

Научная статья
УДК 665.73 (076.5)
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-74-87>
EDN: TOXJIX



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ СОГЛАСОВАННОГО РАЗВИТИЯ ПОДСИСТЕМ

Д.А. Дрючин

Оренбургский государственный университет,
г. Оренбург, Россия

✉ dmi-dryuchin@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Отмечено высокое значение городского пассажирского транспортного комплекса как системы, определяющей уровень социально-экономического развития городской территории. Обозначена одна из системных проблем пассажирского транспортного комплекса современных городов – децентрализация процессов планирования и управления, определяющая структурный дисбаланс ключевых подсистем. Приведены результаты литературного обзора, в ходе которого рассмотрены работы, посвящённые повышению эффективности транспортного процесса, процесса обеспечения энергоресурсами и поддержания подвижного состава в исправном состоянии. Отмечена необходимость разработки методологии, обеспечивающей согласование состояния и функционирования ключевых подсистем транспортного комплекса. Определена цель научной работы, представлен перечень решаемых задач.

Материалы и методы. Приведена структурная схема городского пассажирского транспортного комплекса, описан концептуальный подход к решению задачи согласованной оптимизации его ключевых подсистем. Определены: целевой показатель, целевая функция и её ограничения, определяющие реализуемый оптимизационный процесс. Дано краткое описание методов определения и взаимного согласования структурных параметров подсистем, формирующих материальную основу транспортного комплекса.

Результаты. Представлены теоретические положения, отражающие концептуальный подход к обеспечению эффективности функционирования городских транспортных систем на основе согласованного развития подсистем, исходя из величины предложенного комплексного показателя эффективности. На основе данных, полученных по результатам аналитических исследований и натурных экспериментов, произведён расчёт, позволивший определить структурные параметры подсистем системы городского пассажирского транспорта одного из городов, обеспечивающие максимальное значение эффективности транспортной деятельности, обеспеченного за счёт структурного согласования подсистем, составляющих материальную основу системы городского пассажирского транспорта.

Обсуждение. Отражено решение поставленных задач, обозначены показатели, отражающие достижение цели исследования, сформулировано подтверждение гипотезы о возможности повышения эффективности работы городского пассажирского транспортного комплекса за счёт реализации условий, обеспечивающих согласованное развитие и взаимодействие ключевых подсистем.

Заключение. Сформулирован обобщающий вывод о решении важной научной, методической и прикладной задачи – повышении эффективности процесса перевозки пассажиров по маршрутам городского пассажирского транспорта на основе обеспечения согласованного развития подсистем, составляющих его материальную базу.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: городской пассажирский транспорт, структура подвижного состава, производственно-техническая база, транспортная инфраструктура, пассажирские перевозки

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: автор статьи выражает благодарность сотрудникам транспортного факультета ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», научному консультанту доктору технических наук, профессору Н.Н. Якунину, доктору технических наук, доценту В.И. Рассохе, анонимным рецензентам за их помощь, советы, рекомендации, ценные замечания и критику.

© Дрючин Д.А., 2024



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Статья поступила в редакцию 01.12.2023; одобрена после рецензирования 12.01.2023; принята к публикации 20.02.2024.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Дрючин Д.А. Совершенствование структуры городского пассажирского наземного транспортного комплекса на основе согласованного развития подсистем // Вестник СиБАДИ. 2024. Т. 21, № 1. С. 74-87. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-74-87>

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-74-87>

EDN: TOXJIX

IMPROVEMENT OF URBAN PASSENGER GROUND TRANSPORT STRUCTURE BASED ON COORDINATED DEVELOPMENT OF SUBSYSTEMS

Dmitry A. Dryuchin

Orenburg State University,
Orenburg, Russia

✉ dmi-dryuchin@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. The high importance of the urban passenger transport complex as a system determining the level of socio-economic development of the urban area is formulated. One of the systemic problems of the passenger transport complex of modern cities is the decentralization of planning and management processes, which determines the structural imbalance of key subsystems. The results of a literary review are presented, during which the works devoted to improving the efficiency of the transport process, the process of providing energy resources and the process of maintaining rolling stock in good condition are considered. The necessity of developing a methodology ensuring the coordination of the state and functioning of key subsystems of the transport complex is noted. The purpose of scientific work is defined, the list of solved tasks is defined.

Materials and methods. The structural scheme of the urban passenger transport complex is given, a conceptual approach to solving the problem of coordinated optimization of its key subsystems is described. The following are defined: the target indicator, the objective function and its limitations that determine the optimization process being implemented. A brief description of methods for determining and mutual coordination of structural parameters of subsystems forming the material basis of the transport complex is given.

Results. Theoretical provisions reflecting a conceptual approach to ensuring the efficiency of urban transport systems based on the coordinated development of subsystems, based on the magnitude of the proposed integrated efficiency indicator, are presented. Based on the data obtained from the results of analytical studies and field experiments, a calculation was made that made it possible to determine the structural parameters of the subsystems of the urban passenger transport system of one of the cities, ensuring the maximum value of the efficiency of transport activities provided by structural coordination of the subsystems that make up the material basis of the urban passenger transport system.

Discussion. The solution of the tasks set is reflected, indicators reflecting the achievement of the research goal are indicated, confirmation of the hypothesis about the possibility of improving the efficiency of the urban passenger transport complex through the implementation of conditions ensuring the coordinated development and interaction of key subsystems is formulated.

© Dryuchin D.A., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Conclusion. A generalizing conclusion about the solution of an important scientific, methodological and applied task – to increase the efficiency of the passenger transportation process along urban passenger transport routes based on ensuring the coordinated development of the subsystems that make up its material base is formulated.

KEYWORDS: urban passenger transport, structure of rolling stock, production and technical base, transport infrastructure, passenger transportation

CONFLICT OF INTEREST: The author declare no conflict of interest.

ACKNOWLEDGEMENTS: The author of the article expresses gratitude to the staff of the Transport Faculty of the Orenburg State University, scientific consultant, Doctor of Technical Sciences, Professor N.N. Yakunin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor V.I. Rassokha, anonymous reviewers for their help, advice, recommendations, valuable comments and criticism.

The article was submitted 01.12.2023; approved after reviewing 12.01.2024; accepted for publication 20.02.2024.

The author has read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the author has no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Dryuchin D.A. Improvement of urban passenger ground transport structure based on coordinated development of subsystems. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (1): 74-87. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-1-74-87>

ВВЕДЕНИЕ

Городской пассажирский транспортный комплекс является одним из элементов, формирующих условия комфортной городской среды и определяющих уровень социально-экономического развития городов. Исходя из высокой значимости пассажирских транспортных систем, актуальной является задача обеспечения их максимально-возможной эффективности в заданных условиях. Характерной особенностью современного этапа развития городских пассажирских транспортных систем является наличие ряда противоречий, обусловленных разнонаправленностью интересов сторон, участвующих в процессах их формирования и функционирования. Следствием данной ситуации считается организационная и технологическая разобщённость структурных частей, составляющих материальную основу транспортного комплекса, что, в свою очередь, является причиной неэффективного использования материальных ресурсов.

Децентрализация процессов планирования и управления, при отсутствии актуальной методической базы, – одна из основных причин выраженного структурного дисбаланса городского транспортного комплекса, проявляющегося в непропорциональном и несогласованном развитии подсистем, входящих в его состав. Решением обозначенной проблемы будет разработка методологической базы, позволяющей определить оптимальные структурные параметры и функциональное согласование структурных частей городского пассажирско-

го транспортного комплекса для достижения максимально-возможного значения целевого показателя, характеризующего эффективность транспортного комплекса как единой системы. Наиболее капиталоемкими подсистемами городского пассажирского транспортного комплекса являются: подвижной состав; инфраструктура топливно-энергетического обеспечения и производственно-техническая база, обеспечивающая поддержание подвижного состава в исправном состоянии. Исходя из приведённых доводов, закономерности, определяющие влияние структурных параметров обозначенных подсистем на эффективность работы городского пассажирского транспортного комплекса выбраны в качестве предмета проведённого исследования. Выполнен литературный обзор, в ходе которого рассмотрены научные труды, посвящённые вопросам формирования и функционирования каждой из рассматриваемых подсистем.

Методы организации транспортного обслуживания городского населения пассажирским транспортом общего пользования рассмотрены в работах А.В. Вельможина, П.П. Володькина, А.Э. Горева, В.М. Курганова, И.В. Спирина, А.И. Фадеева, Н.В. Якуниной и др. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Данные научные труды составляют методическую основу решения организационных и технологических задач городского пассажирского транспорта. Научные, технологические, экологические и прикладные вопросы, связанные с организацией топливно-энергетического обеспечения транспортных си-

стем, рассмотрены в работах Ю.Н. Гольской, М.В. Иванова, А.М. Кудрявцева, Е.В. Бондаренко, А.А. Филиппова, Р.Т. Шайлина, С.А. Воробьёва, А.С. Тищенко и других учёных¹ [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. Методы технологического проектирования производственно-технической базы транспортного комплекса и организации производства по поддержанию транспортных средств в исправном состоянии представлены в работах Л.Н. Давидовича, В.А. Зенченко, В.А. Васильева, Д.С. Ермилова, В.И. Карагодина, Е.С. Кузнецова, Н.А. Ляпина, В.В. Тарасова, Г.А. Шахалевича и других авторов^{2,3,4,5} [18, 19, 20].

На основе анализа содержания данных научных работ обоснована целесообразность применения комплексного подхода при решении оптимизационной задачи в отношении основных подсистем городского пассажирского транспортного комплекса.

От известных методов предлагаемый концептуальный подход отличается комплексным учётом экономической и экологической составляющих эффективности транспортного процесса при определении оптимального состояния взаимосвязанных структурных параметров подсистем, составляющих материальную основу системы городского пассажирского транспорта.

Исходя из обозначенного подхода, сформулирована цель исследования: повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспортного комплекса за счёт обеспечения согласованного развития подсистем, составляющих его материальную основу.

Достижение поставленной цели обеспечено за счёт решения следующих задач:

- сформулировать концепцию структурного построения системы городского пассажирского наземного транспорта на основе комплексной оценки функционирования ключевых подсистем;

- разработать математическую модель формирования комплексного показателя эффективности функционирования системы городского пассажирского транспорта с учётом особенностей структурного построения и функционирования её подсистем;

- разработать методологию оптимизации структурных параметров ключевых подсистем городского пассажирского транспортного комплекса;

- разработать алгоритм решения оптимизационной задачи, позволяющей учесть взаимное влияние структурных параметров подсистем городского пассажирского транспортного комплекса при обеспечении максимальной эффективности его функционирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Структурная схема городского пассажирского транспортного комплекса, включающая в себя ключевые подсистемы, формирующие его материальную основу, представлена на рисунке 1. Исходя из предлагаемого концептуального подхода, организационно-управленческие подсистемы рассмотрены как неизменяемая внешняя среда. Задачи, связанные с совершенствованием данных подсистем, выведены за рамки проводимого исследования.

В качестве итогового критерия оптимального функционирования городского пассажирского транспорта предложен обобщённый показатель эффективности перевозки одного пассажира. Критерий определяется как сумма удельных затрат на перевозку одного пассажира и удельного экологического ущерба. Данный показатель принят в качестве целевой функции, ограничиваемой условиями, формируемыми исходя из требований к качеству транспортного обслуживания населения. Данное условие описывается системой математических выражений:

¹ Гольская Ю.Н. Понятие транспортной инфраструктуры и оценка ее влияния на региональную экономику // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы II Межвузовской научно-практической конференции: в 6 т. Иркутск; ИрГУПС, 2011. С. 157–162.

² Давидович Л.Н. Проектирование предприятий автомобильного транспорта. М.: Транспорт, 1975. 392 с.

³ Карагодин В.И. Централизованный ремонт автомобильных двигателей по техническому состоянию // Московский автомобильно-дорожный гос. технический ун-т (МАДИ). М.: Техполиграфцентр, 2011. 94 с.

⁴ Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. М.: Транспорт, 1982. 224 с.

⁵ Тарасов В.В. Организация производственно-технической службы автотранспортного объединения. М.: [ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР], 1974. 71 с.

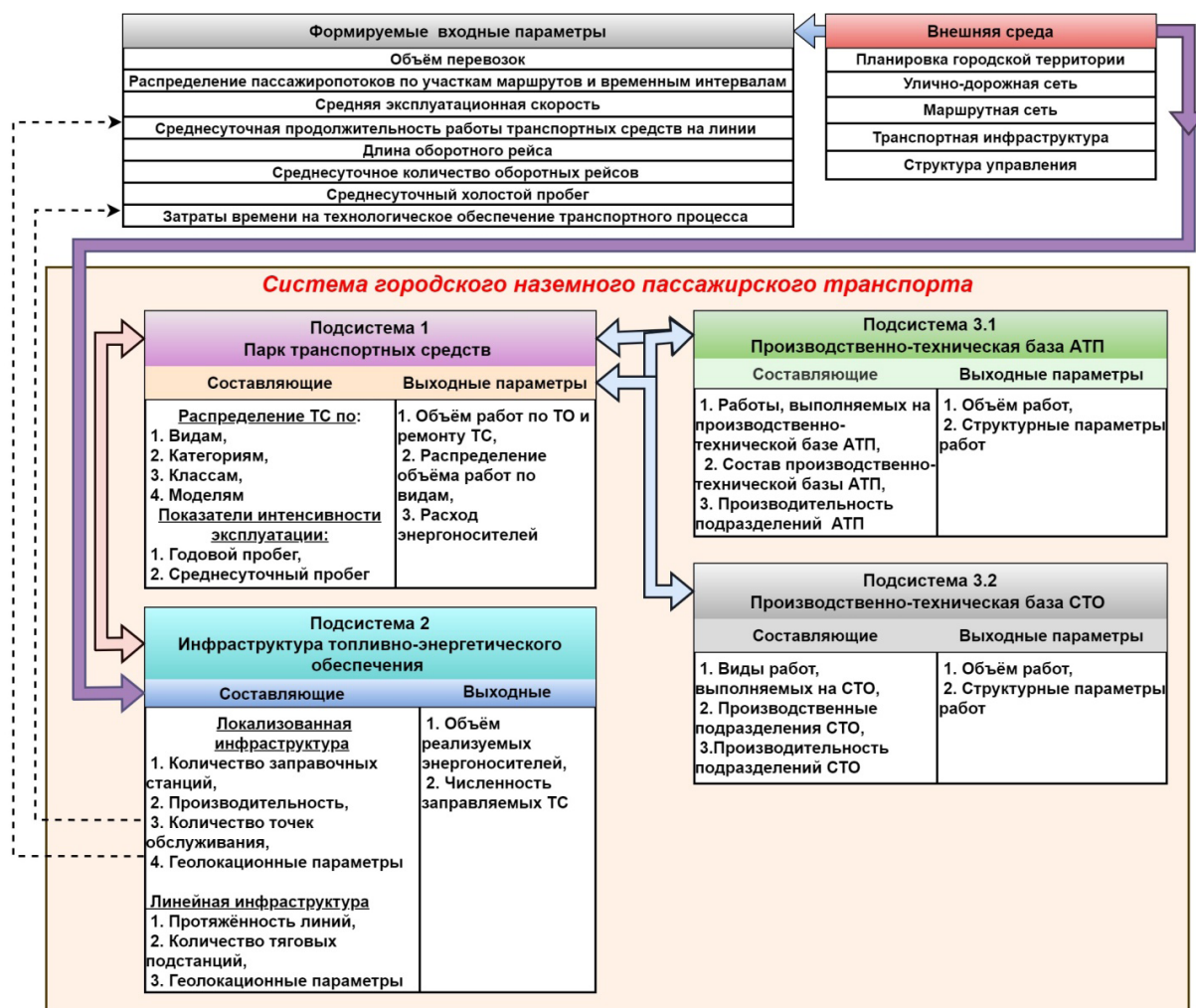


Рисунок 1 – Схема взаимодействия подсистем городского пассажирского транспорта
Источник: составлено автором.

Figure 1 – Diagram of interaction of subsystems of the urban passenger transport system
Source: compiled by the author.

$$\begin{cases} Z_{\text{КОМ}} = (CC_1 + \mathcal{E}K_{\Sigma 1}) \rightarrow \min \\ PK_1 \geq [PK_{\text{MIN}}] \\ \dots\dots\dots \\ PK_i \geq [PK_{\text{MIN}}] \end{cases}, \quad (1)$$

где $Z_{\text{КОМ}}$ – обобщённый показатель эффективности перевозки одного пассажира, руб./пасс.; CC_1 – сумма удельных затрат на перевозку одного пассажира, руб./пасс.; $\mathcal{E}K_{\Sigma 1}$ – удельный экологический ущерб, руб./пасс.; PK_1, PK_i – показатели качества транспортного обслуживания населения; $[PK_{\text{MIN}}], [PK_{\text{MIN}}]$ – допустимые значения показателей качества транспортного обслуживания населения.

Экологический ущерб включает в себя ущерб от выбросов токсичных веществ, парниковых газов и использования не возобновляемых природных ресурсов.

Обеспечение требований к качеству транспортного обслуживания населения в рамках проведённого исследования определяется выполнением двух условий:

- обеспечение регулярности перевозок – соблюдение заданных интервалов движения транспортных средств;
- полное удовлетворение спроса на транспортные услуги за счёт обеспечения необходимой провозной возможности парка транспортных средств.

Обеспечение выполнения этих условий определяется закреплением за маршрутом определённого количества транспортных средств, заданной пассажировместимости, движущихся в соответствии с утверждённым расписанием, формирующим их общий годовой пробег.

В рамках решения поставленных задач разработан алгоритм вычислений, позволяющий определить необходимую численность транспортных средств, закреплённых за маршрутом и их общий годовой пробег при условии выполнения условий, формирующих требуемый уровень качества транспортного обслуживания населения.

Взаимной подстановкой используемых математических выражений получена формула для расчёта обобщённого показателя эффективности перевозки одного пассажира:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{КОМ} = & (N_A \cdot \left(\frac{12}{НПИ} + E_H \right) \cdot \\ & \cdot \left(C_{Б0} \cdot \frac{1}{\alpha_{Б0} \cdot \alpha_{Ю0} \cdot \gamma_0} - C_{Бi} \cdot \frac{1}{\alpha_{Бi} \cdot \alpha_{Юi} \cdot \gamma_i} \right) + 0,01 \cdot S \cdot K_H \cdot \\ & \cdot (q_0 \cdot U_0 - q_i \cdot U_i) + S \cdot \frac{C_{НЧ}}{1000} \cdot \\ & \cdot \left(\left(\sum_{k=1}^m (t_{k0}^{CK}) - \sum_{k=1}^m (t_{ki}^{CK}) \right) + (t_{ТР0} - t_{ТРi}) \right) + \\ & + S \cdot \left((z_{ТО0}^{Мам} - z_{ТОi}^{Мам}) + (z_{ТР0}^{ЗЧ} - z_{ТРi}^{ЗЧ}) \right) + S \cdot (z_{ЭК0} - z_{ЭКi}) + \\ & + (z_{ПТБ0} - z_{ПТБи}) - (K_{ПТБ} + K_{ПЕРС}^{УЧ}) \cdot E_H) / ОП_{ГОД}, \end{aligned} \quad (2)$$

где N_A – численность транспортных средств, эксплуатируемых в рамках транспортной системы, ед.; НПИ – нормативный срок полезного использования транспортных средств, лет; E_H – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений; $C_{Б0}$, $C_{Бi}$ – балансовая стоимость транспортных средств, руб.; $\alpha_{Б0}$, $\alpha_{Бi}$ – коэффициент выпуска транспортных средств на линию; $\alpha_{Ю0}$, $\alpha_{Юi}$ – коэффициент использования рабочего времени; γ_0 , γ_i – коэффициент использования пассажироместности; S – годовой пробег транспортных средств, км; K_H – коэффициент, определяемый суммой надбавок (скидок) к нормативному расходу топлива (энергии); q_0 , q_i – базовая норма расхода энергоносителя, ед./км; U_0 , U_i – стоимость учётной единицы энергоносителя, руб.; $C_{НЧ}$ – стоимость нормочаса работ по обслуживанию и ремонту транспортных средств, руб.; t_{k0}^{CK} , t_{ki}^{CK} – скорректированная удельная трудоёмкость k -го вида технического обслуживания, чел.-ч/1000 км; $t_{ТР0}$, $t_{ТРi}$ – удельная трудоёмкость текущего ремонта, чел.-ч/1000 км; $z_{ТО0}^{Мам}$, $z_{ТОi}^{Мам}$ – удельные затраты на материалы при ТО транспортных средств, руб./1000 км; $z_{ТР0}^{ЗЧ}$, $z_{ТРi}^{ЗЧ}$ – удельные затраты на запчасти, используемые при ремонте транспортных средств, руб./1000 км; $z_{ЭК0}$, $z_{ЭКi}$ – удельная величина экологического ущерба при эксплуатации транспортных средств, руб./1000 км; $z_{ПТБ0}$, $z_{ПТБи}$ – дополнительные затраты на содержание производственно-технической базы, руб.;

$K_{ПТБ}$ – инвестиции в перевооружение производственно-технической базы, руб.; $K_{ПЕРС}^{УЧ}$ – инвестиции в обучение персонала, руб.; $ОП_{ГОД}$ – годовой объём перевозок, пасс.

Для оценки экологического ущерба реализуемые технологии энергоснабжения транспортных систем разделены на два вида: с мобильной (автобус) и стандартной (троллейбус, трамвай) энергетической установкой. Расчёт объёма выбросов и величины экологического ущерба произведён исходя из величины пробеговых выбросов для автобусов и объёмов выбросов, производимых электростанцией, при генерации необходимого объёма энергии, нужной для эксплуатации электротранспортных систем. На основе выполненной оценки комплексной эффективности использования рассматриваемых видов пассажирских транспортных средств определены области их эффективного применения, показанные на рисунке 2.

Оптимизация инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения произведена исходя из численности и интенсивности эксплуатации ключевых потребителей энергоресурсов. Определение оптимальных структурных параметров данной подсистемы создано исходя из следующих условий: необходимой производительности по объёму реализуемого энергоносителя; необходимой производительности по количеству обращений (заправок); минимального объёма реализуемого энергоносителя, определяющего целесообразность строительства заправочной (зарядной) станции. Разработанная методика предполагает проведение пошагового моделирования процесса взаимодействия транспортных средств и инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения. Логика моделирования основана на выдвинутой гипотезе о том, что затраты на создание и содержание инфраструктуры возрастают с увеличением численности заправочных станций. Но в то же время увеличение численности инфраструктурных объектов приводит к сокращению непроизводительных пробегов и связанных с ними потерь времени. В качестве критерия оптимального состояния инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения приняты суммарные затраты на содержание инфраструктурных объектов и дополнительных затрат, обусловленных непроизводительными пробегами и непроизводительными потерями времени транспортных средств. Данный подход проиллюстрирован при помощи графиков, представленных на рисунке 3.

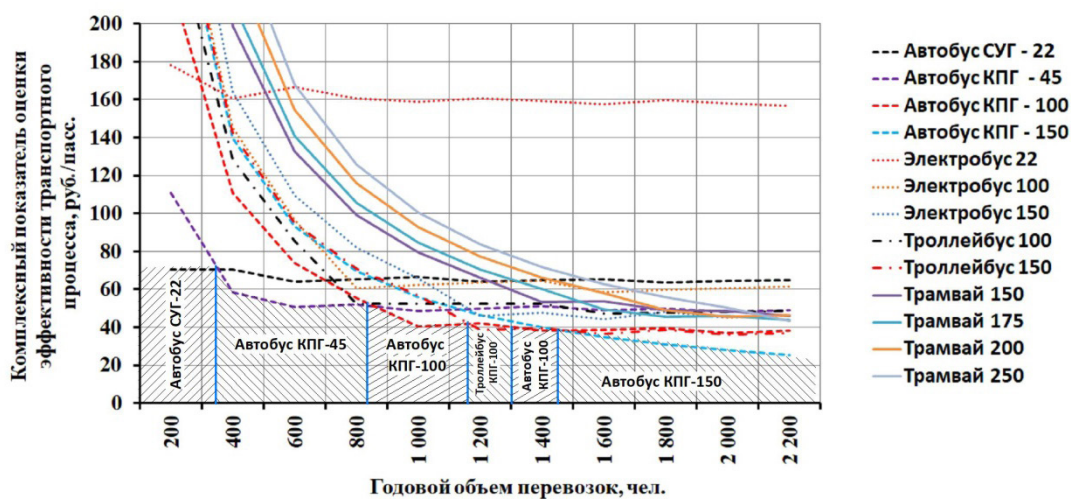


Рисунок 2 – Результаты оценки области эффективного применения рассматриваемых видов транспортных средств
Источник: составлено автором.

Figure 2 – Evaluation results for the effective use of the considered types of vehicles
Source: compiled by the author.

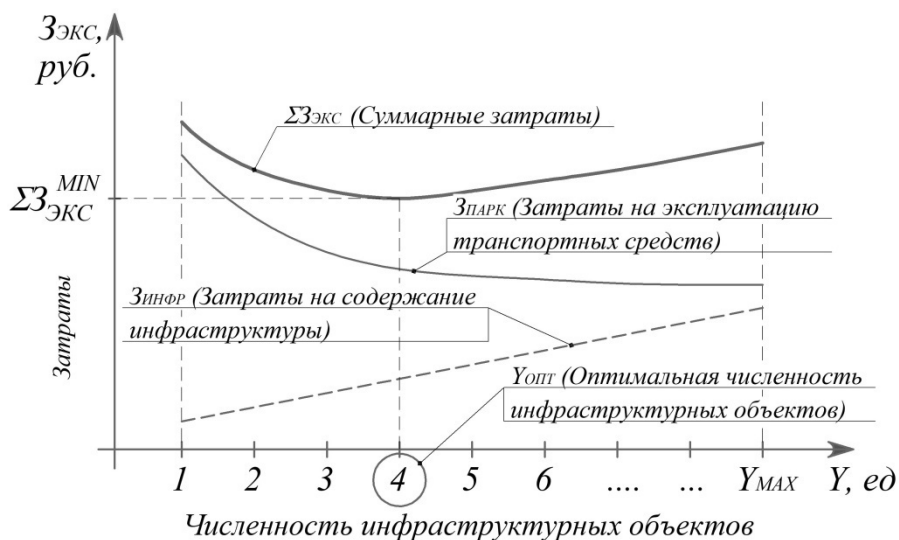


Рисунок 3 – Определение оптимальных параметров инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения
Источник: составлено автором.

Figure 3 – Determination of the optimal parameters of the fuel and energy supply infrastructure
Source: compiled by the author.

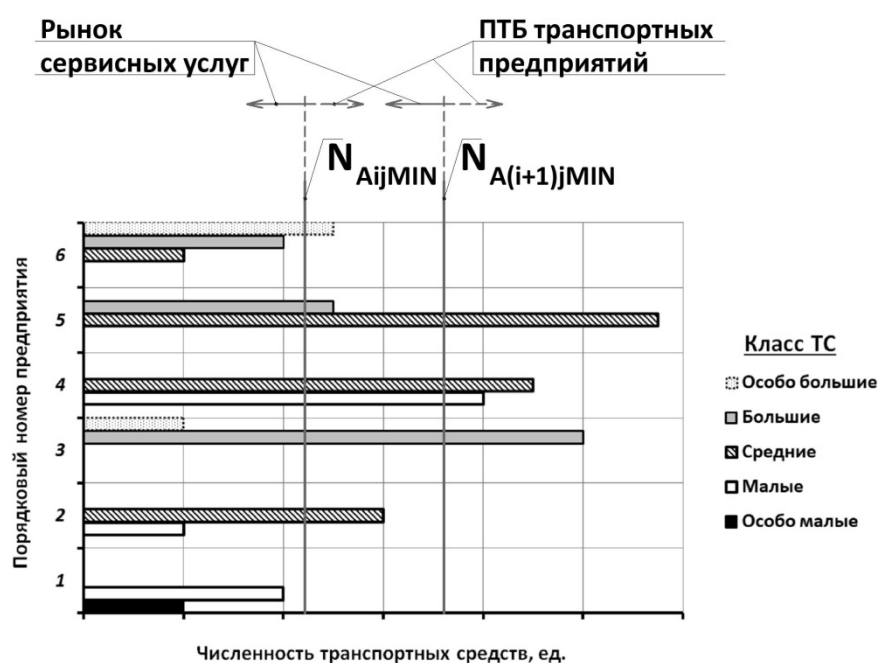


Рисунок 4 – Условия формирования структуры производственно-технической базы в рамках системы городского пассажирского транспорта
Источник: составлено автором.

Figure 4 – Conditions for the formation of the industrial and technical base structure within the framework of the urban passenger transport system
Source: compiled by the author.

Отдельно решена задача определения мест расположения заправочных (зарядных) станций. Для решения этой задачи в работе использованы: метод центра масс и метод группировки объектов на основании данных матрицы расстояний.

Структурирование параметров производственно-технической базы, обеспечивающей поддержание транспортных средств в исправном состоянии, произведено исходя из результатов сравнения затрат на содержание производственно-технической базы транспортного предприятия с затратами на оплату услуг сервисного предприятия, обеспечивающего выполнение того же объема работ. Виды и объемы работ, выведенные из состава производства транспортных предприятий, формируют объемы работ, обеспечивающие

загруженность производственно-технической базы сервисных предприятий или централизованных производств. Условия формирования структуры производственно-технической базы проиллюстрированы при помощи диаграммы, представленной на рисунке 4.

Совокупность описанных методов образует обобщенную методологию, позволяющую по результатам серии итерационных расчетов определить оптимальные структурные параметры подсистем городского пассажирского транспортного комплекса с учетом их взаимосвязей и взаимного влияния, исходя из общего для всего комплекса критерия оценки оптимального состояния. Данный подход проиллюстрирован при помощи схемы, представленной на рисунке 5.

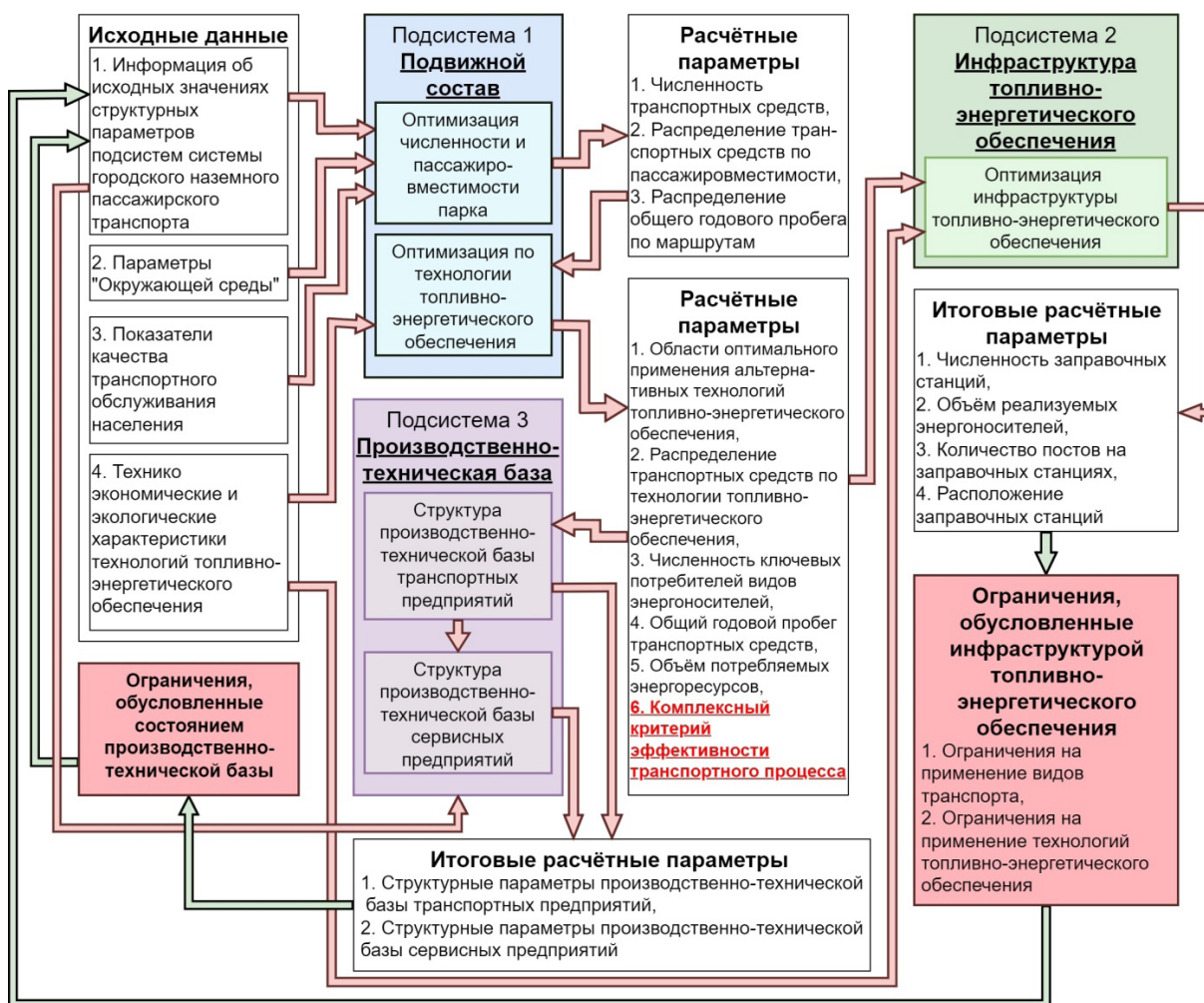


Рисунок 5 – Схема взаимосвязи структурных параметров подсистем системы городского пассажирского наземного транспорта
Источник: составлено автором.

Figure 5 – Diagram of the relationship between the structural parameters for subsystems of the urban passenger land transport system
Source: compiled by the author.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для обеспечения практической реализации разработанных теоретических положений проведён комплекс аналитических исследований и натурных экспериментов, по результатам которого определены: области эффективного применения рассматриваемых видов и категорий транспортных средств; математические выражения, характеризующие зависимости объёма инвестиционных вложений и годовых эксплуатационных затрат на содержание

инфраструктурных объектов от их технологических параметров; минимальные объёмы реализуемых энергоносителей, определяющие целесообразность строительства инфраструктурного объекта (заправочной станции); граничные значения объёмов работ и численности различных категорий транспортных средств, определяющие целесообразность выполнения рассматриваемых видов работ на производственно-технической базе транспортного предприятия.

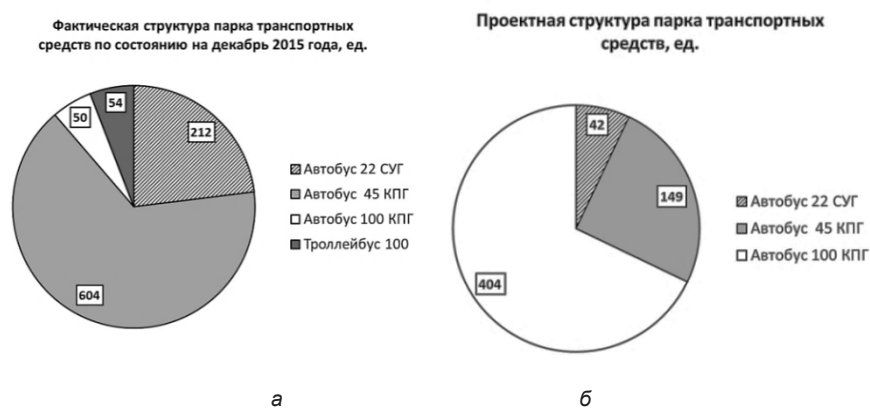


Рисунок 6 – Результаты оптимизации структурных параметров парка транспортных средств городского пассажирского транспортного комплекса г. Оренбурга:
а – фактическая структура парка транспортных средств;
б – проектная структура парка транспортных средств
Источник: составлено автором.

Figure 6– Results of structural parameters optimization for the fleet of vehicles of the urban passenger transport complex in the city of Orenburg
a – the actual structure of the fleet of vehicles;
b – design structure of the vehicle fleet
Source: compiled by the author.

Полученные данные позволили реализовать результаты представленных научных исследований в отношении городского пассажирского транспортного комплекса г. Оренбурга. Определены оптимизированные структурные параметры парка транспортных средств; параметры инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения; параметры производственно-технической базы, включающей производственно-техническую базу транспортных и сервисных предприятий, структурированную с учётом целесообразного распределения различных видов работ.

Рекомендуемые изменения структурных параметров парка транспортных средств представлены на рисунке 6. Определена структура потребления энергоресурсов проектным парком транспортных средств. Выполнено пошаговое моделирование, позволившее определить необходимое количество заправочных станций и точек обслуживания. Полученные результаты приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1
Структура потребления энергоресурсов
Источник: составлено автором.

Table 1
Energy consumption structure
Source: compiled by the author.

Показатель	Потребители энергоресурсов			Итого
	Автобус 22 СУГ	Автобус 45 КПГ	Автобус 100 КПГ	
Численность ТС, ед.	42	149	404	595
Общий годовой пробег, км	2 948 616	7 148 160	18 763 920	28 860 696
Удельные затраты на топливо, руб./км	5,27	6,68	10,28	
Общие затраты на топливо, руб.	15 539 206	47 749 709	192 893 098	256 182 013
Стоимость единицы топлива, руб.	28,40	19,40	19,40	
Объём потребляемого топлива СУГ, (л)	547 155	-	-	547 155
Объём потребляемого топлива КПГ, м³	-	2 461 325	9 942 943	12 404 268

Таблица 2

Результаты моделирования количества заправочных станций и точек обслуживания

Источник: составлено автором.

Table 2

The number of gas stations and service points modelling results

Source: compiled by the author.

Количество точек обслуживания (е)	1	2	3	4	5	6	7	8
Эксплуатационные затраты СУГ, тыс. руб.	15737	15772	15808	15844	15880	15916	15952	15988
Эксплуатационные затраты КППГ, тыс. руб.	54000	54016	54033	54050	54067	54084	54100	54118
Разница между розничной и оптовой ценой СУГ, руб.	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
Разница между розничной и оптовой ценой КППГ, руб.	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Минимально-допустимый объём реализуемого энергоносителя СУГ, тыс.л.	1 021	1 024	1 027	1 029	1 032	1 035	1 038	1 040
Минимально-допустимый объём реализуемого энергоносителя КППГ, тыс.м³.	11318	11321	11325	11329	11333	11337	11341	11344
Необходимое количество заправочных станций (КППГ), ед.	6,6	3,3	2,2	1,6	1,3	1,1	0,9	0,8

Исходя из численности парка транспортных средств и его распределения по предприятиям, определены структурные параметры производственно-технической базы транспортных и сервисных предприятий.

Таким образом, решены оптимизационные задачи, включающие в себя:

- определение оптимальной пассажироместимости и численности транспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городского пассажирского транспорта;

- определение оптимального вида энергоносителя и соответствующей данному энергоносителю технологии топливно-энергетического обеспечения системы городского пассажирского транспорта;
- определение оптимальных параметров инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения городского пассажирского транспорта;

Таблица 3

Технико-экономические показатели внедрения результатов исследования

Источник: составлено автором.

Table 3

Technical and economic indicators of the research results implementation

Source: compiled by the author.

Показатель	До	После
Количество обслуживаемых маршрутов, ед.	46	
Годовой объём перевозок, пасс.	103 871 100	
Численность ТС, ед.	920	595
Общий годовой пробег, тыс. км	52 587	28 861
Суммарные затраты с учётом экологического ущерба, тыс. руб.	2 934 175	2 563 323
Удельные затраты на 1 км пробега, руб./км	55,8	88,8
Обобщённый показатель эффективности транспортного процесса, руб./чел.	28,25	24,68
Общий годовой экономический эффект, тыс. руб.	370 820	

- определение оптимальных структурных параметров производственно-технической базы, обеспечивающей поддержание эксплуатируемых транспортных средств в исправном состоянии.

Достижение цели исследования проиллюстрировано на основе результатов выполненного экономического расчёта (таблица 3).

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сделано заключение о достижении цели исследования, исходя из результатов решения поставленных задач:

- на основе результатов анализа принципов функционирования транспортных систем сформулирована концепция структурного построения системы городского пассажирского наземного транспорта, предполагающая оценку её эффективности комплексным показателем, включающим технико-эксплуатационные и экологические характеристики, позволяющая обеспечить взаимную согласованность состояния подсистем, составляющих материальную базу системы;

- для обеспечения практической реализации предложенного концептуального подхода разработана математическая модель формирования комплексного показателя эффективности функционирования системы городского пассажирского транспорта. Процесс моделирования послужил основой для формирования методологии определения оптимальных, взаимно согласованных структурных параметров подсистем городского пассажирского транспорта;

- разработан алгоритм решения оптимизационной задачи определения структурных параметров подсистем городского пассажирского транспортного комплекса, обеспечивающих максимальное значение комплексного показателя эффективности его функционирования. Практическое применение разработанной методологии в отношении системы городского пассажирского транспорта г. Оренбурга позволило разработать мероприятия по реструктуризации парка транспортных средств и производственно-технической базы, составляющих материальную основу системы. Практическая реализация разработанных мероприятий обеспечила снижение эксплуатационных затрат на 10–12% при одновременном снижении объёма совокупных токсичных выбросов на 28–30%, что свидетельствует о достижении цели исследования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вельможин А. В. Эффективность городского пассажирского общественного транспорта: монография / А. В. Вельможин [и др.]; ВолгГТУ. Волгоград, 2002. 256 с.
2. Володькин П. П., Дьячкова О. М., Рыжова А. С. Определение необходимого количества автобусов на маршрутах, исходя из интервала движения, на примере г. Хабаровска // Транспорт: наука, техника, управление. 2015. № 3. С. 28–32.
3. Дацюк А. М., Горев А. Э. Управление комплексом наземного пассажирского транспорта Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. 2004. № 1. С. 157–161.
4. Курганов В.М. Организация управления автомобильным транспортом: монография / В.М. Курганов [и др.] // Владивосток: Дальнаука, 2011. 400 с.
5. Спирин И. В. Инвестиционные аспекты развития парка подвижного состава // Вестник университета (Гос. университет управления), Серия «Развитие отраслевого и регионального управления». 2007. № 1(1). С. 121–131.
6. Фадеев А. И., Фомин Е. В. Методика решения задачи определения оптимальной структуры парка подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. № 1. С. 218–227.
7. Якунина Н. В. Совершенствование методологии определения структуры подвижного состава городского пассажирского автомобильного транспорта // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 10. С. 13–19.
8. Иванов М. В. Транспортная система и транспортная инфраструктура: взаимосвязь и факторы развития // Экономика и предпринимательство. 2015. № 12-2 (65). С. 418–422.
9. Кудрявцев А. М., Тарасенко А. А. Методический подход к оценке развития транспортной инфраструктуры региона // Фундаментальные исследования. 2014. № 6-4. С. 789–793.
10. Бондаренко Е. В., Шайлин Р. Т., Филипов А. А., Сологуб В. А. Формирование газозаправочной инфраструктуры, адаптированной к параметрам работы пассажирского маршрутного транспорта // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 1-4 (55). С. 25–29.
11. Воробьев С. А. Перспективы развития автомобильного транспорта на альтернативной энергетике: монография. СПб.: Наукоемкие технологии, 2023. 122 с.
12. Тищенко А. С., Дрючин Д. А., Филипов А. А., Шайлин Р. Т. Повышение эффективности функционирования автотранспортного комплекса региона на основе применения альтернативных схем топливно-энергетического обеспечения // Газовая промышленность. 2020. № 1 (795). С. 74–80.
13. Farzaneh-Gord M., Niazmand A., Deymi-Dashtebayaz M., Rahbari H. R. Effects of natural

gas compositions on CNG (compressed naturalgas) reciprocating compressors performance // *Energy*. 2015. Vol. 90 (Part 1), pp. 1152–1162.

14. Baratta M., D'Ambrosio S., Iemmolo D., Misul D. Method for the recognition of the fuel composition in CNG engines fed with natural gas/biofuel/hydrogen blends // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2017. Vol. 40, pp. 312–326.

15. Suleimanov I. F., Moskova E. V., Bondarenko E. V., Shajlin R. T., Filippov A. A. Improvement of system of providing with gas motor fuel // *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2018. Vol. 10. № 13. Special Issue, pp. 564–568.

16. Saadat-Targhi M., Khadem J., Farzaneh-Gord M. Thermodynamic analysis of a CNG refueling station considering the reciprocating compressor // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2016. Vol. 29, pp. 453–461.

17. Ghedan S. G. Aljawad M. S., Poettmann F. H. Compressibility of natural gases // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 1993. Vol. 10. № 2, pp. 157–162.

18. Зенченко В. А., Васильев В. А., Ермилов Д. С. Организация централизованного ТО и ремонта автобусов // *Автотранспортное предприятие*. 2007. № 9. С. 35–40.

19. Ляпин Н. А., Смоляев М. М. Методологические основы реструктуризации автотранспортных комплексов в условиях рыночной экономики: монография // НПСТ «Трансконсалтинг». М.: НПСТ «Трансконсалтинг», 2005. 59 с.

20. Шахалевич Г. А., Якунин Н. Н., Дрючин Д. А. Проектирование АТП с учётом технико-экономических показателей работы производственных подразделений // *Грузовое и пассажирское автохозяйство*. 2011. № 7. С. 56–61.

REFERENCES

1. Vel'mozhin A. V. Efficiency of urban passenger public transport: monograph. VolgGTU. Volgograd: VolgGTU, 2002: 256. (in Russ.)

2. Volod'kin P. P., D'yachkova O. M., Ryzhova A. S. Determining the required number of buses on the routes based on the interval of movement, for example, Khabarovsk. *Transport: nauka, tehnika, upravlenie*. 2015; 3: 28–32. (in Russ.)

3. Dacjuk A. M., Gorev A. Je. Land passenger transport system management in st.-petersburg. *Bulletin of civil engineers*. 2004; 1:157–161. (in Russ.)

4. Kurganov V.M. Organization of road transport management: monograp]. Vladivostok: Dal'nauka, 2011: 400. (in Russ.)

5. Spirin I. V. Investment aspects of the development of the rolling stock fleet. *Vestnik universiteta (Gos. universitet upravleniya), Seriya «Razvitie otraslevo-go i regional'nogo upravleniya»*. 2007; 1(1):121–131. (in Russ.)

6. Fadeev A. I., Fomin E. V. Methodology for solving the problem of determining the optimal struc-

ture of the fleet of rolling stock of public urban passenger transport. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2018; 1: 218–227. (in Russ.)

7. Yakunina N. V. Improvement of the methodology for determining the structure of the rolling stock of urban passenger road transport. *Vestnik Orenburg State University*. 2011; 10: 13–19. (in Russ.)

8. Ivanov M. V. Ransport system and transport infrastructure: the relationship and factors of development. *Journal of Economy and entrepreneurship*. 2015; 12-2 (65): 418–422. (in Russ.)

9. Kudryavtsev A.M., Tarasenko A. A. Methodical approach to an estimation of development of the transport infrastructure of the region. *Fundamental research*. 2014; 6-4: 789–793. (in Russ.)

10. Bondarenko E. V., Shaylin R. T., Filippov A. A., Sologub V. A. Formation of gas station infrastructure adated to parametres of passengers' routes transport. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2017; 1-4 (55): 25–29. (in Russ.)

11. Vorobyov S. A. Prospects for the development of motor transport on alternative energy. Monograph. St. Petersburg: Science-intensive technologies, 2023:122. (in Russ.)

12. Tishchenko A. S., Dryuchin D. A., Filippov A. A., Shaylin R. T. Improving the efficiency of the functioning of the motor transport complex of the region based on the use of alternative fuel and energy supply schemes. *Gas industry*. 2020; 1 (795): 74–80.

13. Farzaneh-Gord M., Niazmand A., Deymi-Dashtebayaz M., Rahbari H. R. Effects of natural gas compositions on CNG (compressed naturalgas) reciprocating compressors performance. *Energy*. 2015; Vol. 90 (Part 1): 1152–1162.

14. Baratta M., D'Ambrosio S., Iemmolo D., Misul D. Method for the recognition of the fuel composition in CNG engines fed with natural gas/biofuel/hydrogen blends. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2017; Vol. 40: 312–326.

15. Suleimanov I. F., Moskova E. V., Bondarenko E. V., Shajlin R. T., Filippov A. A. Improvement of system of providing with gas motor fuel. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2018; Vol. 10. № 13. Special Issue: 564–568.

16. Saadat-Targhi M., Khadem J., Farzaneh-Gord M. Thermodynamic analysis of a CNG refueling station considering the reciprocating compressor. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2016; Vol. 29: 453–461.

17. Ghedan S. G. Aljawad M. S., Poettmann F. H. Compressibility of natural gases. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 1993; Vol. 10. No. 2: 157–162.

18. Zenchenko V. A., Vasiliev V. A., Ermilov D. S. Organization of centralized maintenance and repair of buses. *Avtotransportnoe predpriyatje*. 2007; 9: 35–40. (in Russ.)

19. Lyapin N. A., Smolyaev M. M. Methodological foundations of the restructuring of motor transport complexes in a market economy: monograp]. NPST "Trans-

consulting". Moscow: NPST "Transconsulting", 2005: 59. (in Russ.)

20. Shakhalevich G. A., Yakunin N. N., Dryuchin D. A. Designing an ATP taking into account the technical and economic indicators of the work of production units. *Gruzovoe i passazhirskoe avtohozhajstvo*. 2011; 7: 56-61. (in Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Дрючин Дмитрий Алексеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, Оренбургского государ-

ственного университета (460018, г. Оренбург, просп. Победы, 13, корп. 3), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1311-6462>, SPIN-код: 5075-0710, e-mail: dmi-dryuchin@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Dmitry A. Dryuchin – Cand. of Sci., Associate Professor departments of technical operation and repair of cars, Orenburg State University (13 Pobedy Ave., bldg. 3, Orenburg, 460018), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1311-6462>, SPIN-код: 5075-0710, e-mail: dmi-dryuchin@yandex.ru