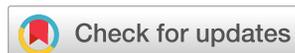


Научная статья
УДК 665.73 (076.5)
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-6-718-727>
EDN: VAEMSJ



ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ГОРОДСКОГО НАЗЕМНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

Д.А. Дрючин

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
г. Оренбург, Россия
dmi-dryuchin@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1311-6462>

АННОТАЦИЯ

Введение. Обозначено влияние городского пассажирского транспорта на формирование комфортной городской среды. Определена роль и место инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения как одной из подсистем в системе городского наземного пассажирского транспорта. Представлены результаты обзора научных работ в области проектирования инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения. Отмечена недостаточная степень разработки методического обеспечения, формирующего интегрированное развитие подсистем городского пассажирского транспорта. Сформулирована цель исследования, определены задачи, решение которых обеспечивает её достижение.

Материалы и методы. Представлено краткое описание методики определения основных технологических параметров инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения системы городского наземного пассажирского транспорта. Определена последовательность применения представленных расчётных формул, описана основная гипотеза, положенная в основу проводимого исследования. Дано описание ожидаемых результатов.

Результаты. В качестве промежуточных результатов проводимого исследования приведены данные и функциональные зависимости, полученные в процессе выполнения исследовательской части работы. Указанные данные обеспечивают практическую реализацию разработанной методики и позволяют провести моделирование параметров проектируемой инфраструктуры. Приведены зависимости, полученные в результате моделирования и являющиеся основой для разработки оптимизационных мероприятий.

Обсуждение. Отмечено, что логистический подход, реализуемый при разработке представленных методов, позволяет определить проектные параметры инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения как одной из подсистем городского пассажирского транспорта, что обеспечивает согласованное развитие системы, исходя из условия достижения максимальной эффективности.

Заключение. В качестве обобщающего вывода отмечено, что практическая реализация разработанной методики в рамках комплексного системного подхода позволяет обеспечить достижение поставленной цели – повышение эффективности системы городского наземного пассажирского транспорта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пассажирский транспорт, топливно-энергетическое обеспечение, инфраструктура, заправочные станции, альтернативная транспортная энергетика

БЛАГОДАРНОСТИ: автор статьи выражает благодарность сотрудникам транспортного факультета ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», научному консультанту д-ру техн. наук, проф. Н. Н. Якунину, анонимным рецензентам за их помощь, советы, рекомендации, ценные замечания и критику.

Статья поступила в редакцию 06.10.2023; одобрена после рецензирования 01.11.2023; принята к публикации 20.12.2023.

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. Оптимизация инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения системы городского наземного пассажирского транспорта // Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20, № 6 (94). С. 718-727. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-6-718-727>

© Дрючин Д.А., 2023



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-6-718-727>
EDN: VAEMSJ

OPTIMIZATION OF FUEL AND ENERGY INFRASTRUCTURE FOR URBAN GROUND PASSENGER TRANSPORT SYSTEM

Dmitry A. Dryuchin
Orenburg State University,
Orenburg, Russia

dmi-dryuchin@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1311-6462>

ABSTRACT

Introduction. The influence of urban passenger transport on the formation of a comfortable urban environment is indicated. The role and place of the fuel and energy supply infrastructure as one of the subsystems in the urban ground passenger transport system is determined. The results of the review of scientific works in the field of designing the infrastructure of fuel and energy supply are presented. The insufficient degree of development of methodological support forming the integrated development of subsystems of urban passenger transport is noted. The purpose of the study is formulated, the tasks are defined, the solution of which ensures its achievement.

Materials and methods. A brief description of the methodology for determining the main technological parameters of the fuel and energy infrastructure of the urban ground passenger transport system is presented. The sequence of use of the presented calculation formulas is determined, the main hypothesis underlying the research is described. The expected results are described.

Results. As intermediate results of the conducted research, the data and functional dependencies obtained in the process of performing the research part of the work are presented. These data provide practical implementation of the developed methodology and allow modeling of the parameters of the projected infrastructure. The dependencies obtained as a result of modeling and which are the basis for the development of optimization measures are given.

Discussion. It is noted that the logistics approach implemented in the development of the presented methods allows us to determine the design parameters of the fuel and energy infrastructure as one of the subsystems of urban passenger transport, which ensures the coordinated development of the system based on the conditions for achieving maximum efficiency.

Conclusion. As a generalizing conclusion, it is noted that the practical implementation of the developed methodology within the framework of an integrated system approach makes it possible to achieve the set goal – to increase the efficiency of the urban ground passenger transport system.

KEYWORDS: Passenger transport, fuel and energy supply, infrastructure, gas stations, alternative transport energy

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, anonymous reviewers for their help, advice, recommendations, valuable comments and criticism.

The article was submitted 06.10.2023; approved after reviewing 01.11.2023; accepted for publication 20.12.2023.

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. Optimization of fuel and energy infrastructure for urban ground passenger transport system. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20 (6): 718-727. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-6-718-727>

© Dryuchin D. A., 2023



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

ВВЕДЕНИЕ

Комфортная городская среда современных муниципальных образований формируется множеством факторов, одним из которых является способность городской транспортной системы удовлетворять транспортные потребности населения. Эффективность системы городского пассажирского транспорта определяется состоянием и взаимной согласованностью подсистем, входящих в её состав. Ключевыми подсистемами, составляющими материальную основу транспортной системы, являются: подвижной состав; производственно-техническая база транспортных и сервисных предприятий; инфраструктура топливно-энергетического обеспечения. Наличие логистической взаимосвязи между конструктивно-технологическими особенностями эксплуатируемых транспортных средств, их численностью и состоянием инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения формирует одно из условий, обеспечивающих максимальную эффективность транспортного процесса. Исходя из наличия объективной потребности в создании условий, обеспечивающих согласованное развитие ключевых подсистем системы городского пассажирского транспорта, актуальной является задача разработки методики определения оптимальных параметров инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения.

Вопросы формирования инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения, обеспечивающей эффективное развитие транспортных систем и региональной экономики, рассмотрены в трудах Ю.Н. Гольской, М.В. Иванова, А.М. Кудрявцева, А.А. Тарасенко, О.Н. Ларина и других авторов [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Данные работы посвящены формированию параметров транспортно-энергетической инфраструктуры, исходя из уровня развития производства и социальной сферы. Региональный транспорт рассмотрен в качестве одной из системообразующих отраслей, создающей условия экономического роста.

Процессы и факторы, определяющие формирование инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения транспортных систем, рассмотрены в работах Е.В. Бондаренко, А.А. Вельниковского, С.А. Воробьёва, А.А. Евстифеева, С.А. Евтюкова, С.В. Люгай, М.А. Овсянникова, А.С. Тищенко, А.А. Филиппова, Р.Т. Шайлина и других авторов [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25]. Содержание работ данных авторов позволило сформулировать требования к ин-

фраструктуре топливно-энергетического обеспечения. Решение поставленной задачи обеспечено на основе практического применения разработанных математических моделей, описывающих влияние параметров инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения на показатели функционирования транспортной системы.

Анализ содержания рассмотренных научных работ позволил выявить недостаточность методического обеспечения процессов согласованного формирования структурных частей системы городского наземного пассажирского транспорта. Большинство исследователей отмечена высокая сложность инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения для частных инвесторов. Это обусловлено высокой капиталоемкостью; наличием комплекса ограничений; длительными сроками окупаемости; высокой зависимостью от поставщиков энергоносителей. Одним из направлений решения обозначенных проблем является применение комплексного подхода, обеспечивающего согласованное формирование инфраструктуры городского наземного пассажирского транспорта. Реализация обозначенного подхода требует разработки соответствующего методического обеспечения.

Исходя из обозначенных проблем, сформулирована цель исследования: повышение эффективности работы системы городского наземного пассажирского транспорта на основе согласованного формирования парка эксплуатируемых транспортных средств и инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения.

Для достижения поставленной цели необходимо решение ряда задач:

- провести литературный обзор в области, определяемой тематикой исследования;
- разработать методику согласованного формирования парка транспортных средств системы городского наземного пассажирского транспорта и инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения;
- сформировать массив данных, необходимых для практической реализации разработанных методов;
- провести проверочный расчёт, подтверждающий работоспособность разработанных методов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Первоначальным этапом определения оптимальной структуры системы городского наземного пассажирского транспорта является

оптимизация структуры парка транспортных средств. Оптимизация производится исходя из параметров маршрутной сети, объемов перевозок и их распределения по временным интервалам и участкам маршрутов. Решения данной оптимизационной задачи выходит за рамки представленной публикации. Подвижной состав является ключевым потребителем реализуемых энергоресурсов, а его структурные параметры используются в качестве исходной информации при определении оптимальных параметров инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения.

Производительность заправочной (зарядной) станции может быть измерена двумя параметрами: объемом реализуемого за заданный период времени энергоносителя; количеством заправок (обслуживаний транспортных средств), произведенных за тот же период. Годовое количество производимых заправок, может быть определено по формуле

$$\Pi_{АЗС1}^{MAX} = \frac{ДР_{ГОД} \cdot T_{СУТ} \cdot e}{(t_1 + t_{ПЗ1}) \cdot k_{НС}}, \quad (1)$$

где $ДР_{ГОД}$ – количество рабочих дней в году, ед.;

$T_{СУТ}$ – суточная продолжительность работы заправочной станции, ч;

e – количество точек обслуживания на заправочном пункте, ед.;

$k_{НС}$ – коэффициент неравномерности поступления транспортных средств в течение суток, ед.;

t_1 – средняя продолжительность одной заправки (зарядки), ч;

$t_{ПЗ1}$ – подготовительно-заключительное время одной заправки, ч.

Максимально-возможный объем энергоносителя, реализуемого одной заправочной (зарядной) станцией, может быть рассчитан по формуле

$$V_{АЗС1}^{MAX} = \Pi_{АЗС}^{MAX} \cdot \bar{V}_1 = \frac{ДР_{ГОД} \cdot T_{СУТ} \cdot e \cdot \sum_{j=1}^m (V_{1j} \cdot N_{Aj})}{(t_1 + t_{ПЗ1}) \cdot k_{НС} \cdot N_A}, \quad (2)$$

где \bar{V}_1 – средний объем энергоносителя, реализуемого за одну заправку, ед.;

$$n_{АЗС} \geq \frac{N_A \cdot k_{НС} \cdot k \cdot \left(v \cdot \frac{1}{N_A} \cdot \sum_{j=1}^m (V_{1j} \cdot N_{Aj}) + t_{ПЗ1} \right) \cdot \sum_{j=1}^m \left(0,01 \cdot \sum_{i=1}^n \left(r_{ij} \cdot S_{Обi} \cdot \frac{1}{\beta_i} \right) \cdot H_{Бj} \right)}{ДР_{ГОД} \cdot T_{СУТ} \cdot e \cdot \sum_{j=1}^m (V_{1j} \cdot N_{Aj})}, \quad (5)$$

V_{1j} – заправляемый объем транспортного средства j-й категории, ед.;

N_{Aj} – количество пассажирских транспортных средств j-й категории, ед.;

N_A – общее количество транспортных средств – потребителей энергоносителя, ед.

Количество заправок, необходимое для бесперебойного обеспечения работы системы городского наземного пассажирского транспорта:

$$\Pi_{АЗС}^{\Phi АКТ} = \sum_{j=1}^m \left(\frac{0,01 \cdot \sum_{i=1}^n (N_{Aji} \cdot r_{ij} \cdot S_{Обi} + S_{0i}) \cdot H_{Бj} \cdot k}{V_{1j}} \right), \quad (3)$$

где N_{Aji} – количество транспортных средств j-й категории, обслуживающих i-й маршрут, ед.;

r_{ij} – среднее количество оборотных рейсов, совершаемых транспортными средствами j-й категории, обслуживающих i-й маршрут, ед.;

$S_{Обi}$ – длина оборотного рейса i-го маршрута, км;

S_{0i} – общий нулевой пробег, совершаемый транспортными средствами, обслуживающими i-й маршрут, км;

$H_{Бj}$ – базовая норма расхода топлива транспортных средств j-й категории, ед./км.;

k – поправочный коэффициент к базовой норме расхода топлива, учитывающий условия эксплуатации;

V_{1j} – заправляемый объем транспортного средства j-й категории, ед.

Необходимая численность заправочных (зарядных) станций определяется условиями:

$$\begin{cases} n_{АЗС, V} \geq \frac{V_{Факт}}{V_{АЗС}^{MAX}} \\ n_{АЗС, \Pi} \geq \frac{\Pi_{АЗС}^{\Phi АКТ}}{\Pi_{АЗС}^{MAX}} \end{cases}. \quad (4)$$

Преобразованием представленных выражений получено выражение, являющееся основой для расчёта параметров инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения:

Установлено, что производительность заправочной станции определяется двумя её параметрами: количеством заправочных постов и средней скоростью заправки (v). Исходя из выражения (5), можно сделать вывод о том, что неограниченный объём энергоносителя при неограниченном количестве заправляемых транспортных средств может быть реализован одной заправочной станцией при отсутствии ограничений на количество заправочных постов.

С учётом срока окупаемости инвестиций расчёт минимально-допустимого объёма реализуемого энергоносителя может быть произведён по формуле

$$V_{MIN}^{ГОД} = \frac{K}{\Delta C \cdot [T_{OK}] \cdot (1 - 0,01 \cdot H_{П})} + \frac{3_{Э}}{\Delta C}, \quad (6)$$

где ΔC – разница между закупочной и розничной ценой энергоносителя, руб.;
 $[T_{OK}]$ – принятый допустимый срок окупаемости инвестиций, лет;
 $H_{П}$ – ставка налога на прибыль, %.

Исходя из вышеизложенного, выдвинута гипотеза о том, что объём энергоносителя, необходимый для обеспечения работы совокупности ключевых потребителей, может быть реализован через сеть заправочных станций, численность которых (Y) находится в интервале от 1 до Y_{MAX} . Величина Y_{MAX} определяется по формуле

$$Y_{MAX} = \frac{V_{ФАКТ}^{ГОД}}{V_{MIN}^{ГОД}}, \quad (7)$$

где $V_{ФАКТ}^{ГОД}$ – объём энергоносителя, необходимый на совершение транспортной работы, ед.;
 $V_{MIN}^{ГОД}$ – объём энергоносителя, определяющий целесообразность строительства заправочной (зарядной) станции, ед.

Очевидно, что затраты на формирование инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения и затраты на её эксплуатацию возрастают с увеличением количества заправочных (зарядных) станций. Но увеличение численности заправочных станций способствует сокращению нулевых пробегов и увеличению полезного использования сменного времени.

Системный подход, реализуемый в рамках проводимого исследования, предполагает комплексную оценку эффективности системы городского наземного пассажирского транспорта, включающий в свой состав совокупность транспортных средств, инфраструктуру топливно-энергетического обеспечения, производственно-техническую базу и другие

составляющие, рассматриваемые в качестве подсистем первого уровня. В рамках системного подхода, в качестве минимизируемого показателя, использована сумма эксплуатационных затрат на содержание инфраструктуры и эксплуатационных затрат на перевозку пассажиров. Минимальное значение зависимости суммарных затрат от количества заправочных (зарядных) станций соответствует их оптимальной численности. Предложенная процедура проиллюстрирована при помощи графиков, представленных на рисунке 1.

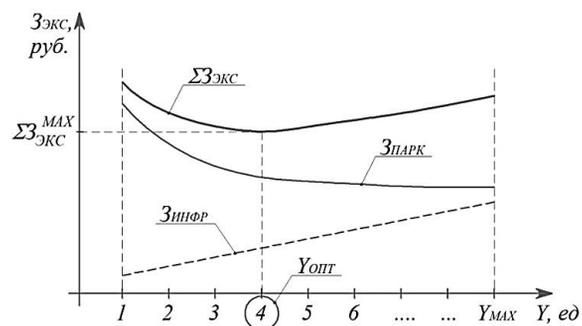


Рисунок 1 – Суммарные затраты, определяющие количество заправочных станций:
 $Z_{ИНФР}$ – затраты на эксплуатацию инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения;
 $Z_{ПАРК}$ – общие затраты на эксплуатацию парка транспортных средств;
 $\Sigma Z_{ЭКС}$ – суммарные эксплуатационные затраты;
 $\Sigma Z_{ЭКС}^{MIN}$ – минимальное значение суммарных эксплуатационных затрат;
 $Y_{ОПТ}$ – оптимальное количество заправочных (зарядных) станций
 Источник: составлено автором.

Figure 1 – Total costs determining the number of filling (charging) stations
 $Z_{ИНФР}$ – costs for the operation of fuel and energy infrastructure;
 $Z_{ПАРК}$ – the total cost of operating a fleet of vehicles;
 $\Sigma Z_{ЭКС}$ – total operating costs;
 $\Sigma Z_{ЭКС}^{MIN}$ – minimum value of total operating costs;
 $Y_{ОПТ}$ – the optimal number of filling (charging) stations.
 Source: compiled by the author.

Численность транспортных средств, формирующая потребление энергоносителя в объёме, определённом при помощи формулы (6), может быть составлена из выражения

$$N_{Aj}^{MIN} = \frac{K + 3_{Э} \cdot (1 - 0,01 \cdot H_{П})}{0,01 \cdot \Delta C \cdot S_{ГОД1} \cdot H_{Бj} \cdot k \cdot [T_{OK}] \cdot (1 - 0,01 \cdot H_{П})}. \quad (8)$$

Годовое количество заправочных операций, обеспечивающих эксплуатацию транспортных средств, численность которых определена формулой (8), вычисляется при помощи выражения

$$P_{MIN}^{ГОД} = \frac{K + 3_{\Sigma} \cdot \Delta C \cdot [T_{OK}] \cdot (1 - 0,01 \cdot H_{П})}{\Delta C \cdot [T_{OK}] \cdot (1 - 0,01 \cdot H_{П}) \cdot \bar{V}_1}, \quad (9)$$

где \bar{V}_1 – средний объём энергоносителя, реализуемого в результате выполнения одной заправочной операции, ед.

Условие, определяющее возможность производства данного количества заправочных операций описывается неравенством $P_{MIN}^{ГОД} \leq P_{АЗС1}^{MAX}$.

Таким образом, разработаны методические основы, позволяющие вычислить минимально-необходимое количество заправок общего пользования, определяемое структурой парка транспортных средств, эксплуатируемых в рамках системы городского наземного пассажирского транспорта. При наличии других (дополнительных) групп ключевых потребителей количество потребляемого энергоносителя подлежит корректировке с учётом технических характеристик и эксплуатационных параметров транспортных средств данных групп.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для получения информации, необходимой для практического применения разработанной методики, на репрезентативной выборке заправочных (зарядных) станций проведены статистические исследования, по результатам которых получены данные об объёмах инвестиционных вложений, необходимых для строительства станций различного типа. Объём выборки составил 58 заправочных станций общего пользования Оренбургской области и республики Татарстан, ориентированных на обслуживание коммерческого автотранспорта. Исходя из характера решаемых задач, в выборку не включены многотопливные зарядно-заправочные комплексы, заправки самообслуживания, ведомственные заправки и

заправочные станции, ориентированные на обслуживание не коммерческого транспорта.

На основе результатов обработки данных об объёмах инвестиционных вложений получены выражения, определяющие зависимость объёма данных вложений от технологических параметров заправочных (зарядных) станций. Полученные выражения имеют вид:

- жидкое топливо:

$$K = 525 \cdot R + 50 \cdot e + 11112,5;$$

- сжатый природный газ:

$$K = 20 \cdot e + 30682,5;$$

- сжиженный природный газ:

$$K = 2000 \cdot e + 92290;$$

- электроэнергия:

$$K = 2000 \cdot e + 2725,$$

где K – объём инвестиционных вложений, тыс. руб.; R – количество накопителей энергоносителя, ед.; e – количество точек обслуживания, ед.

Количество накопителей энергоносителя (R) в рамках проводимого исследования определяется номенклатурой реализуемых видов топлив. Исходя из этого, для монотопливных заправочных станций, обслуживающих ограниченную группу потребителей, для рассматриваемого диапазона потребляемых объёмов, целесообразное количество накопителей принято равным единице. Скорость заправки при использовании рассматриваемых типов заправочного оборудования принята в качестве постоянной величины, зависящей лишь от вида энергоносителя.

Суммированием математических выражений, используемых при определении численных значений составляющих эксплуатационных затрат на содержание заправочных (зарядных) станций, реализующих различные виды энергоносителей, получены итоговые выражения, позволяющие произвести укрупнённый расчёт объёма эксплуатационных затрат. Данные выражения приведены в таблице.

Таблица
Выражения для укрупнённого расчёта годового объёма эксплуатационных затрат на содержание заправочной (зарядной) станции
Источник: составлено автором.

Table
Expressions for the enlarged calculation of the annual volume of operating costs for the maintenance of a filling (charging) station
Source: compiled by the author.

Вид энергоносителя	Выражение для укрупнённого расчёта годовых эксплуатационных затрат на содержание заправочной (зарядной) станции
Жидкое топливо	$\Sigma ЗЭКС = 161200 \cdot R + 29300 \cdot e + 15,186 \cdot V_{ГОД} + 7086708$
Сжиженный углеводородный газ	$\Sigma ЗЭКС = 173075 \cdot R + 35900 \cdot e + 12,154 \cdot V_{ГОД} + 8688334$
Компримированный природный газ	$\Sigma ЗЭКС = 16780 \cdot e + 3,46 \cdot V_{ГОД} + 11064664$
Электричество	$\Sigma ЗЭКС = 80300 \cdot e + 1,595 \cdot V_{ГОД} + 7448011$

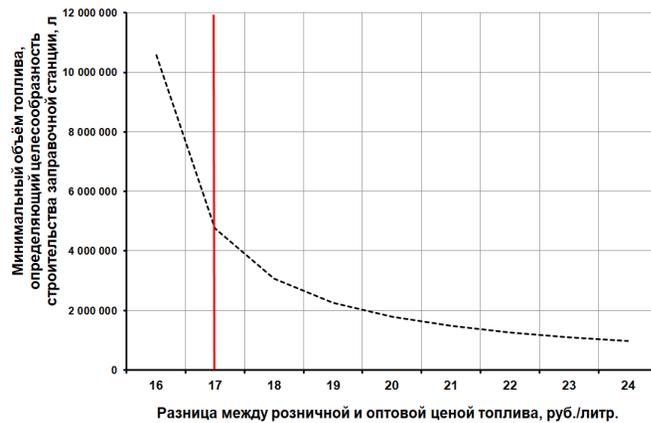


Рисунок 2 – Минимальный объем жидкого топлива, определяющий целесообразность строительства заправочной станции
Источник: составлено автором.

Figure 2 – The minimum volume of liquid fuel that determines the feasibility of a gas station construction
Source: compiled by the author.

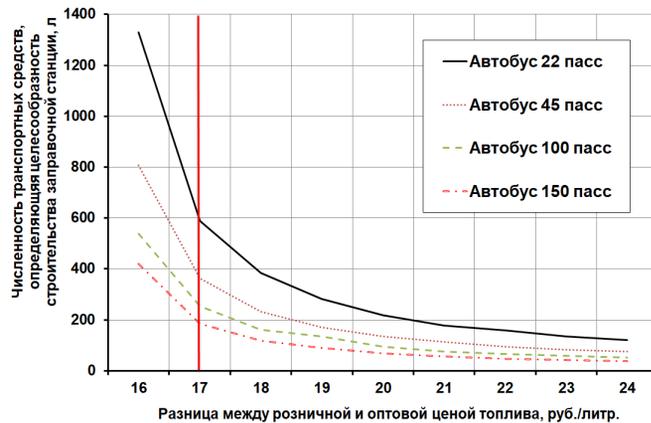


Рисунок 3 – Минимальная численность транспортных средств, определяющая заданный уровень энергопотребления
Источник: составлено автором.

Figure 3 – The minimum number of vehicles determining a given level of energy consumption
Source: compiled by the author.

При помощи разработанной методики произведено математическое моделирование условий, определяющих согласованное формирование инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения как подсистемы первого уровня системы городского пассажирского наземного транспорта. На рисунке 1 в качестве примера приведён один из полученных графиков. График иллюстрирует зависимость минимального объёма энергоносителя (жидкого топлива), определяющий целесообразность строительства заправочной станции от разницы между оптовой и розничной ценой топлива. На рисунке 2 представлены значения минимальной численности средств различной пассажироместимости, формирующие объём

потребления, определяющий целесообразность строительства заправочной станции, от разницы между оптовой и розничной стоимостью топлива.

На рисунках 2, 3 показана фактическая средняя разница между оптовой и розничной ценой на жидкое топливо в Оренбургской области по состоянию на июнь 2023 г. (с учётом акцизного сбора). Исходя из установленного соотношения цен установлена минимальная численность транспортных средств различной пассажироместимости, которая составляет: 590 ед. пассажироместимостью 22 чел.; 370 ед. пассажироместимостью 45 чел.; 260 ед. пассажироместимостью 100 чел.; 190 ед. пассажироместимостью 150 ед.

Таким образом, получены данные, составляющие основу для реализации комплексного подхода при проектировании подсистем, входящих в состав системы городского наземного пассажирского транспорта.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Городской пассажирский транспорт является одной из важнейших систем, определяющих комфортность городской среды и качество жизни городского населения. Одной из ключевых подсистем первого уровня, входящей в систему городского наземного пассажирского транспорта и во многом определяющий эффективность транспортного процесса, является инфраструктура топливно-энергетического обеспечения. Выдвинутая на начальном этапе исследования гипотеза о целесообразности применения логистического подхода при формировании указанной инфраструктуры нашла своё подтверждение в ходе выполнения литературного обзора и основе анализа результатов выполненной научной работы. В ходе изучения известных научных работ выявлена недостаточная проработанность методов реализации системного подхода при формировании подсистем, входящих в состав системы городского наземного пассажирского транспорта.

Разработанная и представленная методика позволяет реализовать логистический подход при определении проектных параметров инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения. Практическая реализация разработанной методики позволяет обеспечить достижение поставленной цели – повышение эффективности системы городского наземного пассажирского транспорта.

В ходе выполнения экспериментально-исследовательской части работы получены данные, необходимые для практического применения данной методики. В заключительной части исследования проведено моделирование потребления энергоресурсов различными категориями транспортных средств, определены зависимости, формирующие проектные параметры инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения.

Очевидным направлением дальнейших исследований является разработка методов определения оптимальной структуры всей совокупности подсистем городского наземного пассажирского транспорта и алгоритма выполнения оптимизационного расчёта, позволяющего обеспечить согласованное формирование рассматриваемых ключевых подсистем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гольская Ю. Н. Понятие транспортной инфраструктуры и оценка ее влияния на региональную экономику // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы второй межвузовской научно-практической конференции: в 6 т. Иркутск: ИрГУПС, 2011. С. 157–162.
2. Иванов М. В. Транспортная обеспеченность и экономическое развитие регионов (на примере регионов Поволжья) // Вестник Самарского государственного университета путей сообщения. 2014. № 2 (24). С. 125–131.
3. Иванов М. В. Транспортная система и транспортная инфраструктура: взаимосвязь и факторы развития // Экономика и предпринимательство. 2015. № 12-2 (65). С. 418–422.
4. Кудрявцев А. М. Особенности функционирования автотранспортной инфраструктуры Российской Федерации // Академический журнал Западной Сибири. 2015. Т. 11, № 1. С. 118–119.
5. Кудрявцев А. М., Тарасенко А. А. Методический подход к оценке развития транспортной инфраструктуры региона // Фундаментальные исследования. 2014. № 6-4. С. 789–793.
6. Ларин О. Н. Методологические основы организации и функционирования транспортной системы региона: монография. Челябинск: ЮУрГУ, 2007. 207 с.
7. Бондаренко Е. В., Федотов А. М., Шайлин Р. Т. Формирование сети заправочных станций компримированным природным газом // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 10 (171). С. 23–29.
8. Бондаренко Е. В., Шайлин Р. Т., Филиппов 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.
9. Вельниковский А. А. Имитационное моделирование инфраструктуры автомобильных газонаполнительных компрессорных станций Санкт-Петербурга на основе районирования городской территории на кластеры // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 5 (64). С. 137–141.
10. Вельниковский А. А. Концепция инфраструктуры газомоторного парка автомобильного транспорта пути развития // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 6 (47). С. 183–187.
11. Воробьев С. А. Перспективы развития автомобильного транспорта на альтернативной энергетике: монография. СПб.: Научное издание, 2023. 122 с.
12. Евстифеев А. А. Математическая модель определения численности и производительности заправочных колонок на АГНКС // Газовая промышленность. 2015. № 8 (726). С. 95–97.
13. Евстифеев А. А. Методология рационального построения и непрерывного совершенствования региональной сети АГНКС // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 3 (39). С. 53–60.

14. Евтюков С. А., Воробьев С. А., Абызов И. Т. Перспективные пути повышения экологической безопасности автобусного парка страны // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 6 (59). С. 213–215.

15. Люгай С. В., Петряхина В. Б., Гнедова Л. А., Гриценко К. А. О нормировании эксплуатационных затрат на АГНКС // Транспорт на альтернативном топливе. 2010. № 1 (13). С.30–34.

16. Овсянников М. А., Воробьев С. А. Перспектива развития СПГ технологии на автомобильном транспорте в СЗФО. Анализ состояния инфраструктуры, существующих заправок и заводов СПГ // Евразийский научный журнал. 2020. № 2. С. 19–24.

17. Овсянников М. А., Воробьев С. А. Перспектива развития СПГ технологии на автомобильном транспорте в СЗФО. Анализ состояния инфраструктуры, существующих заправок и заводов СПГ // Евразийский научный журнал. 2020. № 2. С. 19–24.

18. Тищенко А. С., Дрючин Д. А., Филиппов 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.

19. Шайлин Р. Т., Филиппов А. А., Арсланов М. А. Структурно-функциональная модель системы «Автобусный парк – газозаправочный комплекс» // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2020. № 1. С. 122–130.

20. Шайлин Р. Т., Филиппов А. А., Сулейманов И. Ф. Определение потребности в совершенствовании сети метановых заправочных станций // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2017. № 11. С. 59–62.

21. 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.

22. 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.

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

24. 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.

25. Suleimanov I. F., Moskova E. V., Bondarenko E. V., Shaylin 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.

REFERENCES

1. Golskaya Yu. N. Ponyatie transportnoj infrastruktury i ocenka ee vliyaniya na regional'nyuy

ekonomiku [Conceito de infraestrutura de transporte e avaliação de seu impacto na economia regional]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona: segunda conferência interuniversitária: em 6 volumes - Irkutsk; IrGUPS, 2011:157-162 p.* (In Russ.)

2. Ivanov M. V. Transportnaya obespechennost' i ekonomicheskoe razvitie regionov (na primere regionov Povolzh'ya) [Segurança de transporte e desenvolvimento econômico das regiões (por exemplo, regiões do Volga)]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya*. 2014; 2 (24): 125-131. (In Russ.)

3. Ivanov M. V. Transportnaya sistema i transportnaya infrastruktura: vzaimosvyaz' i faktory razvitiya [Transport system and transport infrastructure: interrelation and development factors]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2015; 12-2 (65): 418-422. (In Russ.)

4. Kudryavtsev A.M. Osobennosti funkcionirovaniya avtotransportnoj infrastruktury Rossijskoj Federacii [Características do funcionamento da infra-estrutura de transporte rodoviário da Federação Russa]. *Akademicheskij zhurnal Zapadnoj Sibiri*. 2015; 1, Volume 11. 118-119. (In Russ.)

5. Kudryavtsev A.M., Tarasenko A. A. Metodicheskij podhod k ocenke razvitiya transportnoj infrastruktury regiona [Methodological approach to assessing the development of transport infrastructure in the region]. *Fundamentalnye issledovaniya*. 2014; 6-4: 789-793. (In Russ.)

6. Larin O. N. *Metodologicheskie osnovy organizacii i funkcionirovaniya transportnoj sistemy regiona* [Methodological foundations of the organization and functioning of the transport system of the region]: monograph – Chelyabinsk: SUSU Publishing House, 2007: 207. (In Russ.)

7. Bondarenko E. V., Fedotov A.M., Shaylin R. T. Formirovanie seti zapravochnyh stancij komprimirovannym prirodnyim gazom [Formation of a network of gas stations with compressed natural gas]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014; 10 (171): 23-29. (In Russ.)

8. Bondarenko E. V., Shaylin R. T., Filippov A. A., Sologub V. A. Formirovanie gazozapravochnoj infrastruktury, adaptirovannoj k parametram raboty passazhirskogo marshrutnogo transporta [Formation of gas refueling infrastructure adapted to the parameters of passenger route transport]. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2017; 1-4 (55): 25-29. (In Russ.)

9. Velnikovskiy A. A. Imitacionnoe modelirovanie infrastruktury avtomobil'nyh gazonapolnitel'nyh kompressornyh stancij Sankt-Peterburga na osnove rajonirovaniya gorodskoj territorii na klastery [Simulation modeling of the infrastructure of automobile gas-filling compressor stations of St. Petersburg on the basis of zoning of urban territory into clusters]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. 2017; 5 (64): 137-141. (In Russ.)

10. Velnikovskiy, A. A. Konceptsiya infrastruktury gazomotornogo parka avtomobil'nogo transporta. puti razvitiya [Conceito de infra-estrutura de uma frota de veículos movidos a gás. caminhos de desenvolvimento]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. 2014; 6 (47): 183-187. (In Russ.)

11. Vorobyov S. A. *Perspektivy razvitiya avtomobil'nogo transporta na al'ternativnoj energetike* [Prospects for the development of road transport on alternative energy]. Monograph. – St. Petersburg: Naukoemkie tekhnologii, 2023: 122. (In Russ.)

12. Evstifeev A. A. Matematicheskaya model opredeleniya chislennosti i proizvoditel'nosti zapravochnyh kolonok na AGNKS [Mathematical model for determining the number and productivity of filling columns at CNG stations]. *Gazovaya promyshlennost.* 2015; 8 (726): 95-97. (In Russ.)

13. Evstifeev A. A. Metodologiya racional'nogo postroeniya i nepreryvnogo sovershenstvovaniya regional'noj seti AGNKS [Methodology of rational construction and continuous improvement of the regional network of CNG stations]. *Transport na alternativnom toplive.* 2014; 3 (39): 53-60. (In Russ.)

14. Evtuykov S. A., Vorobyov S. A., Abyzov I. T. Perspektivnye puti povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti avtobusnogo parka strany [Promising ways to improve the environmental safety of the country's bus fleet]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov.* 2016; 6 (59): 213-215. (In Russ.)

15. Lyugay, S. V. Petryakhina V. B., Gnedova L. A., Gritsenko K. A. O normirovani ekspluatatsionnyh zatrat na AGNKS [On rationing of operating costs for CNG stations]. *Transport na alternativnom toplive.* 2010; 1 (13): 30-34. (In Russ.)

16. Ovsyannikov M. A., Vorobyov S. A. Perspektiva razvitiya SPG tekhnologii na avtomobil'nom transporte v SZFO. Analiz sostoyaniya infrastruktury, sushchestvuyushchih zapravok i zavodov SPG [Prospects for the development of LNG technology in road transport in the NWFD. Analysis of the state of infrastructure, existing gas stations and LNG plants]. *Evrzyskiy nauchnyy zhurnal.* 2020; 2: 19-24. (In Russ.)

17. Ovsyannikov M. A., Vorobyov S. A. Perspektiva razvitiya SPG tekhnologii na avtomobil'nom transporte v SZFO. Analiz sostoyaniya infrastruktury, sushchestvuyushchih zapravok i zavodov SPG [Prospects for the development of LNG technology in road transport in the Northwestern Federal District. Analysis of the state of infrastructure, existing gas stations and LNG plants]. *Evrzyskiy nauchnyy zhurnal.* 2020; 2: 19-24. (In Russ.)

18. Tishchenko A. S., Dryuchin D. A., Filippov A. A., Shaylin R. T. Povyshenie effektivnosti funkcionirovaniya avtotransportnogo kompleksa regiona na osnove primeneniya al'ternativnyh skhem toplivno-energeticheskogo obespecheniya [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]. *Gazovaya promyshlennost.* 2020; 1 (795): 74-80. (In Russ.)

19. Shaylin R. T., Filippov A. A., Arslanov M. A. Ctrukturno-funkcionalnaya model sistemy «Avtobusnyj park - gazozapravochnyj kompleks» [Structural and functional model of the system «Bus park - gas station complex»]. *Intellekt. Innovacii. Investicii.* 2020; 1: 122-130. (In Russ.)

20. Shaylin R. T., Filippov A. A., Suleymanov I. F. Opredelenie potrebnosti v sovershenstvovanii seti metanovyh zapravochnyh stancij [Determination of the need to improve the network of methane gas stations]. *Intellekt. Innovacii. Investicii.* 2017; 11: 59-62. (In Russ.)

21. 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.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. 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. No. 13. Special Issue: 564–568.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Дрючин Дмитрий Алексеевич – канд. техн. наук, доц., ORCID I 0000-0002-1311-6462; SPIN-код: 5075-0710.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Dmitry A. Dryuchin – Cand. of Sci., Associate Professor, SPIN-код: 5075-0710.