;
- для трамваев – 1,38;
- для троллейбусов - 1,52.

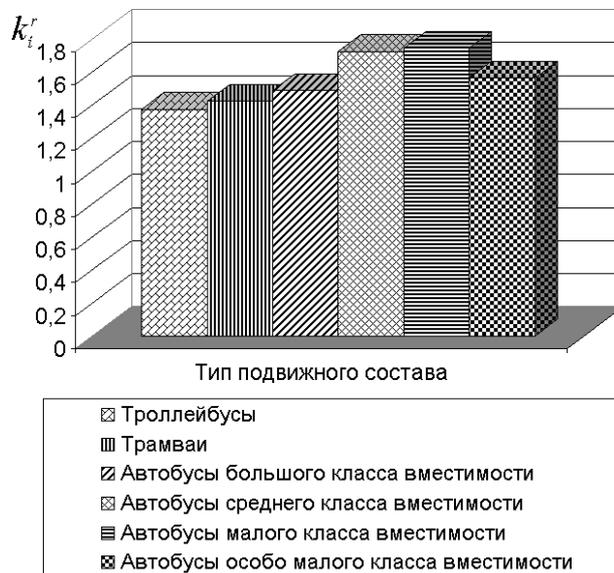


Рисунок 6 – Значения коэффициента неравномерности перевезенных пассажиров по типу подвижного состава

В четвертой главе осуществлено проектирование оптимальной маршрутной сети городского пассажирского транспорта для г. Орла.

Наибольшее распространение принципа разбиения города на микрорайоны получила методика, предложенная НИИАТом. Территория г. Орла была разделена на 63 микрорайона (Рисунок 7).

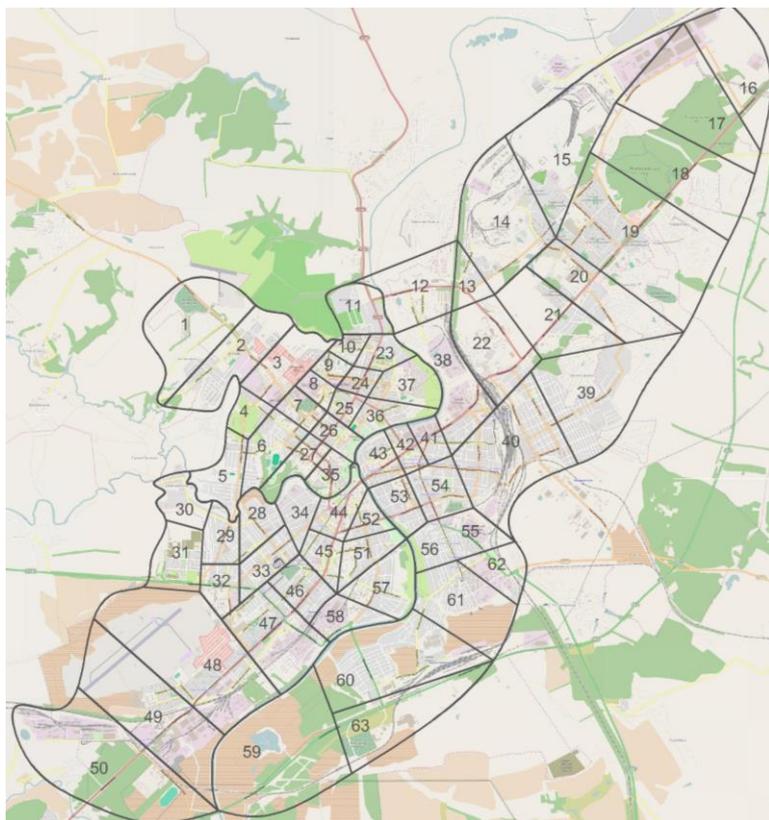


Рисунок 7 – Деление территории г. Орла на микрорайоны

Между каждой парой микрорайонов была получена информация о транспортных корреспонденциях населения.

Немаловажным фактором является количество выделяемых микрорайонов. С одной стороны, большое количество микрорайонов увеличивает точность расчета, но, с другой стороны, увеличение числа микрорайонов значительно увеличивает трудоемкость и сложность расчетов по определению оптимальной маршрутной транспортной сети. Данная работа включает в себя целый комплекс подготовительных мероприятий: разбиение территории города на микрорайоны, формирование реестра улиц, площадей, переулков и т.д. в алфавитном порядке, составление

списка обследуемых организаций (заводы, учебные заведения, поликлиники и др.), с последующим закреплением каждого предприятия за конкретным микрорайоном; расчет значения репрезентативной выборки по каждому микрорайону; формирование реестра остановочных пунктов (каждому остановочному пункту присваивается уникальный идентификационный номер с целью разделения остановочных пунктов, имеющих одинаковые названия, но обслуживающие разные направления движения), закрепления остановочных за микрорайонами.

Для решения задачи оптимизации маршрутов пассажирского транспорта, разработанная база данных обследования пассажиропотоков была адаптирована к автоматизированному расчету оптимальной маршрутной транспортной сети в соответствии с научно-методическими подходами, представленными во второй главе.

Составлен список всех остановочных пунктов города. Так, в городе Орле насчитывается 340 остановочных пунктов, обслуживаемых различными видами транспорта. Из них: 266 – обслуживаются автобусами, 73 – трамваями, 118 – троллейбусами, в том числе, совместно автобусами и троллейбусами обслуживается 113 остановочных пункта, автобусами и трамваями – 4.

Каждому остановочному пункту соответствует уникальный, неповторяющийся порядковый номер, месторасположение остановочного пункта, а так же тип подвижного состава, который может обслуживаться на данном остановочном пункте. Каждый остановочный пункт закрепляется за конкретным микрорайоном, в котором он территориально расположен.

Следующим этапом, необходимым для оптимизации маршрутов пассажирского транспорта, является определение расстояний между остановочными пунк-

тами. Исходной информацией о расстояниях между остановочными пунктами послужили паспорта маршрутов.

Для формирования матрицы расстояний между остановочными пунктами необходимо установить: существует ли сообщение между каждой парой остановочных пунктов, в условиях действующей улично-дорожной сети города. Важным критерием является, возможность сообщения непосредственно из одного остановочного пункта в другой, минуя промежуточные.

Если сообщение между остановочными пунктами возможно посредством городского пассажирского транспорта, то расчет затрат времени ведется из учета движения в МТС, в противном случае, считается, что пассажир перемещается пешим ходом, и затраты времени ведутся, соответственно, с учетом средней скорости движения человека пешком.

Для распределения подвижного состава по маршрутам составлен реестр всех моделей маршрутного пассажирского транспорта города Орла.

Каждая модель относится к одной из четырех категорий вместимости в зависимости от максимального количества мест для перевозки пассажиров: особо малая (от 9 до 15 мест); малая (от 16 до 30 мест); средняя (от 31 до 60 мест); большая (свыше 60 мест).

В результате применения разработанных теоретико-методологических положений оптимизации маршрутной сети общественного транспорта г. Орла получены следующие результаты: число автобусных маршрутов уменьшилось на 4 ед., число трамвайных и троллейбусных маршрутов осталось неизменным. Основные показатели оптимизированной маршрутной транспортной сети ГПТОП представлены на рисунке 8.

Уменьшилось количество подвижного состава, за счет замены транспортных средств особо малого класса вместимости на транспортные средства малого и среднего класса (таблица 4).

Таблица 4 - Процентное соотношение категорий вместимости маршрутных транспортных средств

Категория вместимости	Процентное соотношение категорий вместимости, %	
	До оптимизации	После оптимизации
Особо малой вместимости (от 9 до 15 мест)	35	21
Малой вместимости (от 16 до 30 мест)	34	42
Средней вместимости (от 31 до 60 мест)	26	32
Большой вместимости (свыше 60 мест)	5	5

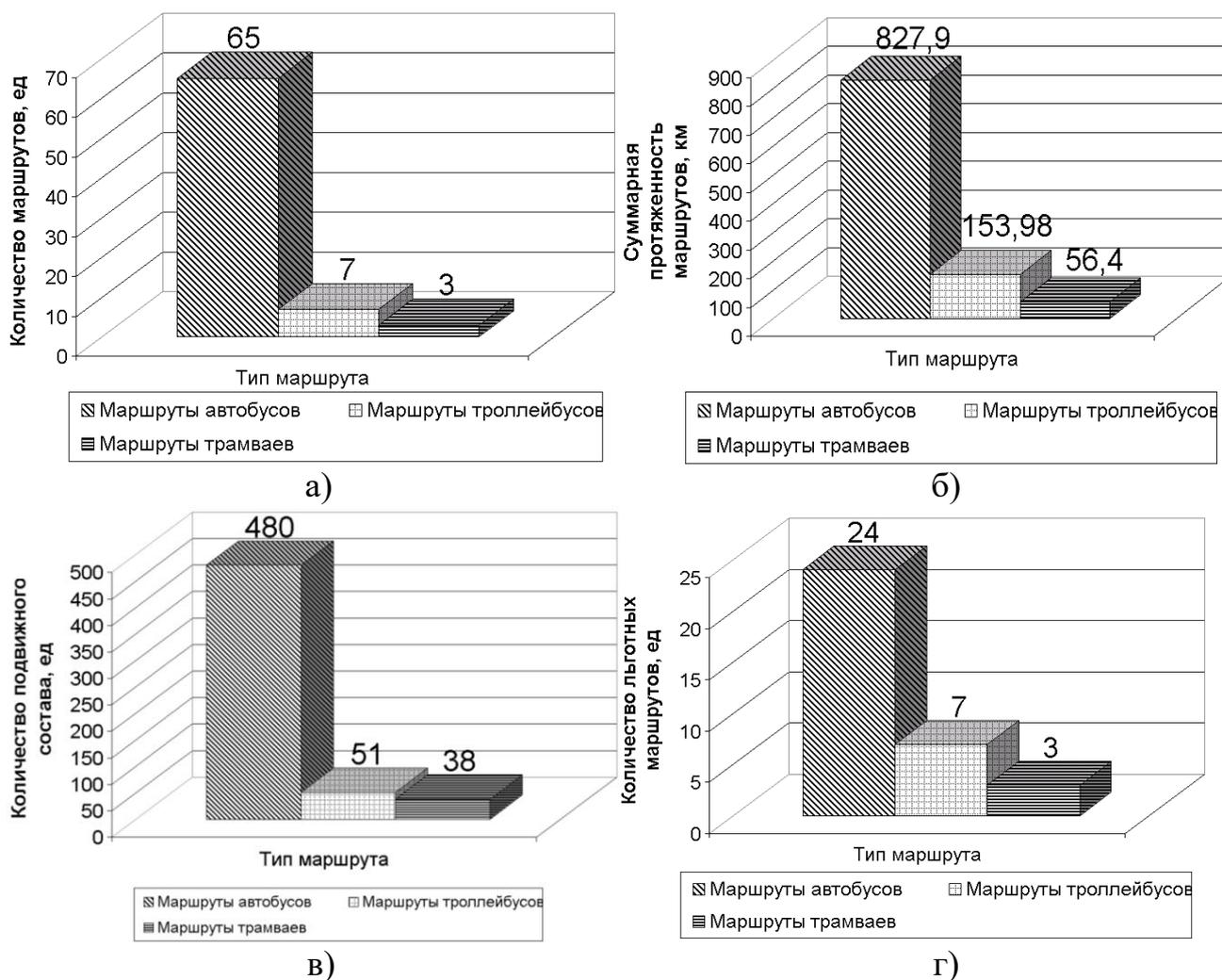


Рисунок 8 – Показатели оптимизированной маршрутной транспортной сети ГПТОП:

а) распределение количества маршрутов по типу маршрутов; б) распределение суммарной протяженности маршрутов по типам маршрутов; в) распределение количества подвижного состава по типу маршрутов; г) распределение количества льготных маршрутов по типу маршрутов.

Изменения коснулись и льготных категорий граждан - увеличено количество социально-значимых маршрутов (предоставляющих льготное право на проезд) с 30 маршрутов до 36. Изменение маршрутов, предоставляющих льготное право проезда, основывалось на результатах анкетного обследования пассажиропотоков, путем определения межрайонных корреспонденций различных категорий льготных граждан.

В пятой главе произведена технико-экономическая оценка эффективности выполненных расчетов. Проведено сравнение основных технико-экономических показателей схем организации перевозок до и после оптимизации.

В результате оптимизации суммарное время, затрачиваемое пассажирами на перемещение в общественном пассажирском транспорте в г. Орле, за сутки сократилось с 286 тыс. ч. до 269 тыс. ч.

Экономический эффект от оптимизации маршрутов пассажирского транспорта в г. Орле возможно оценить путем сопоставления результатов эксплуатации парка подвижного состава старой и оптимальной схем. Эффект складывается из:

1. Уменьшения количества подвижного состава на маршрутах;
2. Уменьшения затрат на горючее, горюче-смазочные материалы, ремонт и техническое обслуживание транспортных средств.

Суммарный пробег всех МТС на существующей маршрутной сети в г. Орле, состоящей из трамвайных, троллейбусных и автобусных маршрутов, за время «час пик» составил 54363,64 км.

Оптимизированная маршрутная сеть пассажирского транспорта за тот же период времени позволяет подвижному составу выполнить ту же транспортную работу, но с суммарным пробегом – 48522,5 км.

Оптимизация маршрутной сети г. Орла обеспечит экономический эффект в размере 98651,35 руб. в пиковый интервал времени при том же значении числа перевезенных пассажиров.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационной работе решена важная научно-практическая задача по оптимизации маршрутов ГПТОП на основе минимизации затрат времени на передвижение пассажиров с учетом рационального распределения льготных маршрутов.

1. Анализ системы городского пассажирского транспорта в г. Орле выявил неэффективность маршрутной транспортной сети города: нерациональное распределение маршрутов общественного транспорта по транспортной сети, преобладание подвижного состава малой вместимости, отсутствие координации движения частных и муниципальных перевозчиков.

2. На основе интегральных оценок мнения специалистов сформирована комбинация из методов обследования пассажиропотоков, которая характеризуется возможностью получения наиболее полной и достоверной информации с минимальными трудоемкостью и затратами денежных средств, наиболее подходящая для условий маршрутной транспортной сети города. В состав используемых методов вошли табличный метод со значением весового коэффициента 0,25, глазомерный - 0,21, анкетный – 0,18.

3. Разработанная целевая функция оптимизации маршрутной сети ГПТОП позволяет организовать работу пассажирского транспорта, характеризующуюся минимальными затратами времени на: подход к ОП, ожидание МТС, передвижение в подвижном составе, осуществление пересадки. В результате оптимизации, суммарное время затрачиваемое пассажирами на перемещение в пассажирском транспорте в г. Орле за сутки сократилось с 286 тыс. ч. до 269 тыс. ч.

4. Учет влияния частоты использования льготными категориями граждан различных видов маршрутов позволил рационально распределять льготные маршруты. Среднее значение частоты использования льготы для г. Орла составило: для пенсионеров – 0,96, для учащихся школ – 0,95, для студентов – 0,88.

5. Получены результаты обследования пассажиропотоков в городе Орле: транспортные корреспонденции различных категорий граждан, определен пассажирообмен остановочных пунктов г. Орла и пассажиропоток на всех маршрутах ГПТОП. Рассчитано среднее значение коэффициента неравномерности количества перевезенных пассажиров - 3,23. В утренние и вечерние «часы пик» данный показатель может достигать значения 5,3, в остальное время его среднее значение равно 2,5. Значение коэффициента неравномерности перевезенных пассажиров по типу подвижного состава составило: для троллейбусов – 1,372; трамваев – 1,421; для автобусов большого класса вместимости 1,485; автобусов среднего класса вместимости – 1,835, автобусов малого класса вместимости 1,801, автобусов особо малого класса вместимости – 1,491.

6. Разработан оптимальный реестр маршрутов пассажирского транспорта в г. Орле, перечень льготных маршрутов в соответствии с перемещениями льготных категорий граждан. Количество автобусных маршрутов сократилось на 4 ед. (65 маршрутов), количество маршрутов трамваев и троллейбусов осталось без изменений (троллейбусных – 7 маршрутов, трамвайных – 3 маршрута). Произошло сокращение числа транспортных средств вследствие замены подвижного состава особо малого класса вместимости на подвижной состав малого и среднего классов. На автобусных маршрутах количество подвижного состава насчитывает 480 ед., на троллейбусных – 51, трамвайных – 38.

7. Оптимизация маршрутной транспортной сети ГПТОП позволила получить экономический эффект за счет сокращения затрат операторов перевозок и администрации г. Орла в размере 98651,35 руб. в пиковые интервалы времени рабочего дня.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих печатных работах:

- в изданиях из «Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» ВАК Минобрнауки:

1. Кулев, А. В. Исследование пассажиропотоков и транспортной подвижности населения в городе Орле / А. Н. Новиков, А. А. Катунин и др. // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. - №4 (35). – С. 69-77.

2. Кулев, А. В. Построение модели функционирования маршрута троллейбуса / А. Н. Новиков, А. А. Катунин и др. // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. - № 4 (39). – С. 80-87.

3. Кулев, А. В. Анализ степени загрузки маршрутной транспортной сети города Орла / А. Н. Новиков, А. А. Катунин и др. // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. - № 4 (39). – С. 69-74.

4. Кулев, А. В. Применение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) для повышения эффективности функционирования городского общественного транспорта / А. Н. Новиков, А. А. Катунин и др. // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. - №1 (40). – С. 85-90.

5. Кулев, А. В. Обследование пассажиропотоков на сезонных маршрутах города Орла / А. Н. Новиков, А. А. Катунин и др. // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. - № 4 (43). – С. 77-85.

6. Кулев, А. В. Сравнение систем определения местоположения и их применение в интеллектуальных транспортных системах / А. Н. Новиков, А. А. Катунин и др. // Мир транспорта и технологических машин. - 2013. - № 2 (41). – С. 109-113.

7. Кулев, А. В. Методика организации маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования / А. Н. Новиков, А. В. Кулев и др. // Мир транспорта и технологических машин. - 2015. - № 1 (48). – С. 85-92.

- в прочих изданиях:

8. Кулев, А. В. Определение степени использования общественного транспорта различными категориями граждан в городе Орле (транспортной подвижности граждан) / А. Н. Новиков, А. А. Катунин и др. // Статистический сборник. «Транспорт в Орловской области (2000, 2005 – 2010 гг.)». - Орел, 2011. - №2104 – С. 17-37.

9. Кулев, А. В. Интеграция мнения специалистов при выборе методов обследования пассажиропотоков / А. Н. Новиков, А. А. Катунин и др. / Материалы 2-ой международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса», 02 апреля - 25 июня 2012 г. Орел.: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», 2012. – С. 97 – 103.

10. Кулев, А. В. Критерии определения количества транспортных средств на маршрутах с учетом их специфики / А. Н. Новиков, А. А. Катунин и др. / Материалы Международной научно-практической конференции «Наука 2012: итоги, перспективы», 25 января 2013 г. М.: Буки-Веди, 2013. – С. 54-62.

11. Кулев, А. В. Система критериев оптимизации транспортных сетей / А. Н. Новиков, А. А. Катунин и др. / Материалы Международной научно-практической конференции «Наука 2012: итоги, перспективы», 25 января 2013 г. М.: Буки-Веди, 2013. - С. 63-69.

12. Кулев, А. В. Совершенствование транспортного обслуживания населения микрорайона «Новая Ботаника» в г. Орле / А. Н. Новиков, А. А. Катунин и др. / Материалы 4-ой международной научно-практической интернет конференции «Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса», 1 апреля – 20 мая 2014 г. Орел.: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», 2014. – С. 123 – 130.

13. Кулев, А. В. Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования / А. В. Кулев, М. В. Кулев, Н. С. Кулева / Материалы международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте», 19 – 20 мая 2015 г. Орел.: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», 2015. – С. 253 – 259.

- свидетельство о регистрации базы данных:

14. Кулев, А. В. Обследование пассажиропотоков на сезонных маршрутах в г. Орле / А. Н. Новиков, А. А. Катунин и др. // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013621518, заявл. 22.10.2013, рег. 09.12.2013.