

*На правах рукописи*



**НАДИРЯН София Левоновна**

**МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ЧИСЛЕННОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ  
СРЕДСТВ, ОБСЛУЖИВАЮЩИХ РЕГУЛЯРНЫЕ МАРШРУТЫ  
ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

Автореферат диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Оренбург – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Оренбургский государственный университет».

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент  
Рассоха Владимир Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент  
Фадеев Александр Иванович,  
профессор кафедры транспорта  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный  
университет», г. Красноярск;

кандидат технических наук, доцент  
Петров Артур Игоревич,  
доцент кафедры эксплуатации автомобильного  
транспорта ФГБОУ ВО «Тюменский  
индустриальный университет», г. Тюмень

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
лесотехнический университет  
им. Г.Ф. Морозова», г. Воронеж

Защита диссертации состоится 18 апреля 2024 г. в 9.00 на заседании диссертационного совета 24.2.352.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», по адресу: 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, ауд. 170215.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» ([www.osu.ru](http://www.osu.ru)).

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент



Хасанов Ильгиз Халилович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Городской пассажирский транспорт общего пользования играет важнейшую роль в жизни современных городов и городских агломераций, выполняя ключевые функции по поддержанию мобильности населения и его социальной интеграции. Пассажирский транспорт общего пользования способствует развитию экономики городских территорий и, в сравнении с индивидуальным транспортом, обеспечивает сокращение транспортных заторов и загрязнения окружающей среды выхлопными газами. На современном этапе развития городского пассажирского транспорта общего пользования существует ряд проблем организационного и технологического характера, препятствующих дальнейшему росту его эффективности. Одна из таких проблем связана с несоответствием спроса на услуги городского пассажирского транспорта и провозной возможности парка транспортных средств. Это связано с тем, что парком транспортных средств, закреплённых за маршрутом, обслуживаются нестационарные пассажиропотоки, формируемые под влиянием комплекса внешних случайных факторов. Следствием указанного несоответствия является недостаток или избыток транспортных средств, что приводит к снижению эффективности транспортного процесса.

Обозначенная проблема определяет актуальность выполненного исследования, направленного на создание методической базы, позволяющей определить оптимальную численность транспортных средств, обеспечивающую наибольшую вероятность получения максимального совокупного эффекта, определяемого в условиях несоответствия спроса на услуги городского пассажирского транспорта и провозной возможности парка транспортных средств, обслуживающих маршрут в периоды пиковых нагрузок.

**Цель исследования** – повышение эффективности транспортного обслуживания населения за счёт оптимизации численности транспортных средств, обслуживающих регулярные городские маршруты в периоды пиковых нагрузок.

**Объектом исследования** является процесс перевозки пассажиров по регулярным маршрутам городского пассажирского транспорта.

**Предметом исследования** являются закономерности изменения количества транспортных средств, обслуживающих регулярные городские маршруты, с учётом изменения спроса на транспортные услуги в периоды пиковых пассажиропотоков.

Содержание рассматриваемых в работе вопросов отвечает формуле паспорта научной специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта по пунктам: 2 «Совершенствование планирования, организации и управления перевозками пассажиров и грузов, технического обслуживания, ремонта и сервиса автомобилей с использованием программно-целевых и логистических принципов, методов оптимизации»; 3 «Исследование закономерностей, разработка моделей, алгоритмов и специального программного обеспечения в решении задач проектирования, организации, планирования, управления и анализа транспортного процесса».

### **Задачи исследования:**

- обоснование целесообразности установления соотношения количества транспортных средств, обслуживающих регулярные городские маршруты и вари-

ации спроса на транспортные услуги в периоды пиковых пассажиропотоков;

- разработка методики оптимизации численности транспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городского пассажирского транспорта, предполагающей учёт вариации спроса на транспортные услуги в периоды пиковых пассажиропотоков;

- определение численных значений расчётных параметров, позволяющих обеспечить практическое применение разработанной методики в отношении транспортных средств, обслуживающих регулярные городские маршруты пассажирского транспорта;

- оценка эффективности применения разработанной методики.

**Научную новизну** исследования составляют следующие теоретические и методические положения, выносимые на защиту:

- методика оптимизации численности транспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городского пассажирского транспорта, отличающаяся от известных возможностью учёта вариации спроса на транспортные услуги;

- критерии оценки эффекта от транспортной деятельности, отличающиеся от известных возможностью учёта вероятного несоответствия провозной возможности парка транспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городского пассажирского транспорта, спросу на транспортные услуги;

- зависимости, отражающие влияние вариации спроса на услуги городского пассажирского транспорта на оптимальную численность транспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты.

**Практическая значимость** результатов исследования заключается в разработке методики, позволяющей:

- определить обоснованную численность транспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городского пассажирского транспорта, с учётом вариации спроса на транспортные услуги;

- определить величину обобщённого эффекта, определяемого в условиях несоответствия спроса на услуги городского пассажирского транспорта и провозной возможности парка транспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городского пассажирского транспорта;

- выявить перспективные направления повышения эффективности работы городского пассажирского транспорта общего пользования.

**Внедрение результатов работы.** Результаты работы используются в МУП «Краснодарское трамвайно-троллейбусное управление», ООО «Кубаньгрузсервис» (г. Краснодар), в учебном процессе ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» и «Оренбургский государственный университет».

**Апробация работы.** Результаты работы обсуждались и получили одобрение на: XVII-ой и XVIII-ой международных научно-практических конференциях «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (г. Оренбург, 2022 – 2023 гг.); международной научно-практической конференции «Механика, оборудование, материалы и технологии» (г. Краснодар, 2022 г.); VIII-ой международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса» (г. Донецк, 2022 г.).

**Публикации.** Основные положения и результаты диссертации опубликованы

в 9-и печатных работах, в числе которых 5 статей в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов и рекомендаций, списка использованных источников (134 наименования) и приложений, изложенных на 140 страницах машинописного текста, включая 29 рисунков и 28 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обозначена решаемая проблема, обоснована актуальность темы исследования и определены основные его направления.

**В первом разделе** выполнен обзор научных работ, нормативной и методической документации в области организации перевозок по регулярным маршрутам городского пассажирского транспорта.

Вопросам организации работы городского пассажирского транспорта, эффективного использования подвижного состава, повышения качества транспортного обслуживания населения посвящены научные работы ряда отечественных учёных: Г.В. Бойко, А.А. Богомолова, Г.А. Варелопуло, А.В. Вельможина, Ю.Л. Власова, Е.П. Володина, П.П. Володькина, В.Д. Герами, В.А. Гудкова, В.В. Дедюкина, И.С. Ефремова, М.Е. Корягина, В.М. Курганова, Е.А. Кравченко, В.С. Лукинского, Л.Б. Миротина, Д.М. Новосёлова, Д.Х. Нестеренко, А.И. Петрова, И.Н. Пугачева, В.И. Рассохи, Э.А. Сафронова, И.В. Спирина, С.А. Ширяева, А.И. Фадеева, М.Р. Якимова, Н.Н. Якунина, Н.В. Якуниной и других авторов. Работы перечисленных исследователей сформировали научно-методическую базу, позволяющую решить актуальные проблемы и прикладные задачи в области организации перевозок пассажиров городским транспортом общего пользования. Практическая реализация результатов научных работ указанных авторов послужила основой для повышения эффективности функционирования городских транспортных систем, повышения комфортности городской среды, формирования условий для устойчивого социально-экономического развития городских территорий.

По результатам обзора выявлено, что в известных научных работах при решении вопросов оптимизации структуры подвижного состава, обслуживающего регулярные маршруты, не учитывается вариация спроса на услуги пассажирского транспорта.

Исходя из обозначенной особенности формирования спроса на услуги пассажирского транспорта, выдвинута гипотеза о том, что планирование транспортной деятельности с учётом вариации пассажиропотоков позволит оптимизировать численность транспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городского пассажирского транспорта и, как следствие, повысить эффективность транспортного процесса.

На основе результатов анализа информации, содержащейся в литературных источниках, установлено, что ключевым фактором, оказывающим влияние на оптимальные структурные параметры парка транспортных средств, обеспечивающие эффективность транспортного процесса, является объём перевозок и его распределение по временным периодам и участкам маршрутов. Распределение пас-

сажиропотоков определяется множеством случайных факторов, и, как следствие, является случайной величиной, прогнозируемой с определённой вероятностью. Следовательно, решения, принимаемые исходя из численного значения данной величины, можно рассматривать как решения, принимаемые в условиях риска.

Методической основой определения стратегических подходов к управлению сложными системами в условиях риска и неопределённости являются теоретические положения, описанные в трудах О. Моргенштерна, Дж. Неймана, Т. Шеллинга, Э. Мулена, Е.С. Вентцеля, Н.Н. Воробьёва и других авторов.

Выполненный анализ позволил сделать заключение о возможности и целесообразности учёта вариации спроса на услуги городского пассажирского транспорта для решения задачи оптимизации численности транспортных средств, обслуживающих регулярные городские маршруты.

Практическое решение обозначенной проблемы предполагает разработку методов вычисления совокупного эффекта, определяемого в условиях несоответствия спроса на транспортные услуги и провозной возможности парка транспортных средств, обслуживаемый маршрут. Разработка данных методов, а также составление алгоритма их взаимосвязанного применения, в соответствии с основными положениями теории управления большими системами в условиях риска, составляет задачу, решаемую во втором разделе диссертационной работы. Решение этой научной и прикладной проблемы обусловило формулировку цели и задач диссертационного исследования.

**Во втором разделе** представлена теоретическая часть диссертационной работы.

Традиционно численность транспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городского пассажирского транспорта, определяется двумя условиями: соблюдением заданного интервала движения и обеспечением возможности перевозки всех пассажиров в часы пик на наиболее нагруженных участках городских маршрутов. При этом пассажиропоток в рассматриваемом расчётном периоде, как правило, является случайной величиной, описываемой вероятностными параметрами. В таких условиях оптимальная стратегия управления численностью транспортных средств может быть определена по результатам применения теории управления большими системами в условиях риска.

В соответствии с принятой классификацией, транспортный процесс в условиях городского пассажирского транспорта может быть рассмотрен как процесс взаимодействия двух сторон. Одной из сторон является городская среда, формирующая спрос на услуги пассажирского транспорта в условиях комплексного воздействия случайных факторов, второй – организатор перевозок, определяющий численность транспортных средств, обслуживающих регулярные пассажирские маршруты. Реализация теоретических положений управления большими системами в условиях стохастического спроса предполагает построение так называемой «платёжной матрицы», которая позволяет определить величину суммарного эффекта для всех возможных сочетаний спроса на транспортные услуги и провозной возможности парка транспортных средств. Платёжная матрица имеет вид таблицы 1. Поскольку спрос на транспортные услуги является случайной величиной, в последней строке таблицы указывается его вероятность для каждого из рассматриваемых диапазонов.

Таблица 1 – Платёжная матрица

Оценка сочетания стратегий $A_i$ и $P_j$	Спрос на услуги пассажирского транспорта, пасс./час.					
	$P_j \rightarrow$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	....	$P_j$
Провозная возможность парка, пасс./час.	$A_i$					
	↓					
	$A_1$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	....	$X_{1j}$
	$A_2$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	....	$X_{2j}$
	$A_3$	$X_{31}$	$X_{32}$	$X_{33}$	....	$X_{3j}$
	....	....	....	....	....	....
	$A_i$	$X_{i1}$	$X_{i2}$	$X_{i3}$	....	$X_{ij}$
Вероятность спроса		$P_1$	$P_2$	$P_3$	....	$P_j$
Обозначения: $P_j$ – спрос на услуги городского пассажирского транспорта, пасс./час; $A_i$ – провозная возможность парка транспортных средств, пасс./час; $P_j$ – вероятность $j$ -го значения спроса на услуги транспорта; $X_{ij}$ – совокупный эффект при $j$ -ом значении спроса на транспортные услуги и $i$ -ом значении провозной возможности парка.						

Построение платёжной матрицы осуществляется в условиях ограничения, обусловленного наличием возможности полного удовлетворения спроса на услуги пассажирского транспорта.

Дополнительным фактором, учитываемым при построении платёжной матрицы, является вероятность обеспечения требований к качеству транспортного обслуживания населения (не более 5 человек на 1 м<sup>2</sup> свободной площади пола салона). При превышении установленной наполняемости салона принято существование риска отказа пассажира от использования услуг пассажирского транспорта с соответствующей потерей дохода. Провозная возможность парка при условии удовлетворения требований к качеству транспортного обслуживания производится по формуле:

$$A = \frac{ПВ \cdot \gamma \cdot V_{МАРШ}^{CP} \cdot N_{АВТ}}{L_{МАРШ}}, \quad (1)$$

где  $ПВ$  – номинальная пассажировместимость транспортных средств, обслуживающих маршрут, пасс.;  $\gamma$  – коэффициент наполнения салона, определяемый установленными требованиями к качеству транспортного обслуживания населения;  $V_{МАРШ}^{CP}$  – средняя скорость движения транспортных средств на маршруте, км/ч;  $N_{АВТ}$  – численность транспортных средств, обслуживающих маршрут в рассматриваемый период времени, ед.;  $L_{МАРШ}$  – общая протяжённость оборотного рейса, км.

Исходя из ограничения, обусловленного требованием к полному удовлетворению спроса на транспортные услуги, расчёт провозной возможности парка производится по формуле (1) при коэффициенте наполняемости салона, принимаемом равным единице. Интервал значений провозной возможности парка, в рамках которого целесообразно проведение моделирования значений суммарного эффекта, определяется диапазоном изменения спроса на услуги пассажирского транспорта и величиной коэффициента наполнения салона, определяемого установленными требованиями к качеству транспортного обслуживания населения.

Значения совокупного эффекта в ячейках платёжной матрицы определяются

исходя из трёх возможных соотношений спроса на транспортные услуги и его удовлетворением парком транспортных средств с заданной провозной возможностью:

1) спрос на транспортные услуги по перевозке пассажира удовлетворён с соблюдением требований к качеству – положительный эффект в объёме  $b_1$ ;

2) спрос на транспортные услуги удовлетворён с несоблюдением требований к качеству – отрицательный эффект в объёме  $b_2$ ;

3) провозная возможность парка превышает спрос на перевозку пассажиров (избыточное предложение) – отрицательный эффект в объёме  $b_3$ .

Совокупный эффект при заданном соотношении спроса на транспортные услуги и провозной возможности парка определяется при помощи выражений:

$$\begin{cases} X_{ij} = \sum (\Pi_j \cdot b_1), & \text{при } A_i = \Pi_j \\ X_{ij} = \sum (\Pi_j \cdot b_1) + \sum ((\Pi_j - A_i) \cdot b_3), & \text{при } A_i < \Pi_j, \\ X_{ij} = \sum (\Pi_j \cdot b_1) + \sum ((A_i - \Pi_j) \cdot b_2), & \text{при } A_i > \Pi_j \end{cases} \quad (2)$$

где  $b_1$  – положительный эффект, получаемый в результате обслуживания одного пассажира, руб.;  $b_2$  – отрицательный эффект, являющийся следствием отказа пассажира от услуг городского пассажирского транспорта, руб.;  $b_3$  – отрицательный эффект, являющийся следствием наличия вакантного места в салоне транспортного средства, руб.

В соответствии с данными платёжной матрицы осуществляется построение матрицы итоговых значений суммарного эффекта (таблица 2).

Таблица 2 – Матрица итоговых значений суммарного эффекта

A <sub>i</sub>	Π <sub>j</sub>	Выигрыши сочетаний					Суммарный эффект
	Π <sub>1</sub>	Π <sub>2</sub>	Π <sub>3</sub>	...	Π <sub>j</sub>		
A <sub>1</sub>		P <sub>1</sub> ·X <sub>11</sub>	P <sub>2</sub> ·X <sub>12</sub>	P <sub>3</sub> ·X <sub>13</sub>	...	P <sub>j</sub> ·X <sub>1j</sub>	Σ(P <sub>j</sub> ·X <sub>1j</sub> )
A <sub>2</sub>		P <sub>1</sub> ·X <sub>21</sub>	P <sub>2</sub> ·X <sub>22</sub>	P <sub>3</sub> ·X <sub>23</sub>	...	P <sub>j</sub> ·X <sub>2j</sub>	Σ(P <sub>j</sub> ·X <sub>2j</sub> )
A <sub>3</sub>		P <sub>1</sub> ·X <sub>31</sub>	P <sub>2</sub> ·X <sub>32</sub>	P <sub>3</sub> ·X <sub>33</sub>	...	P <sub>j</sub> ·X <sub>3j</sub>	Σ(P <sub>j</sub> ·X <sub>3j</sub> )
...		...	...	...	...	...	...
A <sub>i</sub>		P <sub>1</sub> ·X <sub>i1</sub>	P <sub>2</sub> ·X <sub>i2</sub>	P <sub>3</sub> ·X <sub>i3</sub>	...	P <sub>i</sub> ·X <sub>ij</sub>	Σ(P <sub>j</sub> ·X <sub>ij</sub> )

Критерием оценки эффекта от транспортной деятельности в условиях несоответствия провозной возможности парка транспортных средств является суммарный эффект (последний столбец, построчная сумма значений таблицы 2). Формула (3), используемая для расчёта данного показателя, является целевой функцией исследования, максимальное значение которой соответствует оптимальной численности транспортных средств:

$$\mathcal{E}_{A_i} = \sum_1^j (P_j \cdot X_{ij}) \rightarrow \text{MAX}. \quad (3)$$

Вероятность отказа пассажиров от использования услуг городского пассажирского транспорта вследствие несоблюдения требований к их качеству или вероятность отсутствия физической возможности воспользоваться услугами транспорта наиболее высока в часы пиковых пассажиропотоков на наиболее нагруженных участках маршрута. Исходя из этого, изучение спроса на услуги пассажир-

ского транспорта, в плане решения поставленной задачи, целесообразно организовать методом натуральных обследований в часы пик на наиболее нагруженном участке маршрута.

Условием, обеспечивающим реализацию разработанного методического подхода, является вычисление составляющих системы выражений (2), в частности, значения положительного и отрицательного эффектов, являющихся следствием как удовлетворения, так и не удовлетворения спроса на услуги пассажирского транспорта, а также следствием избыточной провозной возможности парка.

Положительный эффект от перевозки одного пассажира  $b_1$  определяется как разница между утверждённым тарифом и себестоимостью перевозки одного пассажира:

$$b_1 = T - CC = T - \frac{C_{1KM} \cdot L_{OB} \cdot m_{ГОД}}{Q_{ГОД}}, \quad (4)$$

где  $T$  – тариф на перевозку одного пассажира, руб.;  $CC$  – себестоимость перевозки одного пассажира, руб.;  $C_{1KM}$  – себестоимость одного километра пробега транспортного средства, руб.;  $L_{OB}$  – протяжённость оборотного рейса, км;  $m_{ГОД}$  – годовое количество оборотных рейсов, совершаемых транспортными средствами, обслуживающими маршрут, в соответствии с расписанием, ед.;  $Q_{ГОД}$  – годовой объём перевозок пассажиров на маршруте, пасс.

Отрицательный эффект, связанный с вероятным отказом пассажира от услуг пассажирского транспорта при недостаточной провозной возможности парка  $b_2$  устанавливается из условия, что для удовлетворения требований к качеству оказываемых услуг перевозчику потребуется закрепить за маршрутом дополнительное количество транспортных средств, что, в свою очередь, отразится на себестоимости перевозки одного пассажира. Расчёт величины  $b_2$  производится по формуле:

$$b_2 = T - CC^{MAX} = T - \frac{C_{1KM}^{MAX} \cdot L_{OB} \cdot m_{ГОД}^{MAX}}{Q_{ГОД}}, \quad (5)$$

где  $CC^{MAX}$  – себестоимость перевозки одного пассажира при численности транспортных средств, обеспечивающих удовлетворение требований к качеству транспортного обслуживания населения, руб.;  $C_{1KM}^{MAX}$  – себестоимость одного километра пробега при численности транспортных средств, обеспечивающей выполнение требований к качеству транспортного обслуживания населения, руб./км;  $m_{ГОД}^{MAX}$  – годовое количество оборотных рейсов, совершаемых парком транспортных средств, численностью, обеспечивающей выполнение требований к качеству транспортного обслуживания населения, ед.

Отрицательный эффект при наличии избыточной провозной возможности парка  $b_3$  принят равным себестоимости перевозки пассажира, определённой при условии полного использования пассажироместности транспортного средства:

$$b_3 = -CC_1 = -\frac{C_{1KM} \cdot L_{OB} \cdot n_1}{ПВ \cdot n_M}, \quad (6)$$

где  $CC_1$  – себестоимость перевозки одного пассажира при условии полного использования пассажироместности транспортных средств, руб./пасс.;  $n_1$  –

среднее количество перегонов между остановочными пунктами, проезжаемых одним пассажиром, ед.;  $n_M$  – общее количество перегонов между остановочными пунктами исследуемого маршрута, ед.

Вероятность заданного значения спроса на услуги городского пассажирского транспорта определяется как отношение количества дней с заданным значением спроса (в границах установленного отклонения) к общему количеству наблюдений.

Таким образом могут быть определены все составляющие, необходимые для применения представленных теоретических положений при решении сформулированной оптимизационной задачи.

Численность транспортных средств, определённая по результатам оптимизации, может отличаться от первоначальной численности, принятой при определении себестоимости перевозки одного пассажира. В этом случае производится дополнительная расчётная итерация, в ходе которой производится пересчёт себестоимости перевозки пассажира исходя из скорректированной численности транспортных средств. Методика определения оптимальной численности транспортных средств, представленная в теоретической части работы, реализована в виде алгоритма, схема которого приведена на рисунке 1.

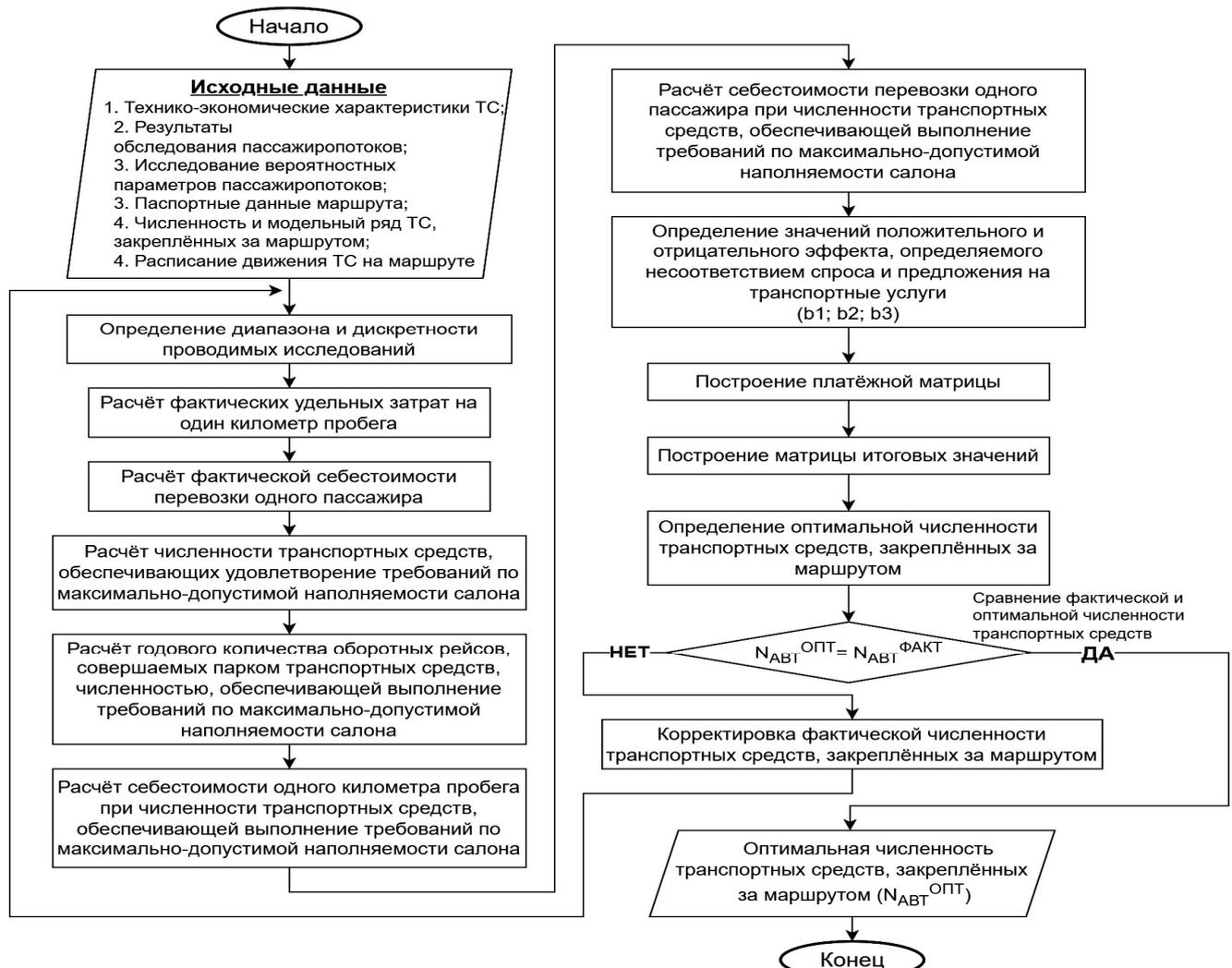


Рисунок 1 – Схема алгоритма определения численности транспортных средств, обслуживающих регулярный маршрут городского пассажирского транспорта в пиковое время

Таким образом, решена вторая поставленная задача – разработана методика оптимизации численности транспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городского пассажирского транспорта, предполагающая учёт вариации спроса на транспортные услуги в периоды пиковых пассажиропотоков.

**В третьем разделе** представлено описание методов исследований, проведённых с целью определения численных значений расчётных параметров, позволяющих обеспечить практическое применение разработанной методики в отношении регулярных маршрутов городского пассажирского транспорта.

Описаны источники получения информации, необходимой для определения себестоимости одного километра пробега транспортных средств и себестоимости перевозки одного пассажира.

Установлено, что источником информации о годовом объёме перевозок и его распределении по циклически повторяющимся временным интервалам являются результаты анализа объёмов выручки, в том числе метаданных транзакций, осуществляемых через терминалы, установленные в салонах транспортных средств. Информация о распределении пассажиропотоков по участкам маршрута может быть получена, исходя из результатов натурного обследования, осуществляемого группой счётчиков, выполняющих подсчёт количества пассажиров, находящихся в салонах транспортных средств, включённых в исследуемую выборку.

Расчёт пассажиропотока на локальном участке маршрута ( $ПП_{уч}$ ) выполняется по формуле:

$$ПП_{уч} = \left( \sum_{i=1}^k P_i \right) \cdot \frac{N_{ОБЩ}}{k}, \quad (7)$$

где  $P_i$  – количество пассажиров в салоне  $i$ -го транспортного средства на исследуемом участке маршрута, чел.;  $N_{ОБЩ}$  – общая численность транспортных средств, обслуживающих исследуемый участок маршрута в период пиковых нагрузок, ед.;  $k$  – численность транспортных средств, включённых в исследуемую выборку, ед.

Объём выборки транспортных средств, обеспечивающий заданную точность полученных результатов (допустимая погрешность 5 %), определён в соответствии с методикой, изложенной в работах Гусынина А.Б., Давыдова А.А. и других авторов.

Метод получения информации о вероятности формирования заданного уровня спроса на транспортные услуги заключается в проведении натурного обследования, в ходе которого наблюдатели, находящиеся на остановочных пунктах в часы пиковых пассажиропотоков, производят оценку наполненности салона транспортных средств (удовлетворённый спрос) и количества пассажиров на остановочном пункте (неудовлетворённый спрос). На основе массива данных, полученных в ходе натурного обследования, определены границы диапазона, в рамках которого происходят колебания спроса на транспортные услуги и вероятность формирования заданной величины пассажиропотока.

Таким образом, сформированы методы получения данных и виды исследований, необходимых для практической реализации разработанной методики.

В четвертом разделе представлены результаты практического применения разработанной методики в отношении регулярных пассажирских маршрутов города Краснодар. В соответствии со схемой разработанного алгоритма (рисунок 1), для выборки исследуемых маршрутов определены необходимые исходные данные и произведён расчёт себестоимости перевозки пассажира. Для выполнения расчёта показателей себестоимости разработан программный продукт.

Проведено исследование норм вместимости, обеспечивающих выполнение требований к качеству транспортного обслуживания населения. В ходе исследования произведено измерение свободной площади пола салона транспортных средств, обслуживающих городские пассажирские маршруты. Выполнен расчёт коэффициентов наполнения салона, определяющих соответствие установленным требованиям к качеству.

На рисунке 2, в качестве примера, для определения нормы вместимости, обеспечивающей требований к качеству обслуживания населения по параметру наполняемости салона, представлена планировка салона автобуса МАЗ-203.

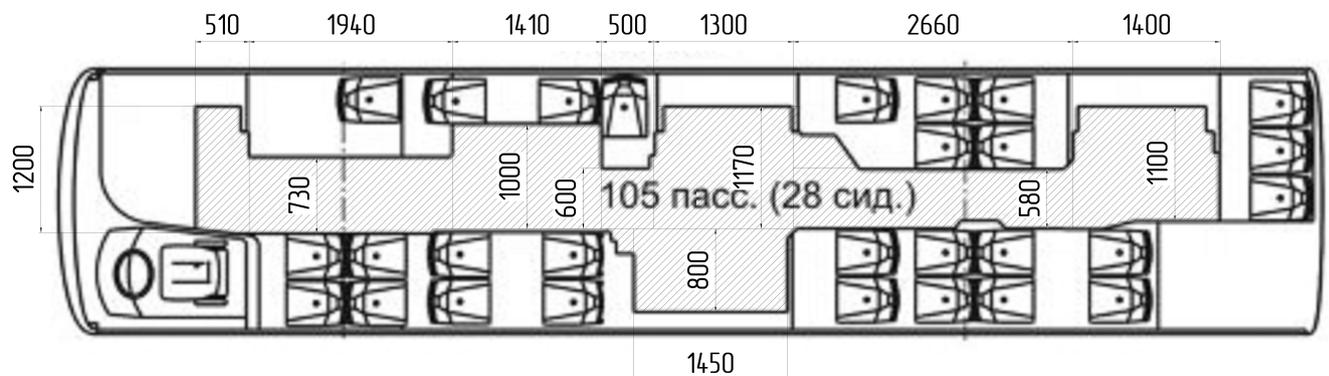


Рисунок 2 – Планировка салона автобуса МАЗ-203

Исходя из представленной планировки, произведён расчёт свободной площади пола  $S_{пол} = 9,5 \text{ м}^2$ . Количество перевозимых пассажиров при условии обеспечения требований к качеству транспортного обслуживания населения по параметру наполняемости салона (5 человек на  $1 \text{ м}^2$ ) определено как сумма количества пассажиров, перевозимых стоя и сидя  $ПК = 48 + 28 = 76$  чел. Коэффициент наполнения салона, определяющий соответствие требованиям социального стандарта, при номинальной пассажироместности автобуса МАЗ-203  $ПВ = 105$  чел,  $\gamma = 76/105 = 0,72$ .

Аналогично, для автобуса ПАЗ-3204 данный коэффициент составляет:  $\gamma = 0,78$ .

Выполнен расчёт частных и средних значений положительного и отрицательного эффектов, обусловленных соотношением спроса на транспортные услуги и провозной возможностью парка рассматриваемых моделей транспортных средств. Результаты расчёта сведены в таблицу 3.

На основе анализа выручки, исходя из метаданных платёжных транзакций, определён характер распределения пассажиропотоков по вложенным циклам временных интервалов. По результатам натурных обследований определено распределение пассажиропотоков по участкам маршрутов, включённых в исследуемую выборку.

Таблица 3 – Средние значения положительного и отрицательных эффектов

Показатель	Модель автобуса	
	МАЗ-206	ПАЗ-3204
Положительный эффект от перевозки одного пассажира $b_1$ , руб.	9,73	10,5
Отрицательный эффект, обусловленный недостаточной провозной возможностью парка $b_2$ , руб.	8,77	9,47
Отрицательный эффект, обусловленный избыточной провозной возможностью парка $b_3$ , руб.	18,47	21,99

На основе серии натуральных экспериментов, проведённых на остановочных пунктах наиболее нагруженных участков всей выборки исследуемых маршрутов, определены вероятности реализации пассажиропотоков в установленных диапазонах. На рисунке 3, в качестве примера, приведено такое распределение, установленное для одного из исследованных маршрутов (маршрут с порядковым номером 7 исследуемой выборки).

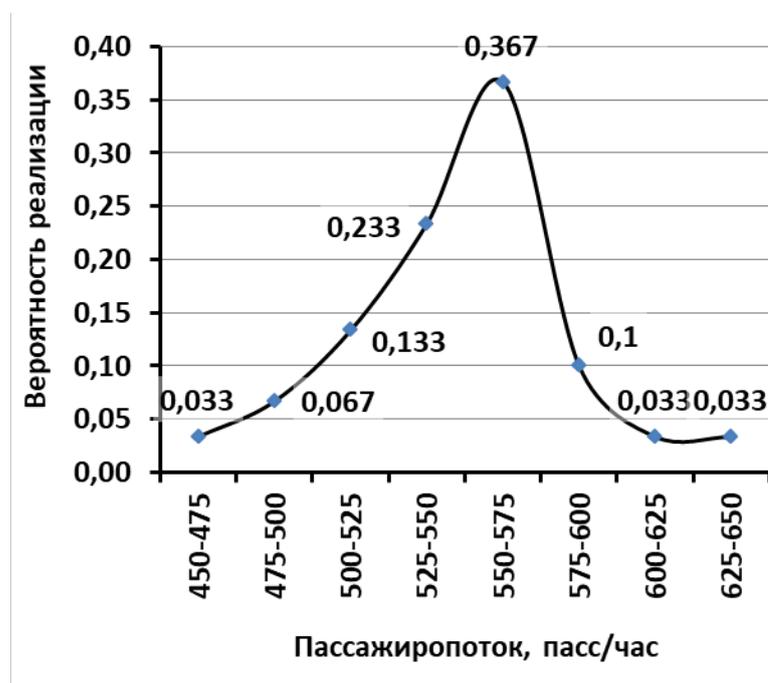


Рисунок 3 – Результаты исследования вероятностных характеристик пассажиропотоков на наиболее нагруженном участке (Базовая улица – улица Янковского) маршрута 7 исследуемой выборки в пиковое время (8:30 – 9:30)

Полученные данные позволили установить диапазон вариации максимальных значений пассажиропотоков и разработать математическую модель суммарного эффекта, обусловленного соотношением спроса на услуги пассажирского транспорта и провозной возможности парка. По результатам произведённого моделирования установлены зависимости относительной оптимизированной численности транспортных средств от коэффициента вариации пассажиропотоков. Данные зависимости представлены на рисунке 4.

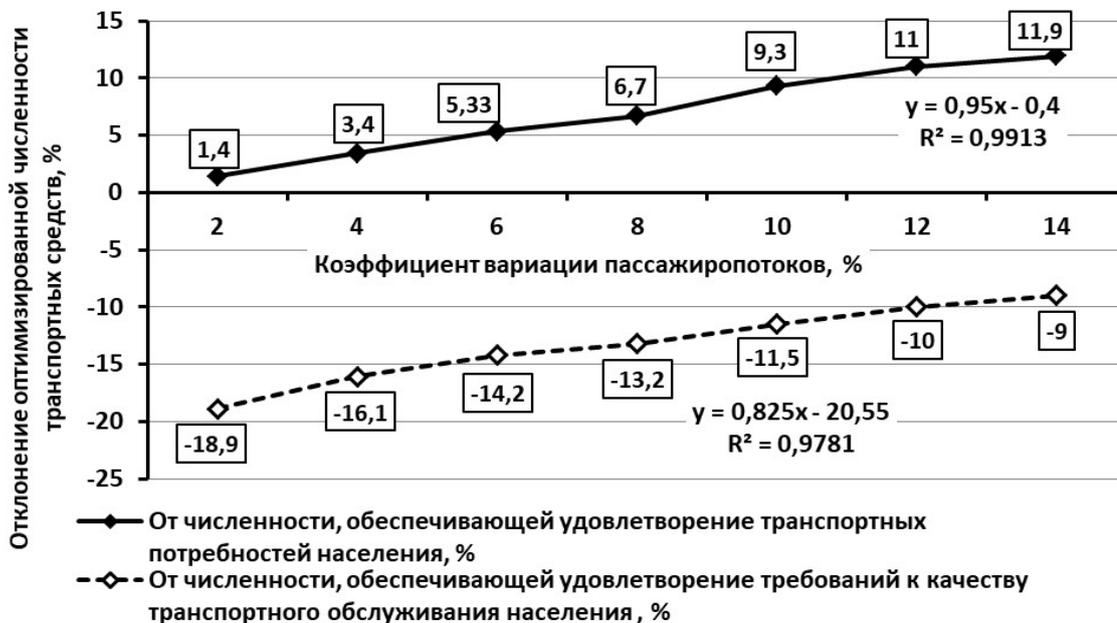


Рисунок 4 – Зависимости относительной оптимизированной численности транспортных средств от коэффициента вариации пассажиропотоков

Коэффициент вариации определён как отношение среднего квадратического отклонения к математическому ожиданию пассажиропотоков. Численность транспортных средств, обеспечивающая удовлетворение транспортных потребностей населения определена для максимальных значений пассажиропотока при номинальной вместимости транспортных средств. Численность транспортных средств, обеспечивающая удовлетворение требований к качеству транспортного обслуживания населения, определена для тех же значений пассажиропотоков при наполняемости, рассчитанной из условия 5 человек на 1 м<sup>2</sup> свободной площади салона.

На графиках, представленных на рисунке 4, приведены уравнения аппроксимации, позволяющие произвести предварительный расчёт оптимизированной численности транспортных средств, закреплённых за маршрутом, при известной вариации пассажиропотоков на наиболее нагруженном участке маршрута. Полученные данные являются одним из пунктов научной новизны исследования. Использование полученных зависимостей позволяет произвести укрупнённый расчёт оптимизированной численности транспортных средств, обслуживающих регулярные городские маршруты в период пиковых пассажиропотоков.

**В пятом разделе** проведена оценка эффективности практической реализации разработанной методики. Исходные данные получены в ходе проведения аналитических исследований и натурных экспериментов, описанных в предыдущем разделе.

Исходя из полученных данных, построены платёжные матрицы и матрицы итоговых значений для каждого из маршрутов исследуемой выборки. На основе матриц итоговых значений произведена оптимизация численности транспортных средств, обслуживающих маршруты выборки в пиковое время. Результаты выполненного проверочного расчёта, основанного на использовании уравнений зависимости отклонения оптимизированной численности транспортных средств относительно численностей, обеспечивающих удовлетворение спроса и требований к качеству, от ко-

эфициента вариации пассажиропотоков (рисунок 4), позволили сделать заключение об адекватности полученных зависимостей и о возможности их применения для определения оптимизированной численности транспортных средств, обслуживающих городские пассажирские маршруты. Для оценки эффективности проектных решений выполнен сравнительный расчёт технико-экономических показателей эксплуатации транспортных средств исследуемой выборки. Результаты расчёта приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты сравнительного расчёта показателей эксплуатации транспортных средств выборки исследуемых маршрутов.

Показатель	Текущие значения для маршрутов с порядковым номером					Проектные значения для маршрутов с порядковым номером				
	2	5	8	9	10	2	5	8	9	10
Численность транспортных средств, обслуживающих маршрут, ед.	24	20	22	19	21	23	17	19	17	18
Численность транспортных средств, закреплённых за маршрутом, ед.	28	23	26	22	25	27	20	22	20	21
Годовой объём перевозок, тыс. пасс	4917	2142	2340	2360	2411	4917	2141	2340	2360	2411
Себестоимость перевозки одного пассажира, руб.	25,3	26,5	24,0	21,8	24,9	24,5	25,9	23,2	21,1	23,8
Средняя себестоимость перевозки одного пассажира, руб.	24,5					23,7				
Общий годовой эффект от реализации проектных мероприятий, тыс. руб.	-	-	-	-	-	3933	1285	1872	1652	2652
Суммарный годовой эффект от реализации проектных мероприятий, тыс. руб.						11394				

Для пяти из десяти маршрутов, включённых в исследуемую выборку, установлена целесообразность корректировки численности транспортных средств, обслуживающих маршрут в пиковое время. По результатам корректировки установлена целесообразность сокращения суммарной численности транспортных средств на 12 единиц, что составляет 6,45 % от численности транспортных средств всей выборки.

За счёт снижения численности транспортных средств достигнуто снижение общего пробега транспортных средств, обслуживающих маршрут, амортизационных отчислений на восстановление подвижного состава, затрат на оплату труда и ряда других затратных статей. Общая экономия годовых эксплуатационных затрат составила 11,394 млн. руб. от их фактического объёма до реализации предложенных мероприятий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании выполненного литературного обзора и результатов натуральных наблюдений установлен вероятностный характер формирования пассажиропотоков регулярных маршрутов городского пассажирского транспорта. Установлено, что известные методы определения численности транспортных средств, закреплённых за городскими маршрутами, не в полной мере учитывают эту особенность, что отрицательно отражается на эффективности транспортного обслуживания населения.

2. Для оптимизации численности транспортных средств, закреплённых за регулярными маршрутами городского пассажирского транспорта, с учётом вероятностного характера формирования пассажиропотоков, разработана методика, позволяющая установить оптимальную численность транспортных средств с учётом вероятных несоответствий провозной возможности парка и спроса на услуги пассажирского транспорта.

3. Для практической реализации разработанной методики на выборке регулярных маршрутов города Краснодар проведены расчётно-аналитические исследования, по результатам которых определены: распределение пассажиропотоков по циклически повторяющимся вложенным временным интервалам и участкам обследованных маршрутов; вероятностные характеристики пассажиропотоков, формируемых на наиболее нагруженных участках маршрутов; технико-экономические характеристики используемых моделей транспортных средств и ряд других величин. Полученные данные и результаты их обработки обеспечили возможность практического применения разработанной методики и возможность создания математической модели на её основе.

4. По результатам оценки эффективности практического применения разработанных методов обоснована целесообразность изменения численности транспортных средств на пяти из десяти маршрутов, включённых в обследованную выборку. Рекомендовано сокращение парка транспортных средств на 6,45 % (12 единиц) относительно их общей численности. По результатам оптимизации достигнуто снижение средней себестоимости перевозки одного пассажира с 24,5 руб. до 23,7 руб., что обеспечивает годовой экономический эффект в объёме 11,394 млн. руб.

Оценка влияния вероятностных характеристик спроса на эффективность функционирования производственно-технических и транспортных систем свидетельствуют о перспективности расширения спектра научных и прикладных исследований в данном направлении. В частности, целесообразно применение данных методов в отношении: различных видов пассажирских транспортных систем; производственной базы предприятий, обеспечивающих поддержание в исправном состоянии сложных технических объектов; производственно-технической базы сервисных предприятий и других аналогичных производств.

## Основные положения диссертации отражены в следующих работах:

- в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК:

1. Надирян, С.Л. Моделирование показателей эффективности городского пассажирского транспорта при обслуживании нестационарных пассажиропотоков / С.Л. Надирян, В.И. Рассоха // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 4-1 (83). – С. 81-90.

2. Надирян, С.Л. Оптимизация структуры парка безрельсовых транспортных средств, обслуживающих городские пассажирские маршруты, на основе результатов математического моделирования / С.Л. Надирян, В.И. Рассоха, Д.А. Дрючин // International Journal of Advanced Studies. – 2023. – Том 13, № 3. – С. 180-202.

3. Надирян, С.Л. Анализ транспортных проблем крупных и крупнейших городов / С.Л. Надирян, Т.В. Коновалова, И.С. Сенин, И.Н. Котенкова // International Journal of Advanced Studies. – 2023. – Том 13, № 1. – С. 126-136.

4. Особенности экономического прогнозирования пассажиропотоков (на примере Краснодарского края) / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, Ю.П. Миронова, М.П. Миронова // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2016. – № 1 (47). – С. 109-116.

5. Надирян, С.Л. Учёт внутранспортного эффекта при оценке инвестиций в городской пассажирский транспорт / С.Л. Надирян, Т.В. Коновалова, М.В. Папазян // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – № 10 (171). – С. 241-243.

- свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023668943. Программа расчёта себестоимости перевозки пассажиров по муниципальным маршрутам регулярных перевозок / С.Л. Надирян, Д.А. Дрючин, В.И. Рассоха; заявитель и правообладатель Гос. образоват. учреждение Кубанский гос. технолог. ун-т. – Заявка № 2023667650; зарег. 06.09.2023.

- в прочих изданиях:

7. Надирян, С.Л. Использование теории игр для оптимизации численности транспортных средств, обслуживающих маршруты городского пассажирского транспорта / Д.А. Дрючин, С.Л. Надирян, В.И. Рассоха, // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сборник трудов XVIII международной научно-практической конференции, Оренбург, 15-17 ноября 2023 г. – Оренбург: Оренбургский гос. ун-т, 2023. – С. 158-166.

8. Надирян, С.Л. Методы и результаты оценки эффективности системы городского пассажирского транспорта / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, С.В. Коцурба // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы XVII международной научно-практической конференции, Оренбург, 17-18 ноября 2022 г. – Оренбург: Оренбургский гос. ун-т, 2022. – С. 286-292.

9. Надирян, С.Л. Логистика качества пассажирских перевозок в транспортной системе города / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, М.П. Миронова, С.В. Коцурба // Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса: сборник научных трудов по материалам VIII международной научно-практической конференции, Донецк, 25 мая 2022 г. – Донецк: Донецкая академия транспорта, 2022. – С. 25-27.

Подписано в печать 16.02.2024 г. Формат 60 x 90 / 16  
Тираж 100 экз.  
Отпечатано в печатном салоне «Призма»  
г. Оренбург, ул. Терешковой, 10/3