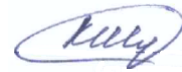


На правах рукописи



**Шубенкова Ксения Андреевна**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК  
С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ**

05.22.08 – Управление процессами перевозок

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Орел – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета

**Научный руководитель:** **Макарова Ирина Викторовна**  
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Сервис транспортных систем» НЧИ К(П)ФУ, г. Набережные Челны

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

**Кулев Андрей Владимирович**  
кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры «Сервис и ремонт машин» ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»), г. Орел

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

Защита состоится **«05» июля 2017 г. в 14:00 часов** на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.111.03 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» по адресу: **302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77.**

С диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте ([www.oreluniver.ru](http://www.oreluniver.ru)) ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» и в фундаментальной библиотеке по адресу: 302028, г. Орел, пл. Каменская, д. 1.

Автореферат разослан **«30» мая 2017 г.** Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» ([www.oreluniver.ru](http://www.oreluniver.ru)) и на официальном сайте Министерства образования и науки Российской Федерации ([vak.ed.gov.ru](http://vak.ed.gov.ru)).

*Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации в двух экземплярах направлять в диссертационный совет по адресу: 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95.*

*Телефон для справок +79155080508. E-mail: [katunin57@gmail.com](mailto:katunin57@gmail.com)*

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 999.111.03

А.А. Катунин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** XX век, ставший периодом беспрецедентного роста городов и систем расселения, выявил потребность человечества в разработке и внедрении принципов устойчивого развития в области градостроительства и территориального планирования. Социально-экономическое развитие региона, качество жизни населения и его мобильность зависят от устойчивости городских транспортных систем, на формирование которых существенное влияние оказывают особенности транспортно-планировочного каркаса и планировочной структуры городов, что должно учитываться при транспортном планировании и управлении.

В современных городах широко распространена прямоугольная схема улично-дорожной сети (УДС), одним из достоинств которой является отсутствие четко выраженного центра города, что способствует относительно равномерному распределению транспортных потоков. К недостаткам прямоугольно-линейной планировочной структуры можно отнести:

- множественное наложение маршрутов, что приводит в перегрузке УДС и повышению негативного воздействия автотранспорта на окружающую среду;
- большое количество перекрестков (как регулируемых, так и нерегулируемых), что ведет к росту числа конфликтных точек на УДС и вероятности ДТП.

В условиях роста автомобилизации задача повышения эффективности функционирования общественного транспорта приобретает комплексный характер, и помимо вопроса об удовлетворении транспортной потребности населения, следует рассматривать ее с точки зрения минимизации нагрузки на окружающую среду и обеспечения безопасности дорожного движения.

**Степень разработанности темы исследования.** Решением задачи повышения эффективности городского пассажирского транспорта (ГПТ) занимались многие как отечественные, так и зарубежные ученые. Вопросам, связанным с интеллектуализацией управления транспортными потоками города, посвящены работы Врублевской С.С., Жанказиева С.В., Новикова А.Н., Макаровой И.В., Хабибуллина Р.Г. и др. Вопросы управления городским пассажирским транспортом отражены в работах Железова Р.В., Ефименко Д.Б., Huang Z.D., Liang Sun, Данг Х.Л., Чжо Мью Хан, Якунина Н.Н., Корчагина В.А., Бондаренко Е.В., Рассохи В.И. и др. Изучению вопросов транспортного моделирования посвящены труды Богомолова А.А., Семеновой О.С., Папаскуа А.А., Наумовой Н.А., Зварыча Е.Б., Пыталевой О.А. и др. В основу работ по транспортному моделированию легли труды в области теории транспортных потоков таких ведущих ученых, как Ваксман С.А., Вучик В.Р., Миротин Л.Б., Гудков В.А., Сильянов В.В., Зырянов Вл.Вас., Зырянов Вас.Вл., Власов В.М., Спирин И.В. и др.

Однако, существующие модели не учитывают зависимость времени доставки пассажиров от времени простоя транспортных средств (ТС) в заторах, отсутствия свободных мест в ТС и от времени простоя на остановочных пунктах (ОП) в ожидания очереди на подачу ТС к месту посадки-высадки. Липенковым А.В. была решена задача расчета задержек автобусов на ОП, однако им не исследовалось влияние этих задержек на время доставки пассажира в целом.

**Цель работы** – повышение эффективности транспортного обслуживания населения города путем снижения времени доставки пассажиров, нагрузки на улично-дорожную сеть и негативного воздействия на окружающую среду.

**Задачи исследования:**

1. Выполнить теоретические исследования существующих направлений организации управления городскими автобусными перевозками.

2. Определить зависимость времени доставки пассажиров от времени простоя ТС в заторах и на ОП в ожидании очереди на подачу ТС к месту посадки-высадки, а также отсутствия свободных мест в ТС.

3. Разработать систему управления городскими автобусными перевозками, интеллектуальным ядром которой является имитационная модель, как метод принятия управленческих решений в области городского транспорта.

4. Разработать алгоритм принятия решений, основанный на минимизации времени доставки пассажиров и суммарного количества ТС, одновременно проходящих по одному участку УДС.

5. Выполнить анализ системы городского пассажирского транспорта г. Набережные Челны.

6. Апробировать предложенные методы для повышения эффективности автобусных перевозок в г. Набережные Челны.

7. Выполнить оценку эффективности реализации предлагаемой системы управления городскими автобусными перевозками.

**Объект исследования** – система автобусных перевозок городского пассажирского транспорта.

**Предмет исследования** – методы и модели повышения эффективности организации управления городскими автобусными перевозками.

**Научная новизна:**

1. Дополнен целевой функционал совершенствования городских автобусных перевозок, в основу которого заложен принцип минимизации как времени доставки пассажиров, так и суммарного количества ТС, одновременно проходящих по одному участку при сохранении мобильности населения.

2. Предложено при расчете среднего времени доставки пассажиров учитывать зависимость среднего времени ожидания пассажирами автобуса от коэффициента превышения числа свободных мест в ТС и зависимость времени ожидания ТС очереди на посадку-высадку от коэффициента задержки ТС на ОП, а также время простоя ТС в заторах.

3. Теоретически обоснованы значения коэффициента превышения числа свободных мест в ТС и коэффициента задержки ТС на ОП.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в разработке концептуальной модели системы управления городскими автобусными перевозками, позволяющей реализовывать как стратегическое, так и оперативное управление за счет сформированной базы оптимальных решений и альтернативных маршрутов объезда при наступлении критической ситуации. Интеллектуальным ядром системы является имитационная модель транспортной системы города. Модульный принцип системы управления позволяет дополнять ее микромоделями проблемных участков, на которых могут быть отработаны различные варианты решения.

Разработан научно-практический метод определения времени доставки пассажиров с учетом времени простоя в заторах (при прохождении маршрута по проблемным участкам УДС), увеличения времени ожидания ТС в случае отказа в посадке в связи с отсутствием свободных мест в ТС, а также времени посадки-высадки пассажиров с учетом простоя ТС на ОП в ожидании очереди на подачу ТС к месту посадки-высадки. Алгоритм повышения эффективности городского общественного транспорта вносит существенный вклад в теорию и практику организации городских пассажирских перевозок.

Предлагаемые в работе научно-методические подходы могут быть использованы работниками муниципалитета при формировании маршрутной сети и управлении типовой и количественной структурой подвижного состава (ПС) на маршрутах для снижения нагрузки на УДС и негативного воздействия на окружающую среду, повышая устойчивость транспортной системы города в целом.

**Методы исследования, достоверность и обоснованность результатов.** Методологической основой послужили положения теории пассажирских автомобильных перевозок, методы статистического анализа и прогнозирования, математического и имитационного моделирования, транспортной маршрутизации, определения пассажиропотоков и транспортных корреспонденций, обследований и прогнозирования интенсивности движения. Достоверность решений подтверждается сходимостью результатов моделирования с данными натурных исследований.

**На защиту выносятся:**

- целевой функционал совершенствования городских автобусных перевозок;
- концептуальная модель системы управления городскими автобусными перевозками;
- математическая модель времени доставки пассажиров, дополненная коэффициентом превышения свободных мест в ТС, коэффициентом задержки ТС на ОП и учитывающая время простоя в заторах.

**Апробация работы.** Результаты работы обсуждались и получили одобрение на Четвертой всероссийской МНПК по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «ИММОД-2009» (Санкт-Петербург, 2009 г.); Девятой и десятой МНПК «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (Санкт-Петербург, 2010 и 2012 гг.); МНПК, «Инновации в транспортном комплексе. Безопасность движения. Охрана окружающей среды» (Пермь, 2010 г.); XIX Международной студенческой школе-семинаре «Новые информационные технологии» (Судак, МИЭМ, 2011 г.); МНПК «Информационные технологии. Автоматизация. Актуализация и решение проблем подготовки высококвалифицированных кадров (ИТАП-2013)» (Казань, 2013 г.); МНПК «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орел, 2015 и 2016 гг.); Международной конференции «Устойчивое развитие городов» (International Conference on Sustainable Cities) (Екатеринбург, 2016 г.); V International Symposium of Young Researchers «Transport Problems» (Катовице, Польша, 2016 г.); 16th International Multidisciplinary Conference of Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat-16) (Рига, Латвия, 2016 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликована 21 научная работа, в том числе 4 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ для кандидатских диссертаций, и 5 статей в изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, включающего 128 наименований. Работа содержит 127 страниц машинописного текста, 13 таблиц, 35 иллюстраций и 8 приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность проводимых исследований, сформулирована цель работы, выделены научная новизна, практическая значимость полученных результатов и основные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** представляет собой анализ основных направлений организации и автоматизации управления автобусными перевозками, которые можно разделить на две категории: (1) системы управления транспортными потоками города и (2) системы управления конфигурацией маршрутной сети общественного транспорта. В работах ряда авторов для оптимизации маршрутных схем движения общественного транспорта были предложены математические модели, целевой функцией в которых являлась одна из следующих характеристик: минимальное суммарное время, затрачиваемое пассажирами на весь процесс перемещения; минимальное время ожидания на ОП; минимум суммарных затрат на передвижение ТС по маршрутам в единицу времени; максимальная прибыль транспортной компании с учетом затрат на эксплуатацию ТС.

Анализ работ показал, что несмотря на обширный как зарубежный, так и российский опыт решения задач повышения эффективности функционирования общественного транспорта, на сегодняшний день отсутствует комплексный подход, при котором в одной модели учитывались бы не только данные о спросе населения на перевозки, но также и информация об интенсивности движения ТС на участках УДС. К тому же, в существующих исследованиях время посадки-высадки пассажиров не рассматривается в зависимости от типа и количества ПС одновременно находящегося на ОП, а влияние задержек ТС на ОП на время доставки пассажира не изучено в достаточной степени.

**Вторая глава** посвящена исследованиям теоретических основ управления городскими автобусными перевозками. Решение вопросов, связанных с поиском оптимальной стратегии управления городским пассажирским транспортом, сопряжено с известными сложностями проведения полнатурных испытаний и экспериментов. Поэтому, для прогнозирования последствий от внедрения тех или иных решений и анализа проектных вариантов рационально использовать аппарат моделирования процессов дорожного движения. Анализ возможностей и назначения существующих программных разработок для моделирования движения транспорта показал, что наилучшим вариантом решения задачи управления общественным транспортом является специализированный пакет транспортного моделирования на макроуровне – PTV VISUM, который имеет встроенный аппарат для расчета матриц корреспонденций и распределения транспортных потоков по участкам УДС по принципу минимизации затрат. Рассмотрены различные методы решения задач транспортной оптимизации, в

частности, предложено применение метода «Поиск кратчайшего пути», который представляет собой определение лучшего варианта маршрута между двумя транспортными районами по определенному критерию (временные затраты, денежные затраты, частота пересадок и т.д.).

Совершенствование маршрутной сети общественного транспорта должно осуществляться на основании полной, точной и достоверной информации о транспортной потребности населения города и данных об интенсивности движения на участках УДС. Поскольку полномасштабные натурные обследования исключительно трудоемки, для построения матриц корреспонденций рационально использовать четырехступенчатую модель спроса, представляющую комбинацию выборочных натурных обследований для построения модели спроса и математических методов определения законов распределения пассажиропотоков. При определении значений интенсивности движения на участках УДС метод выборочных натурных обследований может быть использован при условии адекватного определения доли генеральной совокупности, закономерности которой могут быть распространены на всю совокупность.

**Третья глава** посвящена решению проблемы потери привлекательности общественного транспорта. Предлагается создать систему управления автобусными перевозками, которая обеспечит возможность лицам, принимающим решения, как разрабатывать стратегии развития системы общественного транспорта, так и осуществлять оперативное управление перевозочным процессом при изменяющихся параметрах системы. Наличие обратной связи позволит сопоставлять текущие параметры системы с модельными, и, в случае их несовпадения, – выявлять причины возникновения проблемных ситуаций, а также осуществлять оперативную корректировку управляющих процедур.

Разработанная система позволит прогнозировать параметры возмущающих воздействий («часы пик», массовые мероприятия) и проверять эффективность тех или иных решений как для регулярных возмущений, так и для разовых массовых мероприятий. Удачные варианты могут сохраняться и использоваться при повторении ситуации. Система может быть использована также для корректировки параметров функционирования ГПТ при появлении новых центров формирования и притяжения пассажиропотоков. Внедрение системы управления автобусными перевозками будет способствовать повышению привлекательности общественного транспорта. Концептуальная модель системы представлена на рисунке 1.

**Программный модуль ввода и хранения информации.** При работе с большими объемами входных данных качество их обработки зависит от того, насколько они формализованы и хорошо структурированы. При разработке модуля ввода и хранения информации данные условно разделялись на первичные, справочные и расчетные. К первичным относится информация о населении города («Группы пассажиров», «Причины перемещения», «Транспортные районы»), к справочным – данные о параметрах УДС («Участок УДС»), ПС («Транспорт», «Тип способа передвижения» и «Тип подвижного состава») и маршрутах ГПТ («Маршрут»), а к расчетным – полученные значения нагрузок на УДС при рассчитанных матрицах затрат и корреспонденций («Нагрузка УДС»).



Рисунок 1 – Концептуальная модель системы управления городскими автобусными перевозками

Полученные значения нагрузки классифицируются по типам: «ниже пропускной способности», «соответствует пропускной способности», «пропускная способность превышена», «критическое значение», что позволяет выявить сложные участки УДС, имеющие критические значения нагрузок, а также маршруты, проходящие по этим участкам. Это позволяет корректировать маршрутную сеть с учетом транспортной загруженности.

**Математическая модель для совершенствования управления автобусными перевозками.** Поскольку при организации городских автобусных перевозок необходимо удовлетворить потребности населения в перемещении за минимальное время, а также снизить транспортную нагрузку на проблемные участки УДС, целевой функционал модели представляет собой:

$$Z = \begin{cases} Z_1 \rightarrow \min, & Z_1 = f(X_i^1) - \text{суммарное количество маршрутных ТС}; \\ Z_2 \rightarrow \min, & Z_2 = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 - \text{среднее время доставки пассажиров}; \end{cases} \quad (1)$$

где  $f_1(v_{neu}, F, l_i^{\text{марш}}, X_i^2, X_i^3)$  – среднее время подхода пассажира к остановке;  $f_2(K_j^{\text{прес}}, l_i^{\text{марш}}, X_i^1, X_i^2)$  – среднее время ожидания пассажиром автобуса;  $f_3(Q_{(i,j)}^{\text{вх}}, Q_{(i,j)}^{\text{вых}}, n_{X_i^2}^{\text{ов}}, \bar{t}_o, X_i^2, X_i^3)$  – среднее время посадки-высадки пассажиров;  $f_4(K_{\text{зад}}, Q_{(i,j)}^{\text{вх}}, Q_{(i,j)}^{\text{вых}}, L_j^{\text{осм}}, l_{X_i^2}^n, \bar{t}_o, X_i^2, X_i^3)$  – среднее время задержки ТС на ОП за счет ожидания очереди на подачу ТС к месту посадки-высадки;  $f_5(\bar{l}_e, T_{\text{заг}}, X_i^2)$  – среднее время поездки пассажира на автобусе;  $X_i = X_i^1, X_i^2, X_i^3$  – изменяемые параметры  $i$ -го маршрута, влияющие на систему,  $i = 1, 2, \dots, I$  ( $X_i^1$  – количество ТС на  $i$ -м маршруте;  $X_i^2$  – количество ОП на  $i$ -м маршруте;  $X_i^3$  – количество каждого типа ТС на  $i$ -м маршруте).

При превышении пассажироместимости ТС происходит отказ в посадке, и пассажирам приходится ожидать следующее ТС. Поэтому, в отличие от предлагаемого в работах ведущих ученых среднего времени ожидания пассажиром автобуса:  $0,5 \cdot t_u$  (половина сетевого интервала движения), предлагается учиты-



вать коэффициент превышения числа пассажиров на  $j$ -м ОП над оставшимися в ТС посадочными местами:  $f_2 = 0,5 \cdot t_u \cdot K_j^{npes}$ , (2)

где  $K_j^{npes}$  – коэффициент превышения свободных мест в ТС:

$$K_j^{npes} = 1 + \frac{Q_{(i,j)}^{ex}}{q_{X_i^2} - \sum_{j=1}^n Q_{(i,j-1)}^{ex} + \sum_{j=1}^n Q_{(i,j)}^{vix}}, \quad (3)$$

где  $Q_{(i,j)}^{ex}$  – число пассажиров, входящих в ТС маршрута  $i$  на  $j$ -м ОП;  $Q_{(i,j)}^{vix}$  – число пассажиров, выходящих из ТС  $i$ -го маршрута на  $j$ -м ОП;  $q_{X_i^2}$  – вместимость ТС, как функция, зависящая от типа ТС.

Среднее время на посадку-высадку пассажиров в работах ведущих ученых предлагается описывать распределением Эрланга. Однако, этот показатель зависит от количества дверей в используемом ТС и рассчитывается по формуле:

$$f_3 = \sum_{j=1}^{X_i^3} \frac{(Q_{(i,j)}^{ex} + Q_{(i,j)}^{vix}) \cdot \bar{t}_o}{n_{X_i^2}^{дв}}, \quad (4)$$

где  $j = 1, 2, \dots, X_i^3$  – ОП на  $i$ -м маршруте;  $n_{X_i^2}^{дв}$  – число используемых для посадки-высадки дверей ТС, как функция, зависящая от типа ТС;  $\bar{t}_o$  – среднее время, затрачиваемое одним входящим и выходящим пассажиром.

Среднее время задержки ТС на ОП в ожидании посадки/высадки зависит от количества и длины ТС, уже находящихся на данном ОП к моменту подхода очередного ТС:

$$f_4 = K_{зад} \cdot f_3, \quad (5)$$

где  $K_{зад}$  – коэффициент задержки ТС на ОП:  $K_{зад} = \frac{N_2}{N_1}$ , (6)

где  $N_2$  – общее число ТС на ОП в данный момент времени;  $N_1$  – число ТС, одновременно осуществляющих посадку-высадку пассажиров на ОП:

$$N_1 = \frac{L_j^{ocm}}{\sum_{X_i^2} l_{X_i^2}^n}, \quad (7)$$

где  $L_j^{ocm}$  – длина  $j$ -го ОП;  $l_{X_i^2}^n$  – длина  $n$ -го ТС, как функция, зависящая от типа ТС.

Среднее время передвижения пассажира на автобусе зависит от среднего расстояния перемещений пассажиров и скорости сообщения используемого ТС, а также от величины задержек, связанных с заторами на дорогах:

$$f_5 = \frac{\bar{l}_e}{v_{X_i^2}^{сообщ}} + T_{зат}, \quad (8)$$

где  $\bar{l}_e$  – среднее расстояние перемещений пассажиров;  $T_{зат}$  – время в заторах:

$$T_{зат} = \frac{l_{пробл}}{v_{зат}}, \quad \text{где } l_{пробл} \text{ – длина проблемного участка; } v_{зат} \text{ – скорость движения потока по проблемному участку.} \quad (9)$$

На решение накладываются следующие ограничения:

1. Транспортная потребность населения должна быть полностью удовлетворена:  $\sum_{n=1}^{X_i^2} Q_{(n,X_i^2)} \cdot X_{(n,X_i^2)}^1 \geq Q_i$ , где  $n = 1, 2, \dots, X_i^2$  – типы ТС на  $i$ -м маршруте;  $X_{(n,X_i^2)}^1$  – число ТС типа  $n$  на  $i$ -м маршруте;  $Q_i$  – пассажиропоток на  $i$ -м маршруте;  $Q_{(n,X_i^2)}$  –

число пассажиров, перевезенных  $n$ -м типом ТС на  $i$ -м маршруте, вычисляемое по формуле:  $Q_{(n, X_i^2)} = \frac{q_{X_i^2} \cdot l_i^{\text{марш}}}{24 \cdot v_{X_i^2}^{\text{сообщ}}}$ .

2. Пропускная способность участков УДС:  $\sum_{n=1}^{X_i^2} D_{(n, X_i^2)} \cdot X_{(n, X_i^2)}^1 \leq D_i$ , где  $D_i$  – суммарный резерв пропускной способности участков УДС, по которым проходит  $i$ -й маршрут;  $D_{(n, X_i^2)}$  – коэффициент использования пропускной способности  $n$ -м

типом ТС на  $i$ -м маршруте, вычисляемый по формуле:  $D_{(n, X_i^2)} = \frac{K_{X_i^2} \cdot l_i^{\text{марш}}}{24 \cdot v_{X_i^2}^{\text{сообщ}}}$ , где

$K_{X_i^2}$  – коэффициент приведения пропускной способности, используемой при движении ТС каждого типа, к величине пропускной способности, используемой при движении одного легкового автомобиля.

3. Время ожидания пассажирами автобуса  $i$ -го маршрута не должно превышать максимально допустимого значения интервала движения ПС на маршрутах  $t_u^{\text{max}}$ :  $f_2(K_j^{\text{прес}}, l_i^{\text{марш}}, X_i^1, X_i^2) \leq t_u^{\text{max}}$ .

4. Время подхода пассажира к ОП зависит от расстояния от удаленной точки транспортного района до ОП и не должно превышать  $l_{\text{подхода}}^{\text{рек}}$ :  $f_1(v_{\text{neu}}, F, l_i^{\text{марш}}, X_i^2, X_i^3) \leq l_{\text{подхода}}^{\text{рек}}$ .

**Транспортная модель** представляет собой программный комплекс, состоящий из модели сети, модели спроса на транспорт и модели воздействия.

**Алгоритм принятия решений** по повышению эффективности организации городских автобусных перевозок представлен на рисунке 2.

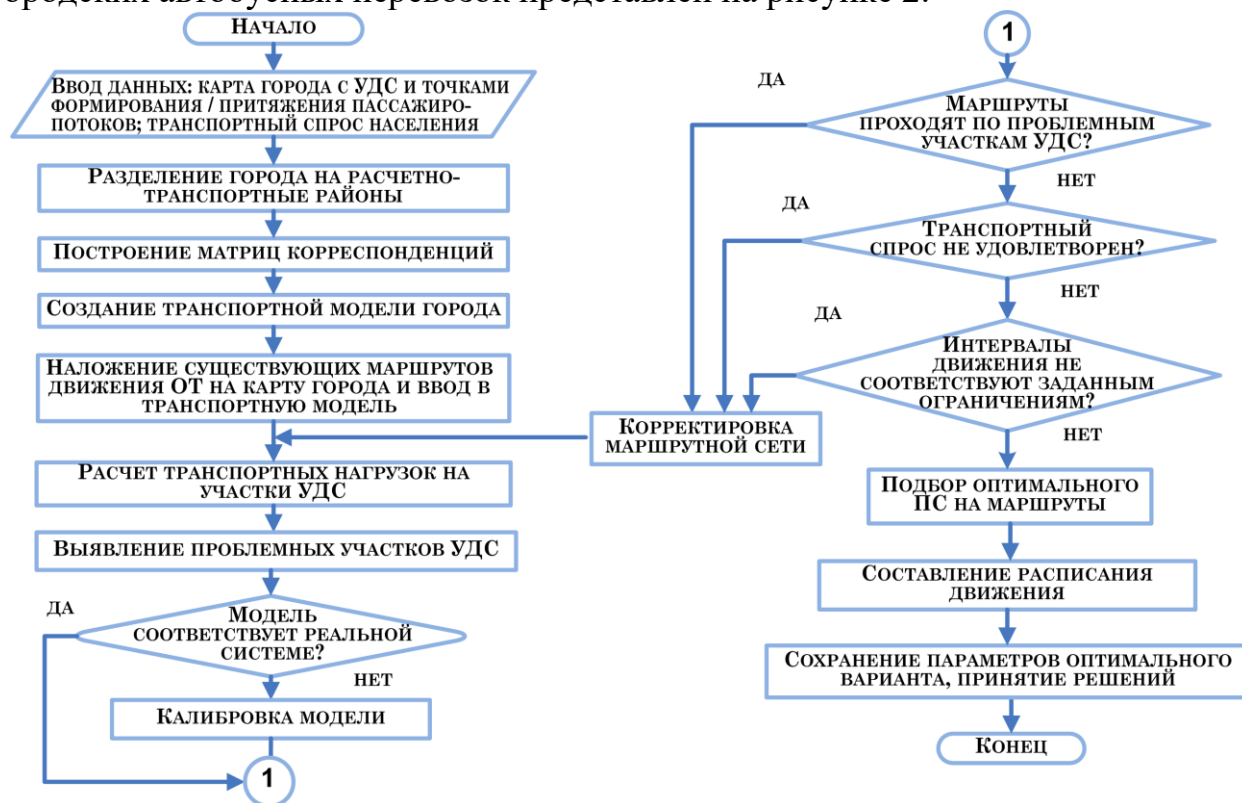


Рисунок 2 – Алгоритм принятия решений

Процесс получения научно обоснованного решения по корректировке маршрутной сети общественного транспорта города начинается с ввода исход-

ных данных, на основании которых строятся модель УДС города и матрицы корреспонденций. Для расчета уровня нагрузок на отрезках УДС проводится компьютерный эксперимент, в результате которого выявляются участки, нуждающиеся в оптимизации. Если модельные значения коррелируются с результатами выборочных натурных обследований, модель адекватна и может служить основой для корректировки маршрутной сети города, чтобы новые маршруты не проходили по перегруженным участкам УДС. Предложенный вариант проверяется на модели для прогнозирования возможных последствий с учетом перераспределения транспортных нагрузок. Он должен удовлетворять ограничениям модели и соответствовать транспортным потребностям населения.

Корректировку параметров маршрутной сети необходимо осуществлять до тех пор, пока расчетная нагрузка на участки УДС не будет ниже или равна пропускной способности этих участков. Затем осуществляется подбор оптимального по технико-эксплуатационным характеристикам ПС для каждого маршрута и формируется расписание движения с учетом значений максимально допустимых интервалов движения.

**В четвертой главе** приведены ключевые проблемы системы городских пассажирских перевозок г. Набережные Челны, выявленные в результате анализа, и обусловленные, в частности, прямоугольно-линейной планировочной структурой города, а также несоответствием существующего транспортного предложения транспортным потребностям населения.

Ввиду того, что значительную часть поездок в часы пик составляют трудовые корреспонденции, разделение промышленной и селитебной зон в городе создает проблемы на пересечениях продольных и поперечных магистралей. Это вызвано тем, что для доставки работников в промышленные зоны существовала сеть заводских маршрутов, исчезновение которой вынудило работников пересечь на индивидуальный транспорт, поскольку маршрутная сеть городского общественного транспорта не претерпела существенных изменений. Для анализа транспортной потребности жителей города и выявления предпочтений населения была разработана *анкета* определения его мобильности и проведено выборочное исследование, результаты которого в дальнейшем использовались при расчете матриц корреспонденций. В анкетировании приняло участие 953 респондента, составляющих различные целевые группы населения (таблица 1).

Кроме того, анкетирование позволило выявить те части города, которые недостаточно обеспечены маршрутами общественного транспорта.

**Реализация транспортной модели в PTV VISUM.** На первом этапе создания транспортной модели была построена модель транспортной сети города со следующими параметрами: количество узлов дорожной сети – 493; количество участков дорожной сети – 1200; количество транспортных районов – 76; количество ОП – 299. Разделение города на расчетно-транспортные районы было осуществлено в соответствии с теоретическими положениями пассажирских перевозок, а также с учетом основных пунктов тяготения пассажиропотоков.

При построении матриц корреспонденций был использован встроенный в PTV VISUM «классический» метод – четырехступенчатая модель спроса. Выходные потоки (численность населения) для каждого жилого района были определены по формуле:

$$N_i = \sigma_i \cdot F_i, \quad (10)$$

где  $\sigma_i$  – плотность населения  $i$ -го расчетно-транспортного района, чел/км<sup>2</sup>;  $F_i$  – площадь  $i$ -го расчетно-транспортного района, км<sup>2</sup>.

**Таблица 1 – Результаты выборочного анкетирования населения г. Набережные Челны**

Наименование показателя	Студен- ты	Работа- ющие	Пенсио- неры	Другие катего- рии	ВСЕГО
количество опрошенных	624	299	16	14	953
количество поездок на работу/учебу на общественном транспорте	313	109	-	-	422
количество поездок на работу/учебу на велосипедах	50	7	-	-	57
количество поездок на работу/учебу на автомобилях	163	133	-	-	296
количество поездок на работу/учебу пешком	98	50	-	-	148
<b>процент автомобилистов, готовых пересесть на общественный транспорт, при условии:</b>					
• остановка находится в 5 минутах ходьбы	85	38	1	0	123
• ожидание не более 5 минут	89	47	1	1	136
• наличие беспересадочных маршрутов	73	45	1	1	118
• чистые, с кондиционером, комфортабельные ТС	94	40	1	0	134
• наличие сидячих мест	78	37	1	0	116
<b>предпочтения по видам общественного транспорта:</b>					
• автобусы большой вместимости	127	88	6	6	227
• автобусы малой и средней вместимости	371	115	3	6	495
• трамваи	134	59	7	1	201
количество человек, отметивших необходимость рационализации маршрутной сети	377	86	3	4	470

Входные пассажиропотоки задавались на основании данных о центрах притяжения корреспонденций. Полученные значения сравнивались с данными исследований, проводившихся Отделом транспорта г. Набережные Челны. При этом сходимость значений, полученных двумя разными методами, свидетельствует о возможности их применения при построении модели.

Матрицы корреспонденций, полученные в результате реализации третьего этапа четырехступенчатой модели спроса, служат основой для определения транспортной нагрузки на дороги города. Это реализуется на основании принципа равновесных потоков, когда оптимальным маршрутом перемещения считается тот, который обеспечивает минимальные временные затраты на поездку.

Для проверки соответствия модели реальной ситуации на дорогах города была выполнена ее валидация: проведены выборочные натурные исследования транспортных потоков в будние дни в часы пик. Замеры проводились с использованием видеонаблюдения, затем, при обработке видеоматериалов исследований, были получены данные, представленные в таблице 2. Коэффициент корреляции данных наблюдений ( $X_n$ ) и значений, полученных из макромоделей ( $X_m$ ), определялся с помощью программы статистического анализа STATISTICA (рисунки 3). Полученный коэффициент корреляции Пирсона равен 0,98, что говорит о тесной связи между модельными и реальными значениями на уровне значимости 5%.

Таблица 2 – Значения суточной интенсивности движения частных ТС на участках

Наименование	Направление	Интенсивность наблюдаемая		Интенсивность модельная
		среднечасовая	суточная	
Центральная	ГЭС – НГ	1473	33831	33700
	НГ – ГЭС	1280	29393	33180
мкрн Бумажников	ГЭС – НГ	1461	33555	39024
	НГ – ГЭС	1487	34156	32176
Пединститут	ГЭС – НГ	2167	49789	51236
	НГ – ГЭС	2123	48766	50196
Челныгорстрой	ГЭС – НГ	2359	54196	51316
	НГ – ГЭС	2389	54889	50196
Медгородок	ГЭС – НГ	1673	38421	40261
	НГ – ГЭС	1620	37208	32544
7 комплекс	ГЭС – НГ	676	15537	12064
	НГ – ГЭС	829	19052	18304
Райисполком	ГЭС – НГ	567	13029	12064
	НГ – ГЭС	759	17446	18304
Автозаводский	ГЭС – НГ	684	15705	15776
	НГ – ГЭС	672	15434	12453

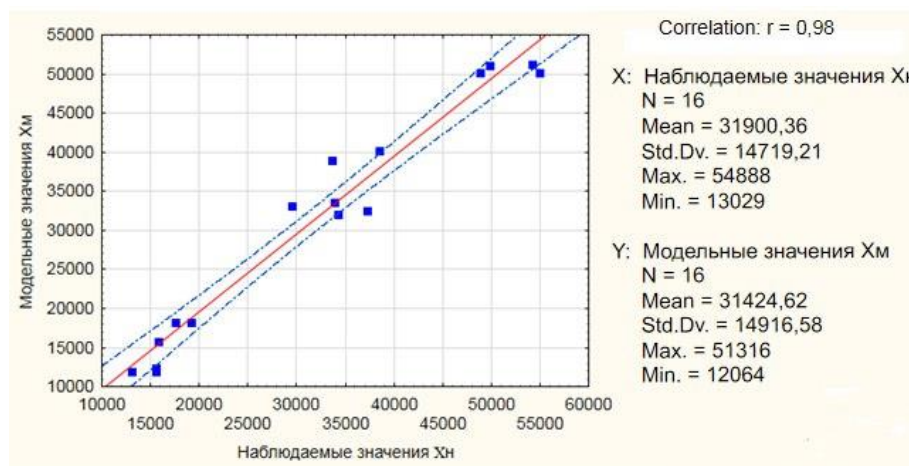


Рисунок 3 – Определение коэффициента корреляции

При разработке новой маршрутной сети автобусного транспорта учитывались следующие условия:

- Все транспортные районы города должны быть связаны между собой прямыми беспересадочными маршрутами (особое внимание должно уделяться новым районам с недостаточно развитой транспортной инфраструктурой, а также районам, которые при анкетировании отмечались респондентами как малообеспеченные общественным транспортом).
- Совершенствование маршрутной сети должно привести к сокращению наложений маршрутов.
- При общем уменьшении числа маршрутов интервал движения ТС должен соответствовать рекомендуемым значениям и полностью удовлетворять транспортную потребность населения.
- Подбор ПС для каждого маршрута и расписание движения ТС должно осуществляться с учетом прогнозируемых значений транспортной мобильности населения и корректироваться по мере изменения параметров движения.



Несмотря на то, что планировка УДС города не позволяет полностью избежать наложений маршрутов ОТ, можно значительно уменьшить число маршрутов, проходящих по одному и тому же участку УДС, при этом сохранив возможность удовлетворения мобильности населения города.

На рисунке 4 представлен фрагмент существующей маршрутной сети города с указанием номеров маршрутов, проходящих по проблемному участку, а на рисунке 5 – модернизированная автобусная маршрутная сеть.

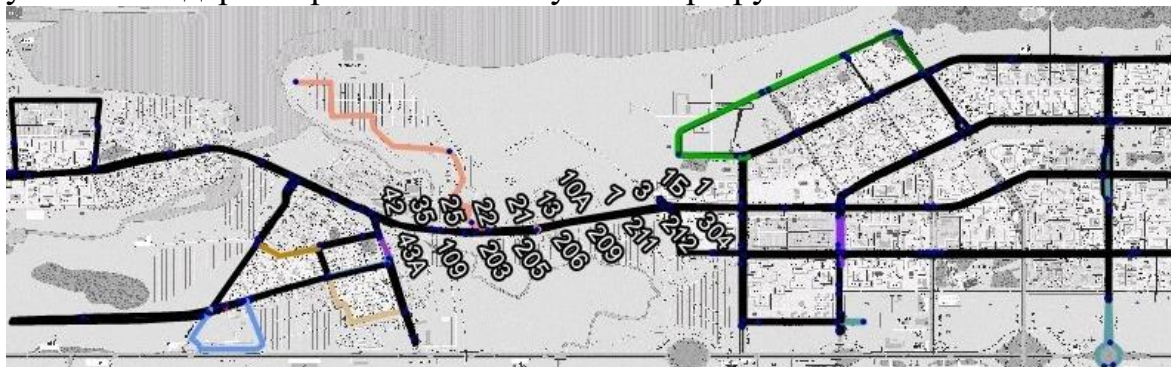


Рисунок 4 – Схема существующей маршрутной сети

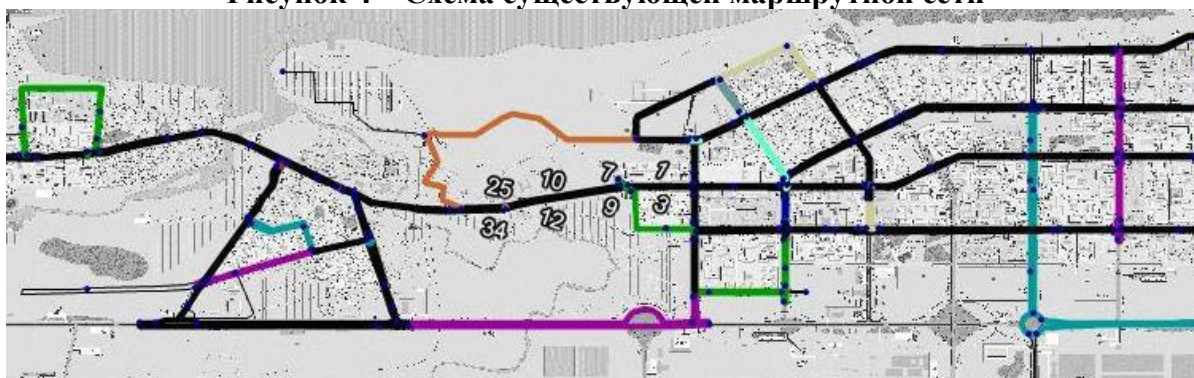


Рисунок 5 – Схема предлагаемой маршрутной сети

Сравнение значений транспортной нагрузки на наиболее проблемном участке УДС города при существующей и при предлагаемой маршрутной сети представлены на рисунке 6, где цифры красного цвета обозначают количество единиц частных ТС, проходящих по этим участкам, а синего – численность пассажиров общественного транспорта.



Рисунок 6 – Распределение транспортной нагрузки: а) при существующем пассажиропотоке и маршрутной сети; б) при прогнозируемом пассажиропотоке

Применение разработанного алгоритма принятия решений по оптимизации маршрутной сети автобусного транспорта г. Набережные Челны позволит снизить число автобусных маршрутов с 27 до 15. При этом количество ТС и их ин-

тервал движения на маршрутах подбираются таким образом, чтобы даже при возрастании потребности в автобусных перевозках, ее можно было бы удовлетворить. Число ТС на маршрутах снижается вследствие увеличения доли автобусов большой вместимости на газомоторном топливе (Нефаз 5299 вместимостью 116 чел.). При предлагаемой схеме движения количество автобусов большой вместимости насчитывает 119 ед. (вместо 19, эксплуатировавшихся ранее), а малой вместимости – 127 ед. (вместо порядка 400 автобусов малой и средней вместимости). Несмотря на уменьшение числа ТС на маршрутах, частота движения в часы пик увеличивается (интервал движения в часы пик составляет 3-4 минуты), а в периоды спада пассажиропотока остается прежней: интервал движения составляет 6 минут.

Прогнозируемое снижение транспортной нагрузки на проблемных участках УДС, а также эксплуатация на маршрутах более эффективных и экологических видов ТС помимо повышения качества транспортного обслуживания позволит снизить негативное воздействие автотранспорта на окружающую среду.

**В пятой главе** выполнена оценка эффективности предлагаемых решений. Эффективность складывается из четырех составляющих: положительный социальный эффект, экономическая целесообразность, повышение экологичности и устойчивости транспортной системы города. Экономический эффект может быть рассчитан как экономия затрат на горюче-смазочные материалы (вследствие снижения числа ТС, суммарного пробега на маршрутах и эксплуатации автобусов, работающих на газомоторном топливе) в расчете на одного перевезенного пассажира:

$$З = \sum_{k=0}^3 \frac{L_k \cdot P_k \cdot Ц_k}{100 \cdot N_k \cdot q_k}, \quad (11)$$

где  $k$  – тип автобусов, использующихся на маршруте: при  $k=1$  – автобусы малой вместимости (18 чел.), работающие на дизельном топливе; при  $k=2$  – автобусы большой вместимости (116 чел.), работающие на дизельном топливе; при  $k=3$  – автобусы большой вместимости, работающие на газомоторном топливе;  $L_k$  – суммарный пробег всех автобусов типа  $k$ , км;  $P_k$  – расход топлива автобусами типа  $k$ , руб/100 км;  $Ц_k$  – цена топлива, используемого автобусами типа  $k$ , руб.;  $N_k$  – число автобусов типа  $k$ ;  $q_k$  – пассажироместимость автобуса типа  $k$ , чел.

При существующей схеме организации движения:

$$З_{\text{сущ}} = \frac{14875,5 \cdot 10 \cdot 36}{100 \cdot 400 \cdot 18} + \frac{690,1 \cdot 55 \cdot 11}{100 \cdot 19 \cdot 116} \approx 7,43 + 1,89 \approx 9,32 \text{ руб/пас}$$

При предлагаемой схеме организации движения при замене части автобусов малого класса автобусами большой вместимости на дизельном топливе:

$$З_{\text{предл}} = \frac{2780,8 \cdot 10 \cdot 36}{100 \cdot 127 \cdot 18} + \frac{2879,7 \cdot 26,5 \cdot 36}{100 \cdot 119 \cdot 116} \approx 4,38 + 1,99 \approx 6,37 \text{ руб/пас}$$

При предлагаемой схеме организации движения при замене части автобусов малого класса автобусами большой вместимости на газомоторном топливе:

$$З_{\text{предл}} = \frac{2780,8 \cdot 10 \cdot 36}{100 \cdot 127 \cdot 18} + \frac{2879,7 \cdot 55 \cdot 11}{100 \cdot 119 \cdot 116} \approx 4,38 + 1,22 \approx 5,60 \text{ руб/пас}$$

Положительный социальный эффект может быть оценен объемом перевезенных пассажиров, а также снижением временных задержек, связанных со временем ожидания ТС, временем простоя ТС на ОП и в заторах. Для того, чтобы объединить частные значения времени доставки пассажиров между каж-

дой парой транспортных районов в единый показатель социальной эффективности, их необходимо привести к единой базе (на одного перевезенного пассажира):

$$K_{\text{соц}} = \frac{\sum t_{l-m}^{\text{дост}}}{\sum_{k=1}^2 N_k \cdot q_k}, \quad (12)$$

где  $l$  – порядковый номер района отправления,  $m$  – порядковый номер района прибытия,  $t_{l-m}^{\text{дост}}$  – время доставки пассажиров из района  $l$  в район  $m$ , мин.

Расчет времени доставки между каждой парой транспортных районов выполнялся на модели как для существующей, так и для предлагаемой схем движения. При существующей схеме организации движения

$$K_{\text{соц}}^{\text{сущ}} = \frac{138544}{400 \cdot 18 + 19 \cdot 116} = \frac{138544}{9404} = 14,73 \text{ мин/пас}, \quad \text{а при предлагаемой} -$$

$$K_{\text{соц}}^{\text{предл}} = \frac{134251}{127 \cdot 18 + 119 \cdot 116} = \frac{134251}{16090} = 8,34 \text{ мин/пас}. \quad \text{Снижение времени доставки пас-}$$

сажиров обусловлено, в частности, устранением задержек ТС на ОП в ожидании посадки/высадки, что связано с сокращением наложений маршрутов и частичной заменой автобусов малого класса автобусами большой вместимости. При существующей схеме организации движения, когда через один ОП проходит около 20 различных маршрутов, на нем одновременно может оказаться 5-10 автобусов. При предлагаемой схеме организации за счет снижения количества маршрутов, проходящих через каждый ОП, 1 автобус вместимостью 116 человек может заменить 6 ТС вместимостью 18 человек. Для количественного выражения было выполнено сравнение максимального времени простоя ТС каждого вида на ОП при высадке 116 человек и последующей посадке этого же числа пассажиров: а) автобус вместимостью 116 человек:

$$t_{\text{оп}} = \frac{(116+116) \cdot 1,2}{3} = 93 \text{ сек} \approx 1,55 \text{ мин}; \quad \text{б) автобус вместимостью 18 человек:}$$

$$t_{\text{оп}} = 6 \cdot \frac{(18+18) \cdot 1,2}{1} + \frac{(8+8) \cdot 1,2}{1} = 259,2 + 19,2 = 278 \text{ сек} \approx 4,64 \text{ мин}.$$

Для сравнения минимального времени простоя ТС каждого вида на ОП было рассчитано время высадки и последующей посадки 1 человека:

$$\text{а) автобус вместимостью 115 человек: } t_{\text{оп}} = \frac{(1+1) \cdot 1,2}{3} = 0,8 \text{ сек} = 0,013 \text{ мин};$$

$$\text{б) автобус вместимостью 18 человек: } t_{\text{оп}} = \frac{(1+1) \cdot 1,2}{1} = 2,4 \text{ сек} = 0,04 \text{ мин}.$$

Таким образом, введение в эксплуатацию автобусов большой вместимости может сократить время на посадку-высадку в среднем в 2 раза.

Экологическая эффективность обеспечивается двумя путями: снижением общего числа автобусов, проходящих по проблемным участкам УДС, а также заменой автобусов на дизельном топливе более экологичными автобусами, работающими на метане. Объемы загрязняющих веществ (ЗВ) рассчитывались по формуле:

$$V_{\text{ЗВ}} = \sum_{k=0}^3 \frac{N_k \cdot H_k}{1000}, \quad (13)$$

где  $H_k$  – содержание ЗВ в отработавших газах двигателей, г, (по данным доклада ООО «РариТЭК»).



В таблице 4 представлены значения выбросов при существующей схеме движения, при предлагаемой схеме движения с использованием автобусов большой вместимости на дизельном и на газомоторном топливе.

**Таблица 4 – Объемы загрязняющих веществ, кг/сут**

Наименование загрязняющего вещества	Объемы выбросов при схеме организации движения		
	существующей	предлагаемой с использованием больших автобусов	
		на ДТ	на метане
СО	569,1	472,7	330,9
NO <sub>x</sub>	1117,3	945,4	530,8
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	3956,9	3437,8	1266,7
Сажа	3646,3	3008,0	2260,7

Положительное влияние предложенного решения на устойчивость транспортной системы можно оценить с точки зрения приближения ее параметров к рекомендуемым значениям. Для этого был разработан интегральный показатель и построен «радар» эффективности. Были выделены и рассчитаны ключевые показатели эффективности существующей и предлагаемой маршрутных сетей (таблица 5), которые сравнивались с рекомендуемыми значениями показателей (рисунок 7). Значения площадей радаров равны соответственно 0,872, 1,147 и 1,162. Поскольку значение площади радара разработанной маршрутной сети практически равно значению площади радара рекомендуемых значений и на 32% больше, чем для существующей схемы, предлагаемые управленческие решения эффективны.

**Таблица 5 – Сравнение значений основных показателей эффективности**

Показатель	Существующая схема	Предлагаемая схема	Рекомендуемое значение
Средняя длина маршрутов, км	36,8	20,6	12
Оценка вероятности наступления риска, в связи с которым снизится время доставки	3	2	2
Коэффициент максимальной загрузки продольной магистрали	1,02	0,93	не более 1
Средний коэффициент непрямолинейности	1,48	1,45	1,42
Среднее время доставки пассажиров между транспортными районами, ч	0,53	0,48	не более 0,62

Выполнен *анализ рисков* при управлении городскими автобусными перевозками с позиции Отдела транспорта г. Набережные Челны в разрезе сфер возникновения с указанием точек уязвимости системы, уровней риска, а также предложений по способам управленческих воздействий. В результате установлено, что для снижения негативного влияния наиболее опасных рисков необходимо внедрение целого комплекса мер, связанных, в первую очередь, с грамотной организацией труда водителей, а также с повышением лояльности населения к общественному транспорту в целом и к автобусам большой вместимости в частности. Выявлена зависимость риска от инвестиций и упущенной выгоды, которая выражается следующим образом:

$$R = 0,8111 - 0,0031 \cdot X - 5,0852 \cdot 10^{-5} \cdot Y + 8,5579 \cdot 10^{-6} \cdot X^2 + 4,927 \cdot 10^{-8} \cdot X \cdot Y + 3,9893 \cdot 10^{-9} \cdot Y^2 \quad (14)$$

На рисунке 8 представлена поверхность риска при разных сценариях экономического развития города в зависимости от размера инвестиций, вложенных в закупку автобусов большой вместимости на газомоторном топливе.

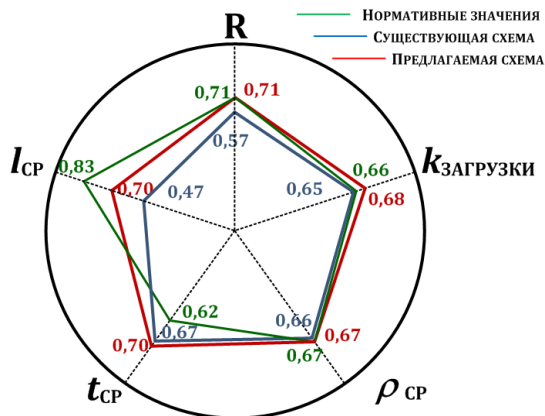


Рисунок 7 – «Радар» эффективности маршрутных схем

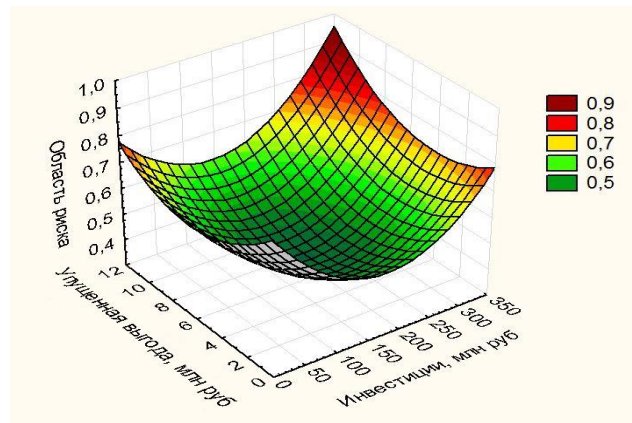


Рисунок 8 – Поверхность риска

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационной работе в результате применения комплексного подхода решена задача повышения эффективности городских автобусных перевозок:

1. Выявлено несоответствие автобусной маршрутной сети города и структуры подвижного состава потребностям населения в результате проведенного анализа системы городского пассажирского транспорта г. Набережные Челны.
2. Предложена универсальная концептуальная модель системы управления городскими автобусными перевозками, позволяющая исследовать поведение транспортной системы города в случае изменения параметров транспортных и пассажиропотоков; выявлять проблемные участки УДС; прогнозировать результаты предлагаемых управленческих решений; подбирать оптимальный ПС, комбинируя автобусы разной вместимости для разного времени суток; согласовывать интервалы движения автобусов разных маршрутов; формировать базу оптимальных решений, что расширяет возможности использования системы в различных городах с похожим транспортно-планировочным каркасом.
3. Разработан алгоритм повышения эффективности городского общественного транспорта, в основу которого заложен принцип минимизации времени доставки пассажиров и суммарного количества ТС, одновременно проходящих по одному участку, при сохранении мобильности населения.
4. Определена зависимость времени доставки пассажиров от времени простоя ТС в заторах и на ОП в ожидании очереди на подачу ТС к месту посадки-высадки, а также отсутствия свободных мест в ТС.
5. Проведено обследование предпочтений населения на основе анкетирования. Выявлено, что 17,4% водителей частных автомобилей готовы пользоваться общественным транспортом при наличии нужного беспересадочного маршрута.
6. Апробирован метод совершенствования маршрутной сети: число автобусных маршрутов можно уменьшить с 27 до 15 благодаря сокращению их наложений. Помимо этого, разработаны новые маршруты, потребность в которых была выявлена в результате опроса населения.
7. Подобран оптимальный ПС для каждого маршрута. При предлагаемой схеме движения количество автобусов большой вместимости составит 119 ед. (вместо 19 при существующей схеме), а малой вместимости – 127 ед. (вместо около 400 автобусов).

8. Эффективность предлагаемого решения рассмотрена с точки зрения экономии денежных средств на топливо (удельные затраты на топливо могут быть снижены с 9,32 руб/пас до 6,37 руб/пас в случае уменьшения числа ТС на маршрутах за счет использования ТС большой вместимости и до 5,60 руб/пас при использовании ТС большой вместимости на газомоторном топливе), временных затрат на перемещение (удельное время нахождения пассажира в системе может быть снижено с 14,73 мин/пас до 8,34 мин/пас), экологической эффективности (суточные объемы выбросов CO могут быть снижены на 238,2 кг, NO<sub>x</sub> – на 586,5 кг, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> – 2690,3 кг, сажи – 1385,6 кг). Устойчивость транспортной системы при реализации предлагаемого решения может быть обеспечена приближением показателей маршрутной сети к рекомендуемым значениям.

## ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- в рецензируемых научных журналах из «Перечня ...» ВАК:

1. Макарова, И.В. Обеспечение надежного и безопасного функционирования транспортной системы города путем интеллектуализации процессов управления / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова**, В.А. Мелькова // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 3(34). – С. 63-72.
2. Макарова, И.В. Система поддержки принятия решений как средство управления транспортной системой города / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова** // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. – № 9. – С. 57-60.
3. Макарова, И.В. Оптимизация маршрутной сети пассажирского транспорта с помощью транспортной модели города / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова** // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – № 3(50). – С. 103-114.
4. Макарова, И.В. Переход к «зеленому» транспорту: проблемы и перспективы / И.В. Макарова, **К.А. Шубенкова**, В.Г. Маврин, Г.Р. Садыгова, Л.М. Габсалихова // Мир транспорта и технологических машин. – 2016. – № 4(55). – С. 118-126.

- в изданиях, индексируемых иностранными организациями Web of Science, Scopus:

5. Makarova, I. Ensuring sustainability of the city transportation system: problems and solutions (ICSC) (Обеспечение устойчивости транспортной системы города: проблемы и пути решения) / I. Makarova, R. Khabibullin, **K. Shubenkova**, A. Boyko // E3S Web of Conferences. – 2016. – № 6. – 02004. DOI: 10.1051/e3sconf/20160602004.
6. Makarova, I. Modeling as a Method to Improve Road Safety During Mass Events (Моделирование как метод повышения безопасности движения во время массовых мероприятий) / I. Makarova, R. Khabibullin, A. Pashkevich, **K. Shubenkova** // Transportation Research Procedia. – 2017. – № 20. – P. 430-435. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.070.
7. Makarova, I. Ensuring Sustainability of Public Transport System through Rational Management (Обеспечение устойчивости системы общественного транспорта через рациональное управление) / I. Makarova, R. Khabibullin, A. Pashkevich, **K. Shubenkova** // Procedia Engineering. – 2017. – № 178. – P. 137-146. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.01.078.
8. Makarova, I. Logistical costs minimization for delivery of shot lots by using logistical information systems (Минимизация логистических издержек при мелкопартионных доставках грузов с помощью логистических информационных систем) / I. Makarova, R. Khabibullin, **K. Shubenkova**, A. Pashkevich // Procedia Engineering. – 2017. – 178. – P. 330-339. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.01.059.
9. Makarova, I. Analysis of the city transport system's development strategy design principles with account of risks and specific features of spatial development (Анализ принципов разработки стратегии развития транспортной системы с учетом рисков и особенностей территориального развития) / I. Makarova, **K. Shubenkova**, L. Gabsalikhova // Transport Problems. – 2017. – Vol. 12. – Iss. 1. – P. 739-750.

- в других изданиях:

10. Макарова, И.В. Совершенствование управления транспортными потоками города с использованием имитационного моделирования / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова** // Материалы IV всеросс. научно-практ. конф. по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. – 2009. – Т. 2. – С. 151-154.
11. Макарова, И.В. Программный комплекс по управлению транспортными потоками города / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова**, В.А. Мелькова // Сб. науч. трудов междунар. научно-практ. конф. «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте'2010». – 2010. – Т. 1. – С. 46-47.
12. Макарова И.В. Совершенствование процесса сбора и анализа данных по ДТП с целью их использования при проектировании имитационной модели транспортных потоков города / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова**, В.А. Мелькова // Сб. докл. девятой междунар. научно-практ. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». – 2010. – С. 494-497.
13. Макарова, И.В. Разработка системы мониторинга и управления транспортными потоками города как превентивная мера по снижению количества ДТП / Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова**, В.А. Мелькова // Инновации в транспортном комплексе. Безопасность движения. Охрана окружающей среды. – 2010. – Т. 2. – С. 32-37.
14. **Шубенкова, К.А.** Применение имитационного моделирования для совершенствования маршрутной сети города / **К.А. Шубенкова** // Тезисы докл. XIX Междунар. студ. школы-семинара «Новые информационные технологии». – 2011. – С. 282.
15. **Шубенкова, К.А.** Система поддержки принятия решений как элемент региональной транспортно-логистической системы / **К.А. Шубенкова** // Сб. трудов междунар. научно-практ. конф. «Современные информационные технологии в управлении транспортно-логистическими системами». – 2011. – С. 152-156.
16. **Шубенкова, К.А.** Оптимизация управления движением городского пассажирского транспорта средствами имитационного моделирования / **К.А. Шубенкова** // Материалы VI Всеросс. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2011. – Т. 2. – С. 281-284.
17. Макарова, И.В. О структуре программного комплекса управления дорожным движением как инновационном средстве обеспечения устойчивого развития региона / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова**, В.А. Мелькова // Сб. докл. десятой междунар. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах. Инновации: ресурс и возможности». – 2012. – С. 154-158.
18. Макарова, И.В. Инновации в транспортном комплексе – путь к устойчивому развитию региона / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова**, В.А. Булатова // Дорожная держава. – 2013. – № 50. – С. 76-77.
19. Макарова, И.В. Проектирование системы поддержки принятия решений для минимизации логистических издержек при мелкопартионных доставках грузов / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова**, Тимофеева И.В. // Информационные технологии и инновации на транспорте. – 2015. – С. 135-141.
20. Шубенкова, К.А. Управление городскими пассажирскими перевозками как способ развития российской экономики / **К.А. Шубенкова**, И.В. Макарова // Материалы Всеросс. научно-практ. конф. с междунар. участием. – 2016. – Часть 1. – С. 117-120.
21. Макарова, И.В. Направления и методы обеспечения устойчивого развития транспортной системы города / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, **К.А. Шубенкова** // Информационные технологии и инновации на транспорте. – 2016. – С. 315-327.

---

Подписано в печать «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. Формат \_\_\_\_\_

Усл. Печ.л 1,0.

Тираж 100 экз.

Заказ № \_\_\_\_\_.

ФГАОУ ВО Набережночелнинский институт Казанского федерального университета