ISSN 3034-6681

АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА»

ВЕСТНИК ДОНЕЦКОЙ АКАДЕМИИ ТРАНСПОРТА

№2
2025

Научный журнал

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Наземные транспортно-технологические средства и комплексы

Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

Эксплуатация автомобильного транспорта

Логистические транспортные системы

Выходит 4 раза в год
Издается с января 2004 г.

Майкоп
Донецк
2025

ВЕСТНИК
Донецкой академии транспорта

2025 **Научный журнал**

№2

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор журнала
И.П. Энглези, д-р техн. наук, доц., Донецкая академия транспорта (ДАТ), г. Донецк

И.В. Балабин, д-р техн. наук, проф., Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (МГТУ), г. Москва
А.Н. Блохин, канд. техн. наук, доц., Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Н. Новгород
Е.Е. Витвицкий, д-р техн. наук, проф., Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, г. Омск
В.М. Власов, д-р техн. наук, проф., Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва
Н.В. Володарец, канд. техн. наук, доц., заместитель главного редактора, ДАТ, г. Донецк
В.А. Глинский, канд. техн. наук, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова (СПбГУГА), г. Санкт-Петербург
М.В. Грязнов, д-р техн. наук, проф., Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск
В.В. Данилов, д-р техн. наук, проф., Донецкий государственный университет (ДонГУ), г. Донецк
К.Б. Евсеев, д-р техн. наук, доц., МГТУ, г. Москва
Д.Б. Ефименко, д-р техн. наук, проф., МАДИ, г. Москва
С.А. Зори, д-р техн. наук, доц., Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ), г. Донецк
Д.В. Капский, д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь
А.Б. Карташов, канд. техн. наук, МГТУ, г. Москва
В.Э. Клявин, д-р техн. наук, доц., заместитель главного редактора, ДАТ, г. Донецк
Г.О. Котиев, д-р техн. наук, проф., МГТУ, г. Москва
О.Н. Ларин, д-р техн. наук, проф., Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва
К.Н. Маренич, д-р техн. наук, проф., ДонНТУ, г. Донецк
Л.Б. Миротин, д-р техн. наук, проф., МАДИ, г. Москва
Н.И. Мищенко, д-р техн. наук, проф., Автомобильно-дорожный институт (филиал) Донецкого национального технического университета, г. Горловка
Д.Л. Мойся, канд. техн. наук., ДАТ, г. Донецк
В.Н. Павлыш, д-р техн. наук, проф., ДонНТУ, г. Донецк
Ю.И. Палагин, д-р техн. наук, проф., СПбГУГА, г. Санкт-Петербург
Н.В. Паламарчук, д-р техн. наук, проф., Донецкий институт железнодорожного транспорта (ДОНИЖТ), г. Донецк
А.Н. Полетайкин, канд. техн. наук, доц., Кубанский государственный университет, г. Краснодар
Ю.В. Прилепский, канд. техн. наук, доц., ДАТ, г. Донецк
В.М. Приходько, член-корреспондент Российской академии наук, д-р техн. наук, проф., МАДИ, г. Москва
И.Н. Пугачев, д-р техн. наук, доц., Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
В.И. Сарбаев, д-р техн. наук, проф., Московский политехнический университет, г. Москва
А.В. Сацюк, канд. техн. наук, ДОНИЖТ, г. Донецк
В.В. Сильянов, д-р техн. наук, проф., МАДИ, г. Москва
А.И. Солодкий, д-р экон. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург
Н.А. Филиппова, д-р техн. наук, доц., МАДИ, г. Москва
М.Н. Чепцов, д-р техн. наук, проф., ДОНИЖТ, г. Донецк
Ю.В. Прилепский, канд. техн. наук, доц., ответственный секретарь, ДАТ, г. Донецк

https://journal.dat-dn.ru

За достоверность фактов, цифр, точность имен и фамилий несут ответственность авторы статей.
Материалы номера печатаются на языке оригинала.

Учредитель:	Адрес учредителя и редакции:
АНОО ВО «Донецкая академия транспорта»	283086, Донецкая Народная Республика, г.о. Донецк, г. Донецк, пр-кт Дзержинского, д. 7, тел. +7 (949) 3076242; e-mail: rector@dat-dn.ru
Издатель:	Адрес издателя:
ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»	385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191
АНОО ВО «Донецкая академия транспорта»	283086, Донецкая Народная Республика, г.о. Донецк, г. Донецк, пр-кт Дзержинского, д. 7

Издание публикуется с 2004 г.:
2004-2009 гг. – Вестник Донецкого института автомобильного транспорта
с 2010-2024 гг. – Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта
с 2025 г. – Вестник Донецкой академии транспорта

© АНОО ВО «Донецкая академия транспорта», 2025

VESTNIK
Doneckoj Akademii Transporta
2025 **Scientific Journal**
№2

EDITORIAL BOARD

Editor-in-chief
I.P. Englezi, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Donetsk Academy of Transport (ДАТ), Donetsk

I.V. Balabin, Professor, Bauman Moscow State Technical University (BMSTU), Moscow
A.N. Blokhin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod
E.E. Vitvitskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Siberian State Automobile and Road University, Omsk
V.M. Vlasov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow
N.V. Volodarets, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, deputy editor-in-chief, DAT, Donetsk
V.A. Glinsky, Candidate of Engineering Sciences, St. Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A.A. Novikov (SPbGUGA), Saint Petersburg
M.V. Gryaznov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk
V.V. Danilov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Donetsk State University (DonGU), Donetsk
K. B. Evseev , Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, BMSTU, Moscow
D.B. Efimenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, MADI, Moscow
S.A. Zori, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Donetsk National Technical University (DonNTU), Donetsk
D.V. Kapski, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus
A.B. Kartashov, Candidate of Engineering Sciences, BMSTU, Moscow
V.E. Klyavin, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, deputy editor-in-chief, DAT, Donetsk
G.O. Kotiev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, BMSTU, Moscow
O.N. Larin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Russian University of Transport (MIIT), Moscow
K.N. Marenich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, DonNTU, Donetsk
L.B. Mirotin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, MADI, Moscow
N.I. Mishchenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Automobile and Road Institute (branch) Donetsk National Technical University, Gorlovka
D.L. Moisia, Candidate of Engineering Sciences, DAT, Donetsk
V.N. Pavlysh, Doctor of Engineering Sciences, Professor, DonNTU, Donetsk
Y.I. Palagin , Doctor of Engineering Sciences, Professor, SPbGUGA, Saint Petersburg
N.V. Palamarchuk, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Donetsk Institute of Railway Transport (DRTI), Donetsk
A.N. Poletaikin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Kuban State University, Krasnodar
V.M. Prikhodko, Corresponding Member, Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering Sciences, Professor, MADI, Moscow
I.N. Pugachev, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Pacific State University, Khabarovsk
V.I. Sarbaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Moscow Polytechnic University, Moscow
A.V. Satsiuk, Candidate of Engineering Sciences, DRTI, Donetsk
V.V. Silyanov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, MADI, Moscow
A.I. Solodkiy, Doctor of Economic Sciences, Professor, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg
N.A. Filippova, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, MADI, Moscow
M.N. Cheptsov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, DRTI, Donetsk
Y.V. Prilepsky, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, executive secretary, DAT, Donetsk

https://journal.dat-dn.ru

The authors of the articles are responsible for the accuracy of facts, figures, and names.
The materials of the issue are printed in the original language.

The founder:	Address of the founder and editorial office:
Donetsk Academy of Transport	7, Dzerzhinsky ave., Donetsk city, Donetsk city district, Donetsk People's Republic, 283086; tel. +7 (949) 3076242; e-mail: rector@dat-dn.ru
Publisher:	Publisher's address:
Maikop State Technological University	191, Pervomayskaya str., Maykop, Republic of Adygea, 385000
Donetsk Academy of Transport	7, Dzerzhinsky ave., Donetsk city, Donetsk city district, Donetsk People's Republic, 283086

The publication has been published since 2004:

2004-2009	– Bulletin of the Donetsk Institute of Road Transport
2010-2024	– Bulletin of the Donetsk Academy of Road Transport
since 2025	– Bulletin of the Donetsk Academy of Transport

© Donetsk Academy of Transport, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

Королёв М.Е., Королёв Е.А., Чичкан Р.Р. Статистические методы оценки эффективности транспортной инфраструктуры..... 6

НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И КОМПЛЕКСЫ

Королёв М.Е., Абузярова Л.Д. Исследование и внедрение автономных транспортных средств для улучшения безопасности и эффективности..... 18

ТРАНСПОРТНЫЕ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СТРАНЫ, ЕЕ РЕГИОНОВ И ГОРОДОВ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ

Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Тыргалов К.В., Карташов Н.А. Анализ показателей повышения социальной значимости городского пассажирского транспорта в городе Краснодаре 30

Одинцова А. А., Бурлакова Г. Ю «Умный транспорт»: перспективные технологии для минимизации экологического воздействия мультимодальных перевозок..... 39

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Надирян С.Л., Коновалова Т.В., Гонтарук А.В., Рынкова П.А. Совершенствование организации пассажирских перевозок на примере регулярного маршрута в г. Краснодаре 50

ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Чекеревац З., Пригода Л.В. Производство и распределение водорода: логистические проблемы..... 61

Требования к оформлению статей для публикации в научном журнале «Вестник Донецкой академии транспорта»..... 75

Условия и порядок публикации статей в научном журнале «Вестник Донецкой академии транспорта»..... 77

Краткая информация о научном журнале «Вестник Донецкой академии транспорта»..... 78

CONTENTS

SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING, STATISTICS

Korolev M.E., Korolev E.A., Chichkan R.R. Statistical Methods for Assessing the Efficiency of Transport Infrastructure..... 6

GROUND TRANSPORTATION AND TECHNOLOGICAL FACILITIES AND COMPLEXES

Korolev M.E., Abuzyarova L.D. Research and Implementation of Autonomous Vehicles to Improve Safety and Efficiency..... 18

TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SYSTEMS OF THE COUNTRY, ITS REGIONS AND CITIES, ORGANIZATION OF PRODUCTION IN TRANSPORT

Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Tyrhalov K.V., Kartashov N.A. Analysis of Indicators of Increasing the Social Importance of Urban Passenger Transport in the City of Krasnodar 30

Odintsova A. A., Burlakova G.Y. Smart Transport: "Smart Transport": Promising Technologies to Minimising the Environmental Impact of Multimodal Transportation..... 39

OPERATION OF MOTOR TRANSPORT

Nadiryan S.L., Konovalova T.V., Gontaruk A.V., Rynkova P.A. Improving the Organization of Passenger Transportation using the Example of a Regular Route in Krasnodar 50

LOGISTIC TRANSPORT SYSTEMS

Čekerevac Z, Prigoda L.V. Hydrogen Production and Distribution: Logistical Challenges 61

Requirements for the design of articles for publication in the scientific journal "Vestnik Doneckoj Akademii Transporta"..... 75

Conditions and procedure for the publication of articles in the scientific journal "Vestnik Doneckoj Akademii Transporta"..... 77

Brief information about the scientific journal "Vestnik Doneckoj Akademii Transporta"... 78

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

УДК 519.237:656.1

Королёв М.Е., Королёв Е.А., Чичкан Р.Р.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Аннотация. *В статье рассмотрен статистический метод оценки эффективности транспортной инфраструктуры на основе модели Торгерсона. Показана возможность выявления и визуализация проблемных зон транспортной инфраструктуры в факторном пространстве с целью модернизации улично-дорожной сети городов и регионов.*

Ключевые слова: *статистические методы, модель Торгерсона, транспортная инфраструктура, визуализация, факторное пространство.*

Постановка задачи

Применить методы факторного анализа, обобщенную модель Торгерсона к оценке эффективности транспортной инфраструктуры.

Анализ последних исследований

Проблемами многомерного статистического анализа занимались К. Р. Рао, Т. В. Андерсон, А. Р. Файнштейн, Ричард А. Джонсон и Дин У. Вичерн. Эти исследователи и многие другие внесли значительный вклад в развитие многомерной статистики, которая находит широкое применение в различных областях, таких как, экономика, моделирование, информатика и как следствие транспортные технологии.

Цель работы

Основной целью работы является применение статистических методов и методов факторного анализа к оценке эффективности транспортной инфраструктуры городов и регионов.

Основная часть

Транспортная инфраструктура является одним из ключевых элементов экономики страны. Она обеспечивает связь между различными регионами, способствует развитию торговли и повышению качества жизни населения. В связи с этим возникает необходимость в разработке методов оценки и анализа состояния транспортной инфраструктуры. Одним из таких инструментариев является факторный анализ [1].

Факторный анализ позволяет выявить основные факторы, влияющие на развитие транспортной инфраструктуры, и оценить степень их воздействия. В рамках факторного анализа используются различные статистические методы, такие как корреляционный анализ, регрессионный анализ и дисперсионный анализ [2].

Корреляционный анализ. Этот метод позволяет определить наличие и силу связи между различными показателями транспортной инфраструктуры.

Регрессионный анализ. Этот метод используется для оценки влияния отдельных факторов на развитие транспортной инфраструктуры.

Дисперсионный анализ. Этот метод позволяет оценить степень однородности выборки показателей транспортной инфраструктуры и выявить возможные аномалии.

На этапе сбора статистических данных осуществлялся сбор информации о различных показателях транспортной инфраструктуры г. Ростов-на-Дону, таких как протяжённость дорог, количество транспортных средств, объём перевозок, загруженность отдельно взятой УДС, аварийность и т. д. [3]. Были выявлены проблемные участки с точки зрения загруженности (образования “пробок”), что приводит к аварийности в этих зонах (объектах исследования): X_1- площадь Гагарина, X_2- проспект Малиновского, X_3- улица Вавилова, X_4- улица Королёва.

В качестве методов оценки эффективности транспортной инфраструктуры мы выбрали:

P_1 - Пропускная способность — количество пассажиров и грузов, перемещаемых за единицу времени.

P_2 - Транспортные издержки — себестоимость перевозок.

P_3 - Экологическая устойчивость — выбросы CO_2.

Была получена матрица идентификаций, строки которой – перечень объектов наблюдений, столбцы – характерные признаки (таблица 1). Используя модель Торгерсона, построим симметрическую матрицу с двойным центрированием, с последующим применением метода главных факторов [4-6].

Таблица 1

Матрица идентификаций

Объект	Признак		
	P1	P2	P3
X1	11,8	429,6	63,4
X2	1,5	88,8	10,1
X3	2	124,6	11,5
X4	3,1	-17,1	26,8
Среднее значение	4,6	156,475	27,95

Этапы реализации модели:

1. Задача стандартизации исходных данных.
2. Определение матрицы различий по стандартизированным данным.
3.Применение классической модели многомерного шкалирования Торгерсона:

а) вычисление «средних» характеристик;

б) преобразование матрицы различий в матрицу с двойным центрированием.

Решение:

Стандартизируем исходные данные:

$$z_{ij} = \nu_{ij} / \overline{\nu}_j \qquad (1)$$

$$z_{ij} = \begin{pmatrix} 2,57 & 2,75 & 2,27 \\ 0,33 & 0,57 & 0,36 \\ 0,43 & 0,80 & 0,41 \\ 0,67 & -0,11 & 0,96 \end{pmatrix}$$

Построение матрицы мер различия профилей [7-9]

Используем евклидово расстояние:

$$\delta_{ij}^{E} = \left(\sum_{k} (\nu_{ik} - \nu_{jk})^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

$$\Delta = \begin{pmatrix} 0 & 3,659765 & 3,433094 & 3,666262 \\ 3,659765 & 0 & 0,258203 & 0,967483 \\ 3,433094 & 0,258203 & 0 & 1,084852 \\ 3,666262 & 0,967483 & 1,084852 & 0 \end{pmatrix}$$

Значения элементов матрицы с двойным центрированием $\Delta^* = (\delta_{ij}^*)$ находят по формуле:

$$\delta_{ij}^* = -\frac{1}{2}(\delta_{ij}^2 - \delta_{i\cdot}^2 - \delta_{\cdot j}^2 + \delta_{\cdot\cdot}^2) \quad (3)$$

где $\delta_{i\cdot}^2 = \frac{1}{j}\sum_{j} \delta_{ij}^2$ – средняя для характеристик различий в *j*-х столбцах *i*-й строки, возведенных в квадрат;

$\delta_{\cdot j}^2 = \frac{1}{i}\sum_{i} \delta_{ij}^2$ – средняя для характеристик различий в *i*-х строках *j*-го столбца, возведенных в квадрат;

$\delta_{\cdot\cdot}^2 = \frac{1}{ij}\sum_{i}\sum_{j} \delta_{ij}^2$ – средняя величина для квадратов характеристик различий матрицы Δ.

$$\Delta = \begin{pmatrix} 0 & 3,660 & 3,433 & 3,666 \\ 3,660 & 0 & 0,258 & 0,967 \\ 3,433 & 0,258 & 0 & 1,085 \\ 3,666 & 0,967 & 1,085 & 0 \end{pmatrix}$$

Получили матрицу с двойным центрированием

$$\Delta^* = \begin{pmatrix} 7,105 & -2,620 & -1,987 & -2,499 \\ -2,620 & 1,049 & 0,845 & 0,726 \\ -1,987 & 0,845 & 0,707 & 0,434 \\ -2,499 & 0,726 & 0,434 & 1,339 \end{pmatrix}$$

– в некотором определенном шкальном пространстве *X* расстояния между наблюдаемыми объектами соответствуют величинам, характеризующим их различия, т. е. $\delta_{ij} = d_{ij}$;

– сами расстояния между объектами в теоретическом пространстве достаточно точно описываются метрикой Евклида:

$$\delta_{ij} = d_{ij} = \left(\sum_{k} \left(x_{ik} - x_{jk} \right) \right)^{1/2}; \quad (4)$$

– в шкальном пространстве *X* средние значения координат стимулов по каждой оси равны нулю, нуль – исходная точка отсчета:

$$\frac{1}{i}\sum_{i} x_{ik} = \frac{1}{j}\sum_{j} x_{jk}; \quad (5)$$

– алгоритм Торгерсона минимизирует меру соответствия:

$$F = \sum_{i,j}\left(\delta_{ij}^{*} - \sum_{k} x_{ik}x_{jk}\right)^2 \longrightarrow \min,$$

т. е. сумма квадратов разностей характеристик различий объектов и расстояний между объектами в некотором теоретически определенном нормированном шкальном пространстве *X* должна быть минимальна (т. е. требование метода наименьших квадратов.)

Применим метод главных факторов (таблица 2, 3):

Дана исходная корреляционная матрица:

$$R_h = \Delta^{*} = \begin{pmatrix} 7{,}105 & -2{,}620 & -1{,}987 & -2{,}499 \\ -2{,}620 & 1{,}049 & 0{,}845 & 0{,}726 \\ -1{,}987 & 0{,}845 & 0{,}707 & 0{,}434 \\ -2{,}499 & 0{,}726 & 0{,}434 & 1{,}339 \end{pmatrix}$$

Таблица 2

Первая итерация

Признак	R_h					$S_i^{(1)} = \sum_j r_{ij}$	$\alpha^1 = \frac{S_i^{(1)}}{S_{\max}}$
	X1	X2	X3	X4	X5		
X1	7,105306	–2,62	–1,98674	–2,49882	0	0	0
X2	–2,619749	1,0491	0,84488	0,7257927	0	8,9E-16	0,5
X3	–1,986736	0,8449	0,70736	0,4344942	0	1,8E-15	1
X4	–2,49882	0,7258	0,43449	1,3385336	0	1,8E-15	1

Таблица 3

Первый цикл итерации: возведение в квадрат корреляционной матрицы

Признак	$R_h^2 = R_h^{/} R_h$					$S_i^2 = \sum_j r_{ij}$	$P_i^{(2)} = R_h S_i^{(1)}$	$\alpha_i^{(2)} = \frac{P_i^{(2)}}{P_{\max}}$	$d_i = \left\|\alpha_i^{(2)} - \alpha_i^{(1)}\right\|$
	X1	X2	X3	X4	X5				
X1	67,539	-24,85	-18,820	-23,8642	0	-1E-14	-1E-14	-1,000	1,000
X2	-24,854	9,2042	7,0040	8,64628	0	7,1E-15	3,7E-15	0,362	0,138
X3	-18,820	7,0041	5,35009	6,46663	0	8,9E-16	2,8E-15	0,270	0,730
X4	-23,864	8,6463	6,46663	8,75133	0	5,3E-15	3,8E-15	0,369	0,631

Собственный вектор – это ненормированные значения $\alpha_i^{(5)}$.

Перейдем к определению нагрузок первого главного фактора [8,9] (таблица 4).

Таблица 4

Вычисление нагрузок первого главного фактора

Признак	$\alpha_i^{(5)} = U_1$	$\beta_1 = R_h \cdot \alpha_i^{(5)}$	$A = \frac{U_1\sqrt{\lambda_1}}{\left(\sum_i U_{1i}^2\right)^{1/2}}$
X1	–1,000	–9,506	–2,666
X2	0,368	3,498	0,981
X3	0,279	2,648	0,743
X4	0,353	3,360	0,942
Собственное число: $\max\beta_1 = \lambda_1 = 9,50596$			Вектор факторных нагрузок

Итогами первой итерации: а) Первое собственное число 9,50596; б) Вектор факторных нагрузок: $A = (-2,666; 0,981; 0,743; 0,942)$.

Проверим выполнение требования: $\sum_i a_i^2 = \lambda_1$, или

$$-2,666 \cdot (-2,666) + 0,981 \cdot 0,981 + 0,743 \cdot 0,743 + 0,942 \cdot 0,942 +$$
$$+0,000 \cdot 0,000 = 9,50596.$$

Остается определить матрицу парных корреляций (R_h^+) и решить вопрос о необходимости выполнения второй итерации с поиском второго собственного числа: λ_2 и вектора факторных нагрузок A_2 $R_h^+ = A \cdot A^{/}$.

$$R_h^+ = \begin{pmatrix} -2 \\ 0,98076 \\ 0,74258 \\ 0,94217 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot (2,6655; 0,98076; 0,74258; 0,94217; 0) =$$

$$= \begin{pmatrix} 7,105 & -2,614 & -1,979 & -2,511 & 0 \\ -2,614 & 0,962 & 0,728 & 0,924 & 0 \\ -1,979 & 0,728 & 0,551 & 0,700 & 0 \\ -2,511 & 0,924 & 0,700 & 0,888 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Разность матриц $R_h - R_h^+$ покажет остаточную, не объясненную первым главным фактором, корреляцию и поможет ответить на вопрос о целесообразности выделения второго главного фактора [7,10]:

$$R_1 = R_h - R_h^+ = \begin{pmatrix} 7,105 & -2,620 & -1,987 & -2,499 & 0 \\ -2,620 & 1,049 & 0,845 & 0,726 & 0 \\ -1,987 & 0,845 & 0,707 & 0,434 & 0 \\ -2,499 & 0,726 & 0,434 & 1,339 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} -$$

$$- \begin{pmatrix} 7,105 & -2,614 & -1,979 & -2,511 & 0 \\ -2,614 & 0,962 & 0,728 & 0,924 & 0 \\ -1,979 & 0,728 & 0,551 & 0,700 & 0 \\ -2,511 & 0,924 & 0,700 & 0,888 & 0 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 0,000 & -0,006 & -0,007 & 0,013 & 0 \\ -0,006 & 0,087 & 0,117 & -1,198 & 0 \\ -0,007 & 0,117 & 0,156 & -0,265 & 0 \\ 0,013 & -0,198 & -0,265 & 0,451 & 0 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{pmatrix}$$

Матрица первых остаточных коэффициентов корреляции содержит еще достаточно большие величины и вполне допускает оценку второго главного фактора. Последующее выполнение второй итерации аналогично первой, только вычисления производятся на данных матрицы остатков R_1 (таблица 5, 6).

Итак, дана корреляционная матрица остатков:

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0,00035 & -0,0055 & -0,0074 & 0,01255 & 0 \\ -0,006 & 0,087 & 0,117 & -0,198 & 0 \\ -0,007 & 0,117 & 0,156 & -0,265 & 0 \\ 0,013 & -0,198 & -0,265 & 0,451 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Таблица 5

Вторая итерация

Признак	R_1					$S_i^{(1)} = \sum_j r_{ij}$	$\alpha^1 = \frac{S_i^{(1)}}{S_{\max}}$
	X1	X2	X3	X4	X5		
X1	0,00035	–0,0055	–0,0074	0,01255	0	1,6E-15	1
X2	–0,0055	0,08718	0,11659	–0,1983	0	1,1E-16	0,071429
X3	–0,0074	0,11659	0,15593	–0,2651	0	1,2E-15	0,785714
X4	0,01255	–0,1983	–0,2651	0,45085	0	1,1E-15	0,714286

Таблица 6

Первый цикл 2 итерации, возведение в квадрат корреляционной матрицы

Признак	$R_1^2 = R_1^{/} R_1$					$S_i^2 = \sum_j r_{ij}$	$P_i^{(2)} = R_h S_i^{(1)}$	$\alpha_i^{(2)} = \frac{P_i^{(2)}}{P_{\max}}$	$d_i = \left\|\alpha_i^{(2)} - \alpha_i^{(1)}\right\|$
	X1	X2	X3	X4	X5				
X1	0,0002	–0,003	–0,005	0,0087	0	6,9E-18	4,85E-18	0,028	0,972
X2	–0,003	0,0605	0,0805	–0,137	0	–6E-17	–7,7E-17	–0,440	0,511
X3	–0,005	0,0809	0,1082	–0,184	0	–1E-16	–1E-16	–0,588	1,374
X4	0,008	–0,137	–0,184	0,3130	0	1,7E-16	1,74E-16	1,000	0,286

Собственный вектор – это ненормированные значения

Перейдем к определению нагрузок второго главного фактора [4-6] (таблица 7).

Таблица 7

Вычисление нагрузок второго главного фактора

Признак	$\alpha_i^{(5)} = U_2$	$\beta_2 = R_h \cdot \alpha_i^{(5)}$	$A = \frac{U_2\sqrt{\lambda_2}}{\left(\sum_i U_{2i}^2\right)^{1/2}}$
X1	0,028	0,019	0,019
X2	–0,440	–0,305	–0,295
X3	–0,588	–0,408	–0,395
X4	1,000	0,694	0,671
Собственное число: $\max \beta_2 = \lambda_2 = 0,69431$			Вектор факторных нагрузок

Получим первое собственное число $\lambda_2 = 0,69431$ и вектор факторных нагрузок: $A = (0,019; -0,295; -0,395; 0,671)$.

Проверим выполнение требования: $\sum_i a_i^2 = \lambda_2$, или

$$0,019 \cdot 0,019 + (-0,295) \cdot (-0,295) + (-0,395) \cdot (-0,395) +$$

$$+0,671 \cdot 0,671 + 0,000 \cdot 0,000 = 0,69431.$$

Остается определить матрицу парных корреляций $\left(R_h^+\right)$ и решить вопрос о необходимости выполнения третьей итерации с поиском третьего собственного числа: λ_3 и вектора факторных нагрузок $A_3 : R_h^+ = A \cdot A^{/}$:

$$R_h^+ = \begin{pmatrix} 0,01869 \\ -0,29526 \\ -0,39488 \\ 0,67145 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot (0,01869; -0,2953; -0,3949; 0,6715; 0) =$$

$$= \begin{pmatrix} 0,000 & -0,006 & -0,007 & 0,013 & 0 \\ -0,006 & 0,087 & 0,117 & -0,198 & 0 \\ -0,007 & 0,117 & 0,156 & -0,265 & 0 \\ 0,013 & -0,198 & -0,265 & 0,451 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Разность матриц $R_h - R_h^+$ покажет остаточную, не объясненную вторым главным фактором, корреляцию и поможет ответить на вопрос о целесообразности выделения третьего главного фактора:

$$R_3 = R_2 - R_h^+ = \begin{pmatrix} 0,000 & -0,006 & -0,07 & 0,013 & 0 \\ -0,006 & 0,087 & 0,117 & -0,198 & 0 \\ -0,007 & 0,117 & 0,156 & -0,265 & 0 \\ 0,013 & -0,198 & -0,265 & 0,451 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} -$$

$$- \begin{pmatrix} 0,000 & -0,006 & -0,007 & 0,013 & 0 \\ -0,006 & 0,087 & 0,117 & -0,198 & 0 \\ -0,007 & 0,117 & 0,156 & -0,265 & 0 \\ 0,013 & -0,198 & -0,265 & 0,451 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \Rightarrow$$

Третье факторное направление искать не будем выпишем полученные факторные вектора в предыдущих итерациях:

Таблица 8

Вектор факторных нагрузок

Признак	Главный фактор (факторные нагрузки)	
	F_1	F_2
X1	–2,666	0,019
X2	0,981	–0,295
X3	0,743	–0,395
X4	0,942	0,671

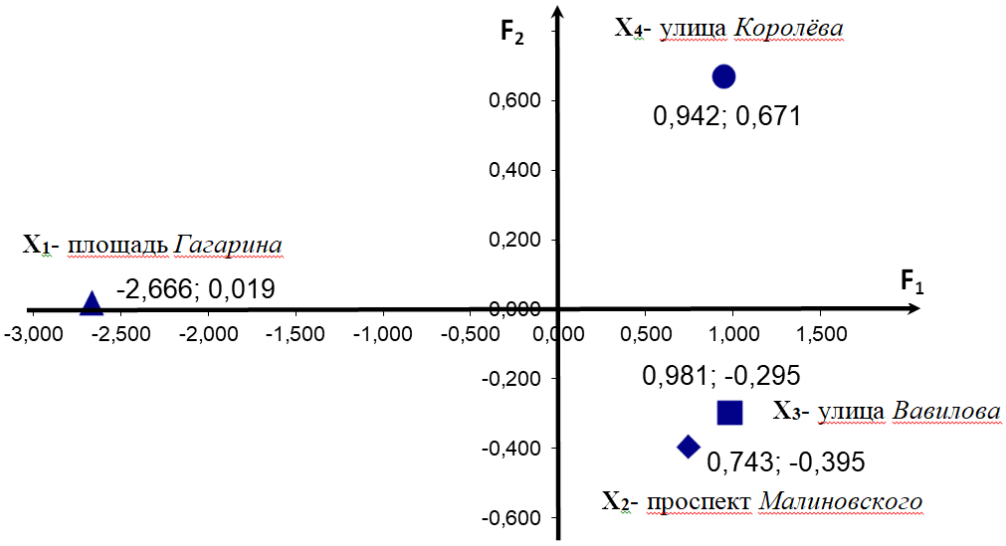


Рисунок 1. Двухмерная конфигурация шкал

Дадим экспертную интерпретацию факторных направлений F_1, F_2:

F_1 - уровень логистической связанности [10] — доступность маршрутов и хабов;

F_2 – инновационность [10] — внедрение цифровых решений и автоматизации.

Исходя из рисунка 1, можно сделать выводы: **X_2**- проспект Малиновского, **X_3**- улица Вавилова, **X_4**- улица Королёва имеют доступность маршрутов, но **X_2**- проспект Малиновского, **X_3**- улица Вавилова уступают цифровым решениям (камеры) **X_4**- улице Королёва. **X_1**- площадь Гагарина требует модернизации как по уровню логистической связанности, так и по инновационности цифровых технологий.

Выводы

Таким образом мы впервые показали и протестировали возможность применения алгоритма модели Торгерсона именно для транспортных систем городов и регионов на матрице небольшой размерности. Для данных Big Data (больших данных) транспортных систем городов и регионов мы автоматизировали процесс реализации с использованием VBA и массива данных. Применяя методы факторного анализа к оценке эффективности транспортной инфраструктуры, получили из множества (сотни) проблемных зон УДС рекомендации по усовершенствованию ОДД (организации дорожного движения), а так же возможность автоматизации статистического планирования очередности (первостепенность, ранжирование) модернизации отдельно взятой УДС, например при недостаточном финансировании проектов, или принятии решений в условиях неопределенности.

Список литературы

1.Чубучный С.А. Неметрические методы статистики / С.А. Чубучный, М.Е. Королёв // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – Воронеж, 2015. – № 8 часть 1 (19-1). – С. 405–408.

2. Королёв М.Е. Автоматизация проверки компетенций специалистов в области транспорта / М.Е. Королёв, Е.А. Королёв, В.А. Дрямин // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса: Межвузовский сборник научных статей (с

международным участием) / Самара: Самар. гос. техн. ун-т., 2019. – С. 250-253.

3. Королев М.Е. Управленческие решения в конфликтных ситуациях транспортных систем / М.Е. Королев, Е.А. Королев, Д.С. Никульшин // Вести Автомобильно-дорожного института. – 2018. – №2(25). – С. 12–18. 2018. – №2(25). – С. 12–18.

4. Сошникова Л.А., Тамашевич В.Н., Уебе Г., Шеффер М. Многомерный статистический анализ в экономике: Учеб. Пособие для вузов/Под ред. проф. В.Н. Тамашевича. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2021. - 598 с.

5. Дубров А. М. Компонентный анализ и эффективность в экономике: Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2020. – 352 с.

6. Дубров А. М., Мхитарян В. С., Трошин Л. И. Многомерные статистические методы: Учебник. – М.: Финансы и статистика, 2020. – 352 с.

7. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для втузов. Изд. 9-е, М., Высшая школа, 2003 г.

8. Долгова В. Н., Медведева Т. Ю. Теория статистики. М.: Юрайт, 2023. 279 с.

9. Кельберт М. Я., Сухов Ю. М. Вероятность и статистика в примерах и задачах. Том I. Основные понятия теории вероятностей и математической статистики. Часть 2. Статистические модели. М.: МЦНМО, 2024. 352 с.

10. Антонова И. И., Смирнов В. А. Статистические методы в управлении качеством. М.: Юрайт, 2024. 246 с.

11. Сафронов, Э. А. Транспортные системы городов и регионов: учебное пособие / Э. А. Сафронов. — Омск: СибАДИ, 2020. — 381 с.

References

1. Chubuchny, S. A., & Korolev, M. E. (2015). Nonmetric statistical methods. Current Directions of Scientific Research in the 21st Century: Theory and Practice, *8*(19-1), 405-408. [In Russian]

2. Korolev, M. E., Korolev, E. A., & Dryamin, V. A. (2019). Automation of competence assessment for transportation specialists. In Current Problems of the Automobile Transport Complex: Interuniversity Collection of Scientific Articles (pp. 250-253). Samara State Technical University. [In Russian]

3. Korolev, M. E., Korolev, E. A., & Nikulshin, D. S. (2018). Management decisions in conflict situations of transport systems. Vestnik of the Automobile and Highway Institute, *2*(25), 12-18. [In Russian]

4. Soshnikova, L. A., Tamashevich, V. N., Uebe, G., & Schaeffer, M. (2021). Multivariate statistical analysis in economics: Textbook for universities (V. N. Tamashevich, Ed.). UNITY-DANA. [In Russian]

5. Dubrov, A. M. (2020). Component analysis and efficiency in economics: Textbook. Finance and Statistics. [In Russian]

6. Dubrov, A. M., Mkhitaryan, V. S., & Troshin, L. I. (2020). Multivariate statistical methods: Textbook. Finance and Statistics. [In Russian]

7. Gmurman, V. E. (2003). Probability theory and mathematical statistics: Textbook for technical universities (9th ed.). Vysshaya Shkola. [In Russian]

8. Dolgova, V. N., & Medvedeva, T. Yu. (2023). Statistics theory. Yurayt. [In Russian]

9. Kelbert, M. Ya., & Sukhov, Yu. M. (2024). Probability and statistics in examples and problems: Vol. I. Basic concepts of probability theory and mathematical statistics. Part 2. Statistical models. MCCME. [In Russian]

10. Antonova, I. I., & Smirnov, V. A. (2024). Statistical methods in quality management. Yurayt. [In Russian]

11. Safronov, E. A. (2020). Transport systems of cities and regions: Textbook. SibADI. [In Russian]

Korolev M.E., Korolev E.A., Chichkan R.R.

STATISTICAL METHODS FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Abstract. *The article considers a statistical method for evaluating the efficiency of transport infrastructure based on the Torgerson model. The possibility of identifying and visualizing problem areas of transport infrastructure in the factor space in order to modernize the road network of cities and regions is shown.*

Key words: *Torgerson model, transport infrastructure, visualization, factor space, multidimensional statistical analysis.*

Сведения об авторах:

Королёв Марк Евгеньевич
Автомобильно-дорожный институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка, ДНР
Профессор кафедры Транспортные Технологии
Доктор педагогических наук., кандидат физико-математических наук, доцент
e-mail: kustokust@gmail.com

Королёв Евгений Александрович
Автомобильно-дорожный институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка, ДНР
Кандидат физико-математических наук, доцент
e-mail: kustokust@gmail.com

Чичкан Русалина Руслановна
Автомобильно-дорожный институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка, ДНР
Студент
e-mail: rusalina.chichkan@bk.ru

Information about the authors:

Korolev Mark Evgenievich
Automobile and Road Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University» in Gorlovka, DPR
Professor of the Department of Transport Technology
Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Physico-mathematical Sciences, Associate Professor
e-mail: kustokust@gmail.com

Korolev Evgeny Alexandrovich
Automobile and Road Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Donetsk National Technical University" in Gorlovka, DPR
Candidate of Physico-mathematical Sciences, Associate Professor
e-mail: kustokust@gmail.com

Chichkan Rusalina Ruslanovna
Automobile and Road Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Donetsk National Technical University" in Gorlovka, DPR
Student's
e-mail: rusalina.chichkan@bk.ru

НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И КОМПЛЕКСЫ

УДК 378.51

Королёв М.Е., Абузярова Л.Д.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ

Аннотация. *В данной статье рассматривается текущее состояние развития автономных транспортных средств, их влияние на безопасность и эффективность транспортной инфраструктуры, а также основные технологии и проблемы, связанные с их внедрением, выявлены основные недостатки и ограничения применяемых подходов анализа дорожно-транспортной опасности. Предложен алгоритм поиска предельных вероятностей состояний транспортной системы с целью снижения влияния человеческого фактора в возникновении дорожно-транспортных происшествий, где интеллектуальные транспортные системы автоматического управления на основании предельных вероятностей состояний способны более быстро и точно реагировать на дорожную ситуацию.*

Ключевые слова*: автономные транспортные средства; дорожно-транспортные происшествия; безопасность; эффективность.*

Постановка задачи

Разработать и обосновать усовершенствованную методику проведения эксперимента при определении аварийности на перекрёстках, обеспечивающей повышение точности и достоверности результатов для последующего применения в интеллектуальных системах автономных транспортных средств.

Анализ последних исследований

Автономные транспортные средства (АТС) представляют собой одну из самых захватывающих и быстро развивающихся технологий в сфере транспорта. С их поэтапным внедрением улучшится безопасность на дорогах, сократятся заторы и повысится общая эффективность транспортной системы.

Автономные транспортные средства — это автомобили, которые способны передвигаться без участия человека. Они используют различные технологии, такие как датчики, камеры, системы искусственного интеллекта и алгоритмы обработки данных для навигации и принятия решений в реальном времени.

Существует несколько уровней автономности, определяемых SAE (Society of Automotive Engineers):

Уровень 0 — никакой автоматизации.

Уровень 1 — системы помощи водителю (например, контроль курса).

Уровень 2 — частичная автоматизация (например, адаптивный круиз-контроль).

Уровень 3 — условная автоматизация, где водитель может отвлечься, но должен быть готов взять управление.

Уровень 4 — высокоавтоматизированные системы с потенциально полным отсутствием водителя в большинстве ситуаций.

Уровень 5 — полная автономия, где транспортное средство способно функционировать без человеческого контроля.

В настоящее время большинство разрабатываемых и тестируемых АТС находятся на уровнях 3 и 4. Основные технологии, используемые в АТС, включают в себя [2]:

Сенсоры: камеры, радары, лидары (LiDAR) и ультразвуковые датчики, которые собирают информацию об окружающей среде.

Компьютерное зрение: алгоритмы, которые анализируют изображения, полученные с камер, для распознавания объектов и дорожной разметки.

Машинное обучение: алгоритмы, которые обучаются на больших объемах данных для улучшения способностей АТС к навигации и принятию решений.

Системы управления: компьютеры и программное обеспечение, которые управляют двигателем, тормозами и рулевым управлением.

Современные исследования в области АТС охватывают множество аспектов, включая:

1. Технологические разработки — совершенствование сенсоров, использование сложных алгоритмов машинного обучения и улучшение системы навигации.

2. Безопасность — исследование методов повышения надежности алгоритмов и защиты от киберугроз.

Потенциальные преимущества автономных транспортных средств:

1. Снижение числа аварий: По статистике, большинство ДТП происходит из-за человеческого фактора. АТС могут значительно снизить этот риск.

2. Оптимизация трафика: АТС способны общаться друг с другом и взаимодействовать с инфраструктурой, что может помочь в управлении потоками движения.

3. Улучшенная реакция: АТС могут реагировать на опасные ситуации быстрее, чем человек, что позволяет избежать столкновений.

4. Постоянный мониторинг окружающей среды: АТС постоянно сканируют окружающую среду, что позволяет им обнаруживать опасности, которые могут быть незаметны для водителя.

5. Связь между автомобилями и с инфраструктурой: АТС могут обмениваться информацией с другими автомобилями и дорожной инфраструктурой, что позволяет им координировать свои действия и избегать столкновений.

Взаимодействие автономных транспортных средств между собой может осуществляться с помощью различных технологий и методов:

1.Базовая станция — транспортное средство: аналогичная сотовой связи технология, где транспортные средства взаимодействуют с сетью базовых станций для поддержания связи с группой.

2.Mesh-сеть: сеть, где терминалы образуют единую сеть без общей точной синхронизации от единого центра управления.

3.MANET (Mobile Ad hoc NETworks) сеть: одноранговая беспроводная децентрализованная самоорганизующаяся сеть, состоящая из мобильных устройств, способных устанавливать соединения между произвольными узлами.

Ключевое преимущество АТС – снижение риска ДТП за счет исключения человеческого фактора. Системы автоматического управления способны реагировать на дорожную ситуацию быстрее и точнее, чем человек, минимизируя риск аварий, вызванных усталостью, невнимательностью или нарушением правил [1].

В данном направлении существует ряд актуальных вопросов и проблем, которым посвящено значительное количество научных исследований в работах: Афанасьева М.

Б., Воробьева Ю. В., Клинковштейна Г. И., Коноплянко В. И. (организация и безопасность дорожного движения), Бабкова В. Ф., Варлашкин В. В., Дивочкин О. А., Нечаев А. К., Немешди Э., Пуркин В. И., Садырходжаев А., Ситников Ю. М., Шевяков А. П. (совершенствование проектирования и строительства транспортных сооружений, безопасность дорожного движения), Пугачева И. Н. (транспортные системы городов), Сильянова В. В. (повышение безопасности дорожного движения) и д. р.

Аварийность на перекрестках представляет собой совокупность дорожно-транспортных происшествий (ДТП), происходящих в местах пересечения транспортных и пешеходных потоков. Это одна из наиболее проблемных зон на дорогах, поскольку именно на перекрестках часто сталкиваются интересы различных участников дорожного движения АТС.

Для определения и оценки аварийности на дорогах используются несколько методов, каждый из которых имеет свои особенности и область применения.

Результаты анализа основных подходов к определению дорожно-транспортной опасности представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты анализа основных подходов к определению дорожно-транспортной опасности

Название метода (автор)	Учитываемые факторы	Вид модели
Метод линейных графиков коэффициентов аварийности (В.Ф. Бабков)	Дорожные характеристики	Мультипликативная
Метод линейных графиков коэффициентов безопасности (В.Ф. Бабков)	Дорожные характеристики, эпюры скоростей	Кратная
Метод конфликтных ситуаций (К. Хайден)	Данные об отрицательных продольных и поперечных ускорениях	Мультипликативная
Метод конфликтных точек (Г. Раппопорт)	Интенсивность движения, характеристики перекрёстка	Аддитивная
Экспертный метод	Произвольные	Экспертный опрос
Многофакторное регрессионное моделирование	Дорожные характеристики, скорость, интенсивность движения	Смешанная

В настоящее время существует ряд подходов к определению дорожно-транспортной опасности. Общий порядок оценки риска закреплен в ГОСТ Р 51897-2011, он представляет собой процесс идентификации риска, анализ риска и сравнительную оценку риска.

По нашему мнению, в условиях динамично изменяющейся внешней среды фигурирует недостаточность разработанности методов и моделей оценки риска возникновения конфликтных ситуаций. Многие исследователи отмечают высокую значимость динамических изменений в УДС на возможность возникновения аварии, а для использования АТС динамические изменения являются приоритетным направлением.

Полученные выводы свидетельствуют о необходимости разработки математической модели, позволяющей оценить риск возникновения конфликтных ситуаций в динамическом изменении на УДС, для последующего применения в интеллектуальных системах автономных транспортных средств.

Цель работы

Провести анализ теоретических методов оценки риска возникновения аварийности на перекрестках. Выявить недостатки рассмотренных методов исследования. Усовершенствовать подходы определения вероятности возникновения аварий по статистическим закономерностям изменения характеристик конфликтующих потоков с целью дальнейшего использования в ИТС АТС.

Основная часть

Рассмотрим мониторинг риска возникновения конфликтной ситуации на основе конфликтующих потоков. Рабочей гипотезой является предположение о том, что мониторинг дорожных характеристик позволит с помощью математического моделирования оценить риск возникновения КС (конфликтных ситуаций) и предотвратить ДТП с использованием АТС.

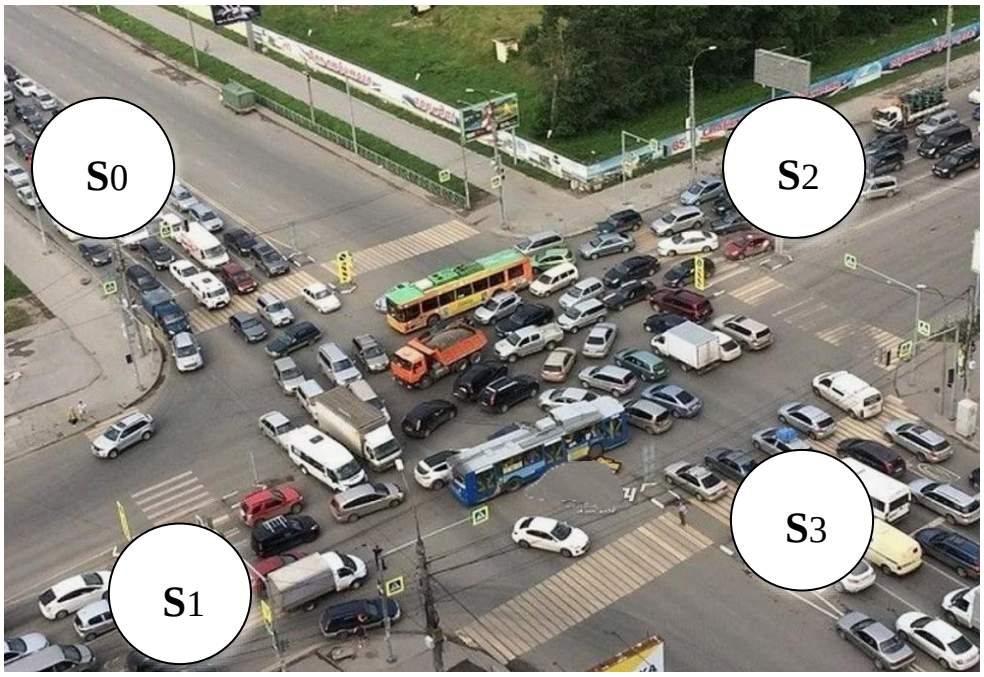


Рисунок 1. Состояния S_i конфликтующих потоков УДС

Для проектирования ИТС с уровнем автономности, определяемых SAE (Society of Automotive Engineers) – адаптивный круиз-контроль, содержащей беспроводную децентрализованную самоорганизующуюся сеть, мы предлагаем в целях минимизации затора определять среднее время нахождения в графе состояний по алгоритму поиска предельных вероятностей размеченного графа.

Построим математическую модель проезда перекрестка с использованием уравнений Колмогорова. Граф системы приведён на рисунке 2.

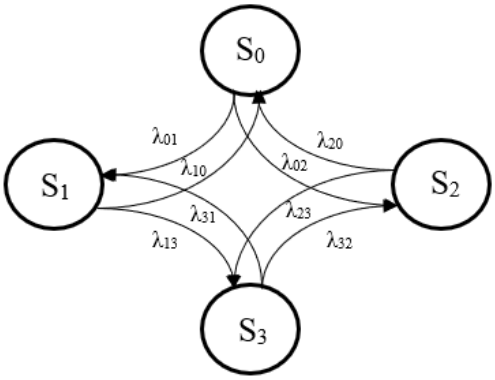


Рисунок 2. Граф состояния случайного процесса

Выпишем уравнения Колмогорова для графа состояний рисунка 2:

$$\begin{cases} (\lambda_{01}-\lambda_{02})p_0 = \lambda_{10}p_1 + \lambda_{20}p_2, \\ (\lambda_{10}-\lambda_{13})p_1 = \lambda_{01}p_0 + \lambda_{31}p_3, \\ (\lambda_{20}-\lambda_{23})p_2 = \lambda_{02}p_0 + \lambda_{32}p_3, \\ (\lambda_{31}-\lambda_{32})p_3 = \lambda_{13}p_1 + \lambda_{23}p_2. \end{cases} \quad (1)$$

При усредненных опытных частотах: $\lambda_{10}=1$, $\lambda_{01}=2$, $\lambda_{20}=3$, $\lambda_{02}=1$, $\lambda_{13}=2$, $\lambda_{31}=3$, $\lambda_{32}=4$, $\lambda_{23}=5$ - система уравнений, описывающих стационарный режим для данной системы, имеет вид (1) или:

$$\begin{cases} 3\rho_0 = 1\rho_1 + 3\rho_2, \\ 3\rho_1 = 2\rho_0 + 3\rho_3, \\ 8\rho_2 = 1\rho_0 + 4\rho_3, \\ \rho_0 + \rho_1 + \rho_2 + \rho_3 = 1. \end{cases} \quad (2)$$

Решив систему (2), получим: $\rho_0 = 0{,}26$, $\rho_1 = 0{,}39$, $\rho_2 = 0{,}14$, $\rho_3 = 0{,}21$. Т.е. в предельном, стационарном режиме система S в среднем 27% времени будет находится в состоянии S_0, 39% – в состоянии S_2 и 21% времени – в S_3.

Выпишем предельные вероятности на рисунок 3.

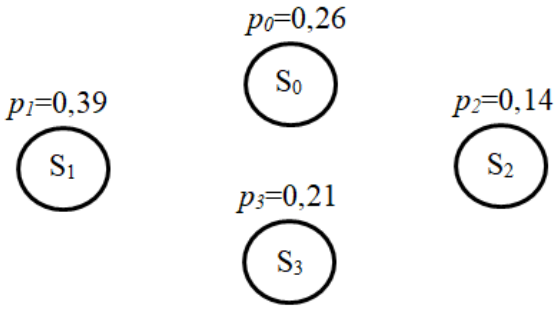


Рисунок 3. Состояние системы с предельными вероятностями

Оценим возможность убрать потенциально опасные участки УДС на направлениях S_1, S_2, S_3. Для этого увеличим частоту переходов (рисунок 4) в два раза.

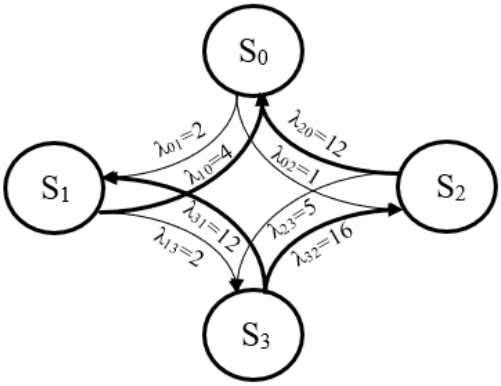


Рисунок 4. Увеличение частоты переходов событий на потенциально опасных зонах

$$\lambda_{10}=4,\lambda_{20}=12,\lambda_{31}=12,\lambda_{32}=16,\lambda_{01}=2,\lambda_{02}=1,\lambda_{13}=2,\lambda_{23}=5$$

Получим:

$$\begin{cases}(2+1)\ \rho_0=4\rho_1+12\rho_2,\\(4+2)\ \rho_1=2\rho_0+12\rho_3,\\(12+5)\ \rho_2=1\rho_0+16\rho_3,\\\rho_0+\rho_1+\rho_2+\rho_3=1.\end{cases}\Bigg|\quad\begin{cases}3\rho_0=4\rho_1+12\rho_3,\\6\rho_1=2\rho_0+12\rho_2,\\17\rho_2=1\rho_0+16\rho_3,\\\rho_0+\rho_1+\rho_2+\rho_3=1.\end{cases}\Bigg|\quad\begin{cases}\rho_0=0,63\\\rho_1=0,27\\\rho_2=0,07\\\rho_3=0,03\end{cases}\qquad(3)$$

Полученные данные перенесем на рисунок 5.

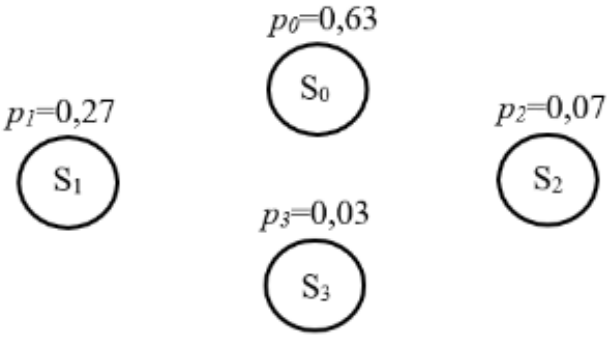


Рисунок 5. Состояния видоизмененной системы с предельными вероятностями

Сравнивая рисунки 3 и 5, делаем вывод о целесообразности данных изменений, т.к. в S1, S2, S3 – предельные вероятности состояний уменьшились.

Для изыскания среднего времени нахождения системы в центральной части перекрестка, дополним исходную систему новым состоянием (рисунок 6).

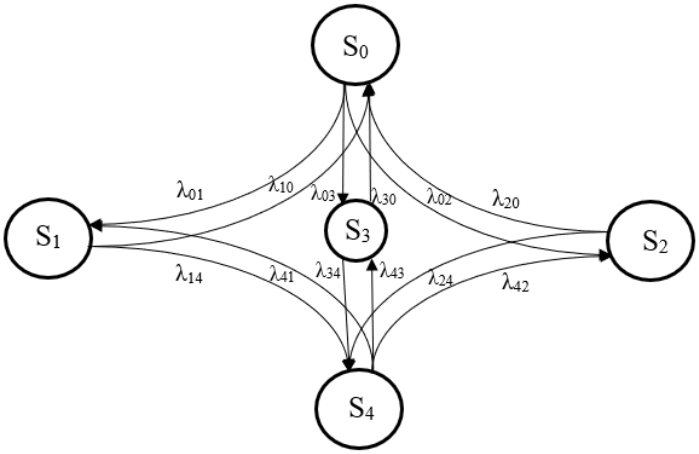


Рисунок 6. Граф состояния случайного процесса

Выпишем систему дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\begin{cases} \rho_0' = -\left(\lambda_{01} + \lambda_{02} + \lambda_{03}\right)\rho_0 + \lambda_{10}\rho_1 + \lambda_{20}\rho_2 + \lambda_{30}\rho_3, \\ \rho_1' = -\left(\lambda_{10} + \lambda_{14}\right)\rho_1 + \lambda_{01}\rho_0 + \lambda_{41}\rho_4, \\ \rho_2' = -\left(\lambda_{20} + \lambda_{24}\right)\rho_2 + \lambda_{02}\rho_0 + \lambda_{42}\rho_4, \\ \rho_3' = -\left(\lambda_{34} + \lambda_{30}\right)\rho_3 + \lambda_{03}\rho_0 + \lambda_{4.}\rho_4, \\ \rho_4' = -\left(\lambda_{41} + \lambda_{42} + \lambda_{43}\right)\rho_4 + \lambda_{14}\rho_1 + \lambda_{24}\rho_2 + \lambda_{34}\rho_3. \end{cases} \quad (4)$$

Так как предельные вероятности постоянны, то, заменяя в уравнениях Колмогорова их производные нулевыми значениями, получим систему линейных уравнений, описывающих стационарный режим. Для системы S с графом состояний изображённом на рисунке 6, такая система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} \left(\lambda_{01} + \lambda_{02} + \lambda_{03}\right)\rho_0 = \lambda_{10}\rho_1 + \lambda_{20}\rho_2 + \lambda_{30}\rho_3, \\ \left(\lambda_{10} + \lambda_{14}\right)\rho_1 = \lambda_{01}\rho_0 + \lambda_{41}\rho_4, \\ \left(\lambda_{20} + \lambda_{24}\right)\rho_2 = \lambda_{02}\rho_0 + \lambda_{42}\rho_4, \\ \left(\lambda_{34} + \lambda_{30}\right)\rho_3 = \lambda_{03}\rho_0 + \lambda_{4.}\rho_4, \\ \left(\lambda_{41} + \lambda_{42} + \lambda_{43}\right)\rho_4 = \lambda_{14}\rho_1 + \lambda_{24}\rho_2 + \lambda_{34}\rho_3. \end{cases} \quad (5)$$

Найдём предельные вероятности для системы S, граф состояний которой приведен на рисунке 6, при $\lambda_{10} = 1$, $\lambda_{01} = 7$, $\lambda_{20} = 3$, $\lambda_{02} = 4$, $\lambda_{03} = 5$, $\lambda_{30} = 6$, $\lambda_{14} = 2$, $\lambda_{41} = 1$, $\lambda_{24} = 2$, $\lambda_{42} = 3$, $\lambda_{34} = 4$, $\lambda_{43} = 5$.

Система уравнений, описывающих стационарный режим для данной системы, имеет вид:

$$\begin{cases} 16\rho_0 = 1\rho_1 + 3\rho_2 + 6\rho_3, \\ 3\rho_1 = 7\rho_0 + 1\rho_4, \\ 5\rho_2 = 4\rho_0 + 3\rho_4, \\ 10\rho_3 = 5\rho_0 + 5\rho_4, \\ \rho_0 + \rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4 = 1. \end{cases} \quad (6)$$

Решив систему (6), получим: $\rho_0 = 0{,}118$, $\rho_1 = 0{,}338$, $\rho_2 = 0{,}205$, $\rho_3 = 0{,}155$, $\rho_4 = 0{,}184$. Т.е. в предельном, стационарном режиме система S в среднем 11,9% времени будет находится в состоянии S_0, 33,9% – в состоянии S_1, 20,6% – в состоянии S_2, 15,2% времени – в S_3 и 18,4% времени – в S_4 (рисунок 7)

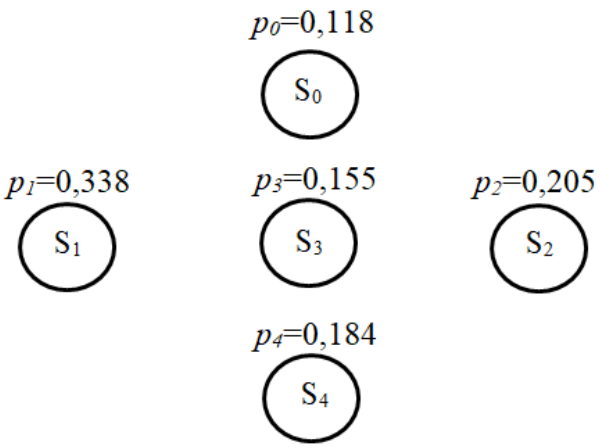


Рисунок 7. Состояние системы с предельными вероятностями

Из рисунка 7, можно сделать вывод, что рассмотренная система «Перекресток» в среднем в состоянии S_3 находится 15,5% времени, поэтому мы предлагаем усовершенствовать схему проезда перекрестка разметкой 1.26 – это жёлтая сетка (или клетка), которая наносится на перекрёстках. Её задача – упорядочить движение и предотвратить образование заторов и как следствие понизить аварийность на перекрестке. Запрещено останавливаться на разметке 1.26 более чем на 5 секунд. Также нельзя выезжать на перекрёсток, если впереди образовался затор – рисунок 9. Критерий ввода дорожной разметки определим из условия: если предельная вероятность заторовой зоны выше одновременно двух соседних конфликтующих направлений, то введение разметки 1.26 позволит уменьшить заторовую зону, что существенно упростит проезд АТС.

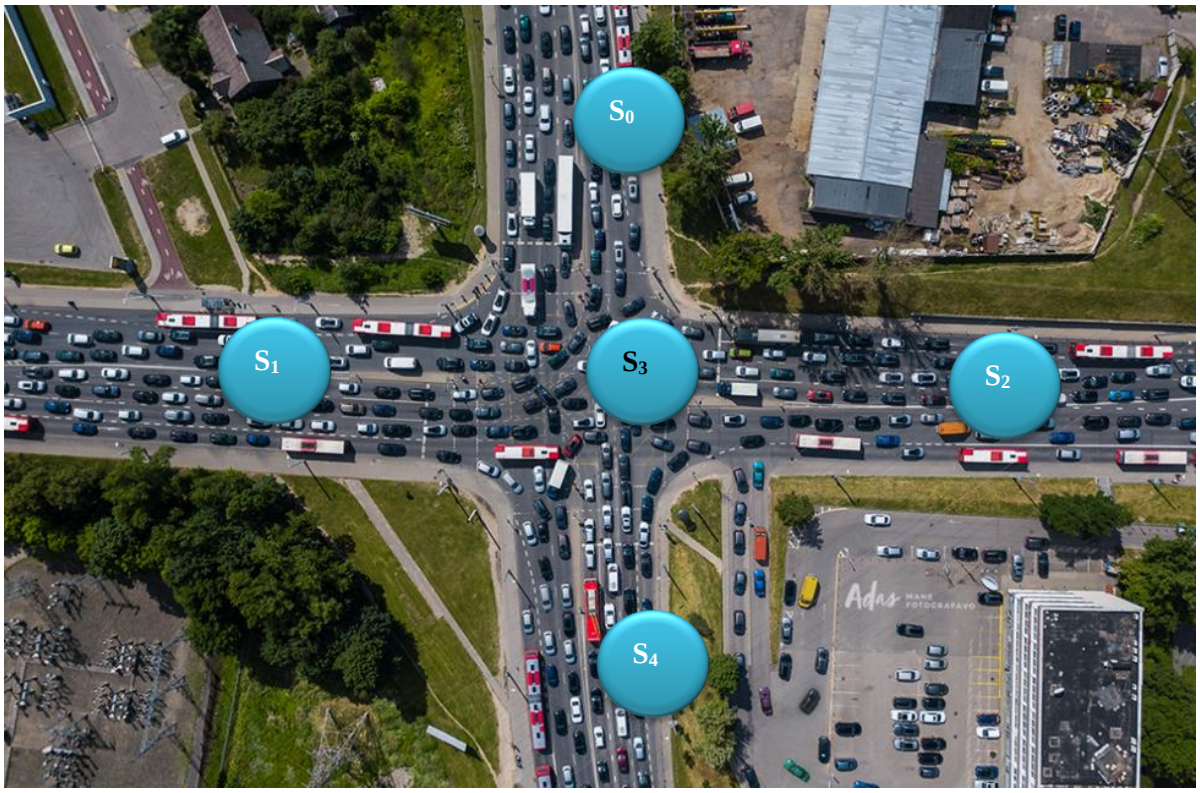


Рисунок 8. Идентификация нового состояния системы S_3



Рисунок 9. Нанесение дорожной разметки 1.26

Выводы

Выполнено планирование и проведение эксперимента на УДС с использованием уравнений Колмогорова. Найдены предельные вероятности состояний систем «Перекресток». Рассмотрен транспортный поток дорожной сети, как марковский процесс потока событий движения автомобилей. Предложены меры по уменьшению

вероятности возникновения аварийных ситуация на основе мониторинга предельных вероятностей состояний УДС. Определен критерий нанесения дорожной разметки 1.26 на основе моделирования потока движения автомобилей и поиска предельных вероятностей системы “перекресток” с целью предотвратить образование заторов для АТС. Даны рекомендации усовершенствования организации дорожного движения:

1.Увеличения частоты перехода состояний системы (использования регулирования на основе ИТС для АТС);

2. Нанесение дорожной разметки 1.26.

Данные меры предназначены упорядочить движение, предотвратить образование заторов, что существенно упростит движение АТС.

Реализован алгоритм определения вероятности возникновения аварий по статистическим закономерностям изменения характеристик конфликтующих потоков с целью дальнейшего использования в ИТС АТС.

Список литературы

1. Скафа, Е.И. Интегрированные лабораторные работы по математике как форма цифрового обучения в высшей школе / Е.И. Скафа, М.Е. Королев // Интернет-технологии в образовании: материалы междунар. научно-практ. конф. (Чебоксары, 17 мая – 21 мая 2021 г.). – Чебоксары: Чуваш. гос. пед. ун-т, 2021. – С. 452–459.

2. Королев, М.Е. Управленческие решения в конфликтных ситуациях транспортных систем / М.Е. Королев, Е.А. Королев, Д.С. Никульшин // Вести Автомобильно-дорожного института. – 2018. – №2(25). – С. 12–18.

3. Андреев, А. А. Автономные транспортные средства: проблемы и перспективы развития / А. А. Андреев, В. В. Петров. – Москва : Транспорт, 2021. – 240 с.

4. Королев, М.Е. Теоретико-методические основы обучения будущих инженеров математическому моделированию в системе высшего технического образования. Монография / М.Е. Королев. – Донецк: изд-во ДонНУ, 2021. – 336 с.

5. Васильев, С. Н. Безопасность автономных транспортных средств: нормативные аспекты / С. Н. Васильев // Автоматизация и IT в энергетике. – 2022. – № 3. – С. 45-52.

6. Королев, М.Е. Принципы цифрового обучения математическому моделированию в высшей технической школе / М.Е. Королев // Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании: материалы V Междунар. науч. конф. (Красноярск, 21–24 сентября 2021 г.): в 2 ч. Ч. 2 / под общ. ред. М. В. Носкова. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2021. – С. 162-167.

7. Кузнецов, А. С. Правовые аспекты использования автономных транспортных средств / А. С. Кузнецов // Закон и право. – 2021. – № 8. – С. 34-39.

8. Петров, С. А. Моделирование движения автономных транспортных средств / С. А. Петров // Транспортные системы и технологии. – 2021. – № 4. – С. 81-88.

9. Федоров, Р. В. Автономные транспортные системы: проектирование и разработка / Р. В. Федоров. – Томск : Изд-во ТГУ, 2021. – 224 с.

10. Иванов, Д. Д. Оценка эффективности внедрения автономного транспорта / Д. Д. Иванов // Экономика и управление транспортом. – 2023. – № 1. – С. 67-74.

References

1. Andreev, A. A., & Petrov, V. V. (2021). Autonomous vehicles: Problems and development prospects [Avtonomnye transportnye sredstva: problemy i perspektivy razvitiya]. Transport. (in Russian)

2. Fedorov, R. V. (2021). Autonomous transport systems: Design and development [Avtonomnye transportnye sistemy: proektirovanie i razrabotka]. Tomsk State University Press. (in Russian)

3. Ivanov, D. D. (2023). Efficiency assessment of autonomous transport implementation. Transport Economics and Management, 1, 67-74. (in Russian)

4. Korolev, M. E. (2021). Theoretical and methodological foundations of teaching mathematical modeling to future engineers in higher technical education [Teoretiko-metodicheskie osnovy obucheniya budushchikh inzhenerov matematicheskomu modelirovaniyu v sisteme vysshego tekhnicheskogo obrazovaniya]. Donetsk National University Press. (in Russian)

5. Korolev, M. E. (2021). Principles of digital learning of mathematical modeling in higher technical education. In M. V. Noskov (Ed.), Digital technologies in education: Proceedings of the V International Scientific Conference (Part 2, pp. 162-167). Siberian Federal University. (in Russian)

6. Korolev, M. E., Korolev, E. A., & Nikulshin, D. S. (2018). Management decisions in conflict situations of transport systems. Herald of the Automobile and Highway Institute, 2(25), 12-18. (in Russian)

7. Kuznetsov, A. S. (2021). Legal aspects of autonomous vehicles use. Law and Legislation, 8, 34-39. (in Russian)

8. Petrov, S. A. (2021). Modeling of autonomous vehicle movement. Transport Systems and Technologies, 4, 81-88. (in Russian)

9. Skafa, E. I., & Korolev, M. E. (2021). Integrated mathematics laboratory works as a form of digital learning in higher education. In Internet technologies in education: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference (pp. 452-459). Chuvash State Pedagogical University. (in Russian)

10. Vasiliev, S. N. (2022). Safety of autonomous vehicles: Regulatory aspects. Automation and IT in Energy, 3, 45-52. (in Russian)

Korolev M.E., Abuzyarova L.D.

RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF AUTONOMOUS VEHICLES TO IMPROVE SAFETY AND EFFICIENCY

Abstract. *This article examines the current state of development of autonomous vehicles, their impact on the safety and efficiency of transport infrastructure, as well as the main technologies and challenges associated with their implementation. An algorithm for searching for the limiting states of the transport system is proposed in order to reduce the human factor in the occurrence of road accidents, where intelligent transport automatic control systems are able to respond more quickly and accurately to the traffic situation.*

Keywords: *autonomous vehicles; traffic accidents; safety; efficiency*

Сведения об авторах:

Королёв Марк Евгеньевич
Автомобильно-дорожный институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка, ДНР
Профессор кафедры Транспортные Технологии
Доктор педагогических наук., кандидат физико-математических наук, доцент
e-mail: kustokust@gmail.com

Абузярова Лиана Денисовна
Автомобильно-дорожный институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка, ДНР
Магистрант
e-mail: abuzyarovaliana02@mail.ru

Information about the authors:

Korolev Mark Evgenievich
Automobile and Road Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University» in Gorlovka, DPR
Professor of the Department of Transport Technology
Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Physico-mathematical Sciences, Associate Professor
e-mail: kustokust@gmail.com

Abuzyarova Liana Denisovna
Automobile and Road Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University» in Gorlovka, DPR
Master's student
e-mail: abuzyarovaliana02@mail.ru

ТРАНСПОРТНЫЕ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СТРАНЫ, ЕЕ РЕГИОНОВ И ГОРОДОВ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ

УДК 656.1

Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Тыргалов К.В., Карташов Н.А.

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОВЫШЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ ЗНАЧИМОСТИ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДЕ КРАСНОДАРЕ

Аннотация. *В статье проведен анализ показателей, влияющих на повышение социальной значимости городского пассажирского транспорта в Краснодаре. Авторы рассматривают ключевые аспекты транспортной системы, включая доступность, комфорт, эффективность маршрутов и удовлетворенность пассажиров. Исследование включает анализ пассажиропотока, оценку инфраструктуры, а также выявление ограничений, таких как перегруженность дорог, финансовые затраты и технологические барьеры. На основе отечественного и зарубежного опыта предложены меры по оптимизации работы общественного транспорта, включая внедрение выделенных полос, модернизацию остановочных пунктов и введение единой транспортной карты. Особое внимание уделено роли брутто-контрактов в повышении качества услуг. Результаты исследования демонстрируют необходимость комплексного подхода для снижения зависимости от личного транспорта и улучшения городской мобильности.*

Ключевые слова: *транспорт, городской пассажирский транспорт, эффективность, нововведения, повышение социальной значимости, оптимизация, автобус, остановочный пункт.*

Постановка задачи

Главной задачей данного исследования является поиск эффективных мероприятий по повышению социальной значимости общественного транспорта среди населения, за счет комплексного внедрения рассматриваемых способов.

Анализ последний исследований

Исследования по данной теме довольно нередки в современных реалиях, особенно в крупных городах. Опираясь на диссертацию по теме: Методика оптимизации численности автотранспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городского пассажирского транспорта автора Надирян С.Л. были выбраны критерии проведения анализа работы городского общественного транспорта и мероприятия по повышению качества обслуживания маршрутов регулярных пассажирских перевозок.

Цель работы

Целью данного исследования является поиск способов усовершенствования условий пассажирских перевозок городским общественным транспортом для

уменьшения числа личных автомобилей и комфортного передвижения в условиях города маршрутными транспортными средствами.

Основная часть

Городской пассажирский транспорт – неотъемлемая часть жизни горожан и городской среды. Для обеспечения бесперебойного функционирования данной системы, она требует постоянного внимания и развития, с целью повышения собственной значимости и возможности стать оптимальной заменой личному транспорту [1].

Для начала стоит отметить, в условиях стремительного роста населения и увеличения движения автомобильного транспорта, эффективная работа транспорта общего пользования становится ключевым фактором для обеспечения комфортной городской среды. Особое внимание уделяется социальным аспектам, таким как: доступность транспортных услуг для различных групп населения, включая пожилых людей и людей с ограниченными возможностями [2].

Повышение социальной значимости общественного транспорта – это комплексный процесс, требующий системного подхода и последовательной реализации намеченных планов. Только так можно создать комфортную городскую среду, где транспорт общего пользования станет предпочтительным выбором для большинства жителей Краснодара [3].

Рассмотрим Центральный район Краснодара и проведем анализ работы транспорта и транспортной инфраструктуры по таким критериям как: 1. Количество маршрутов, 2. Интервал движения, 3. Время ожидания, 4. Плотность транспортной сети, 5. Оценка пользователей [4].

В Центральном районе функционирует 58 маршрутов, среди которых 11 автобусных, 24 маршрутных такси, 10 троллейбусных и 13 трамвайных. Этот район является деловым центром города, что обуславливает такое разнообразие.

В центре города транспорт курсирует чаще; например, маршрут 2Е интервал прибытия от 5 до 7 минут. В часы пик, с 8:00 до 10:00 и с 17:00 до 19:00, короткие интервалы необходимы для обеспечения быстрого доступа к рабочим местам и учебным заведениям [5].

В центральных районах ожидание, как правило, составляет не более 10 минут благодаря большему количеству маршрутов и их периодичности.

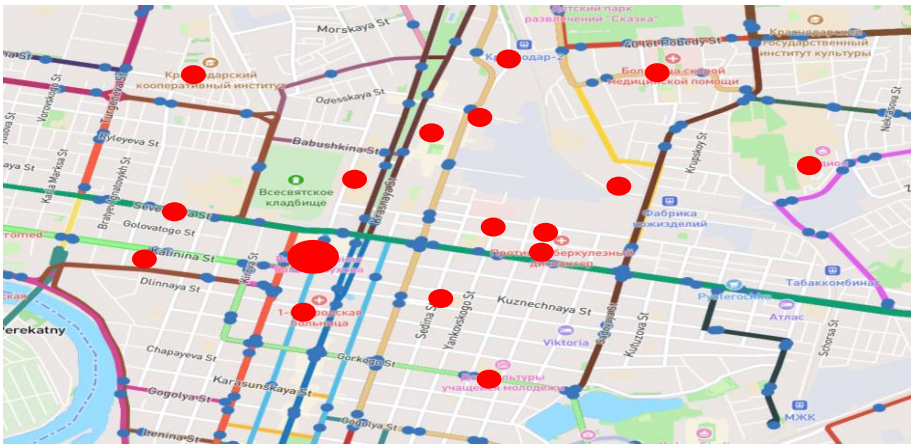


Рисунок 1. Маршруты, проходящие через Центральный район города Краснодар с указанием точек притяжения (школы, ТРЦ, гос. учреждения)

Далее, был проведен анализ транспортного спроса разных категорий населения (школьники, студенты, работающие, пенсионеры), методом натурного исследования, который заключался в количественном подсчете пассажиров разных категорий населения на трамвайных маршрутах №15 и № 8 в течение заданного промежутка времени, соответствующего пиковому спросу конкретной группы населения.

Были получены следующие значения:

Школьники: с 7 до 7.30 на обоих маршрутах с остановки ул. Зиповская совершили посадку 167 школьников;

Трудоспособная группа: с 7 до 7.30 совершили посадку 252 человека;

Пенсионеры: в период с 7 до 7.30 совершили посадку 87 человек.

Данный подсчет осуществлялся в будний день (вторник) по двум трамвайным маршрутам. В ходе исследования было выяснено, высокий пассажиропоток школьников и студентов начинается в период пикового времени с 7:00 до 9:00 и с 12:00 до 14:00. В период каникул их перемещения снижаются [6].

Высокий спрос для работающих людей характерен в будние дни, особенно в пиковое время с 7:30 до 9:00 и с 17:00 до 19:00. В праздничные дни и в выходные транспорт используется реже, по причинам более размеренного образа жизни.

Максимальный пассажиропоток среди пенсионеров фиксируется утром, при посещении рынков, магазинов и медицинских учреждений [7]. В выходные дни их активность в транспорте снижается из-за закрытия государственных учреждений, где они могут получать различные социальные и медицинские услуги.

Следующим этапом стал анализ ограничений в транспортной системе города, при которых невозможно повысить социальную значимость транспорта общего пользования, то есть какие факторы не повлияют на повышение социальной значимости городского пассажирского транспорта, по крайней мере на сегодняшний день. Среди таких условий [8]:

1. Перегрузка инфраструктуры города: выражается в низкой пропускной способности при высокой интенсивности транспортных потоков, обусловленной плотной городской застройкой в густонаселенных районах. Примером является улица Красная, которая имеет 2 полосы в прямом направлении и 2 полосы в обратном направлении. Имеющейся пропускной способности недостаточно для обустройства выделенной полосы городского пассажирского транспорта и даже для рационального распределения существующего транспортного потока. Расширение маршрутов и увеличение числа транспортных единиц создаст дополнительные проблемы. Больше автобусов на дороге не означает более комфортное передвижение.

2. Финансовые затраты: Закупка новых автобусов и расширение маршрутной сети требуют значительных финансовых вложений. Замена ПС на соответствующий требованиям брутто-контрактов, на данный момент нереализуема в полной мере из-за высокой стоимости данного мероприятия. В Краснодаре начитывается 124 автобусных маршрута, в том числе городских, пригородных, межмуниципальных. Стоимость одного ТС, отвечающего требованиям брутто-контрактов, например, Паз вектор некст составляет около 3 млн рублей на вторичном рынке и 5-5.5 млн новый. При замене всех единиц ПС на всех маршрутах стоимость такого перехода ориентировочно будет равна больше полумиллиарда рублей только при оценке закупки ТС, не говоря об их подготовке к эксплуатации

3. Беспилотные технологии: Беспилотные технологии в виде полностью автоматизированных автобусов, без участия водителя в перевозочном процессе, хотя беспилотные автобусы обещают революционные изменения, их реализация в текущих условиях затруднительна.

Анализ отечественного опыта при популяризации транспорта общего пользования среди населения показывает, что власти на разных уровнях предпринимают меры для повышения привлекательности городского-пассажирского транспорта, такие как льготные тарифы, единые проездные и система брутто-контрактов [9]. На сегодняшний день, в Краснодаре 17 маршрутов, работают по брутто-контрактам.

Среди преимущества брутто-контрактов выделим:

- Повышение качества услуг;
- Контроль со стороны властей;
- Устойчивость системы, то есть перевозчики получают стабильное финансирование, что позволяет обновлять парк и улучшать инфраструктуру.

Проблемы [10]:

- Высокая нагрузка на бюджет;
- Риск неэффективного управления: Неправильное планирование маршрутов или распределение ресурсов может снизить эффективность системы.

В таблице 1 представлены показатели удовлетворённости качеством транспортного обслуживания по данным социологического мониторинга по состоянию на 2024 год:

Таблица 1

Показатели удовлетворённости качеством транспортного обслуживания по данным социологического мониторинга по состоянию на 2024 год

	Показатель	Удовлетворённость, %
P1	Внешний вид транспорта	30%
P2	Внешний вид персонала в транспорте	29%
P3	Комфорт	28%
P4	Санитарное состояние салона транспорта	31%
P5	Стоимость проезда	30%
P6	Форма оплаты проезда	43%
P7	Безопасность	40%
P8	Качество управления транспортом	39%
P9	Удобство остановочных пунктов	32%
P10	Информационное обеспечение в транспорте	32%
P11	Вежливость персонала в транспорте	30%
P12	Компетентность персонала в транспорте	30%
P13	Удобство транспорта (в том числе, расписание и интервалы движения)	30%
P14	Чёткость выполнения расписаний	36%
P15	Скорость/время поездки	33%

Финальным этапом исследования стало определение эффективности нововведений для повышения социальной значимости общественного транспорта, разработка этапов их реализации, среди которых [11]:

1. Введение выделенных полос для общественного транспорта;
2. Модернизация остановочных павильонов;
3. Формирование явного приоритета ГПТ перед личным транспортом, путем повышения комфорта маршрутного транспорта, скорости перевозки, разнообразия маршрутов, стоимости владения личным автомобилем, в которую входит (покупка, обслуживание, ремонт, парковка), информирование о проблематичном поиске парковочных мест, о постоянном нахождении в стрессовом состоянии за рулем, в силу непрекращающегося контроля над дорожной ситуацией;
4. Аналог московской карты «Тройка» с выбор оптимальных тарифов на перевозку по временным, дневным критериям. Макет карты представлен на рисунке 2.

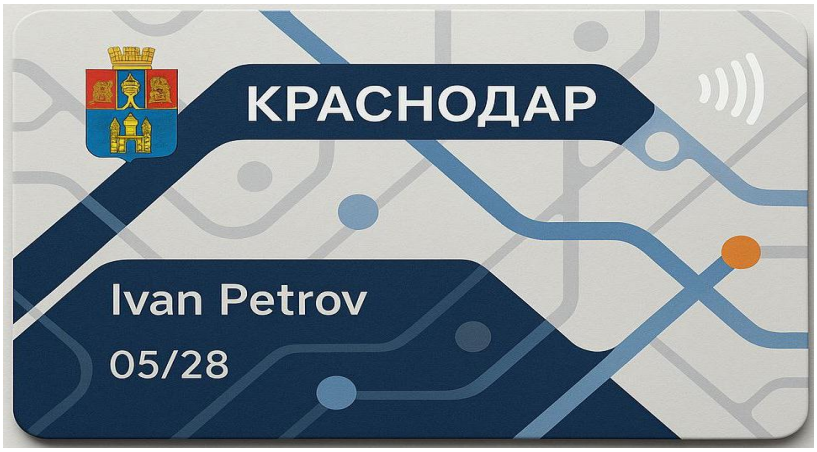


Рисунок 2. Пример дизайна единой транспортной карты Краснодара

Рассмотрим Анализ зарубежного опыта при популяризации транспорта общего пользования среди населения на примере китайского Гонконга. Каждый день около 90% всех поездок, совершаются на общественном транспорте, система которого включает в себя железную дорогу, метро, автобусы, микроавтобусы, трамваи, такси и паромы.

Стоимость проезда зависит от расстояния, маршрута, и от компании-перевозчика, и даже от комфортабельности автобуса (кондиционированный или нет). Цена варьируется от 3–5 гонконгских долларов (около 31-52 руб. по курсу на начало мая 2025), причем тариф кондиционируемого автобуса примерно на треть выше, чем некондиционируемого. Хотя есть и дешевые маршруты, которые могут стоить 1–2 HK$. При этом есть маршруты и за 6–7 долларов. На сегодняшний день в Гонконге личным автомобилем обладает около 15% домохозяйств, а уровень автомобилизации по состоянию на 2022 год составляет всего 109 транспортных средств на 1000 человек — чуть более 828 тысяч на весь город-территорию. В это число входит и заметное количество машин организаций, включая такси. Такое положение связано с высокой ценой владения. В ней, помимо налога на покупку и ежегодных сборов и страховок, в очередной раз повышенных в начале текущего года, учитывается ещё минимум 2500 гонконгских долларов (около 26,7 тысяч рублей по курсу начало мая 2025 года) в месяц за самую дешёвую парковку. Вариантов бесплатно хранить машину в пределах плотно освоенных участков просто нет.

Всё это, кроме факторов удобства и предсказуемости поездок, несомненно, играет в пользу выбора жителями общественного транспорта.

За последние 5 лет в области перевозок пассажиров транспортом общего пользования обсуждалось немало способов повышения его социальной значимости среди городского населения. Самыми эффективными нововведениями по кпд и приросту пассажиропотока общественного транспорта на примере поставленных задач нацпроекта "Безопасные качественные дороги", которые считают вариантами повышения социальной значимости: модернизацию ПС для комфортного передвижения населения, стоимость перевозки пассажиров, а также эффективное и рациональное использование транспортной инфраструктуры для обеспечения комфортного и безопасного передвижения пассажиров.

Россия активно развивается в усовершенствовании работы городского пассажирского транспорта, используя такие инструменты, как низкая стоимость проезда, брутто-контракты и перехватывающие парковки. Однако для достижения значительных результатов необходимо решить проблемы финансирования, инфраструктуры и информирования населения.

Выводы

После проведения исследования были получены следующие выводы:

1. Только комплексное внедрение мероприятий способно в значительной мере улучшить работу общественного транспорта;
2. Число заторов улично-дорожной сети существенно сократится при использовании общественного транспорта, вместо личного;
3. Для определения всевозможных мер по повышению социальной значимости городского пассажирского транспорта необходимо проводить анализы показателей на основе различных методов исследования, таких как: натурный, моделирования и эксперименты.

Дальнейшее развитие данного вопроса имеет большое значение в определении качества обслуживания пассажиров и режима работа городского транспорта, транспортной инфраструктуры и улично-дорожной сети.

Список литературы

1. Повышение безопасности движения детей на улично-дорожной сети городов: монография / Т.В. Коновалова [и др.]. - Краснодар: ООО "Издательский Дом - Юг", 2023г.

2. Программа расчёта себестоимости перевозки пассажиров по муниципальным маршрутам регулярных перевозок, Надирян С.Л., Дрючин Д.А., Рассоха В.И. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023668943, 06.09.2023. Заявка №2023667650 от 25.08.2023.

3. Программа расчета численности транспортных средств, обслуживающих регулярный маршрут городского пассажирского транспорта при обеспечении оптимальной наполняемости салона. Надирян С.Л., Дрючин Д.А., Рассоха В.И., Изюмский А.А. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024660023, 02.05.2024. Заявка № 2024618300 от 18.04.2024.

4. Методика обеспечения приоритетных условий движения городского пассажирского транспорта. Коновалова Т.В., Надирян С.Л., Котенкова И.Н., Сенин И.С. Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 70-80.

5. Ситуационное управление автотранспортными системами. схема и сценарии управления городским пассажирским транспортом. Рассоха В.И. Вестник Оренбургского государственного университета. 2010. № 4 (110). С. 142-146.

6. Надирян, С. Л. Методика оптимизации численности автотранспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городского пассажирского транспорта :

диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Надирян София Левоновна, 2024 - 140 с. - EDN KLNFNI.

7. Оптимизация численности автотранспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городских агломераций: монография / Д.А. Дрючин Т.В. Коновалова, Е.А. Лебедев, С.Л. Надирян, В.И. Рассоха, ФГБОУ ВО "Оренбургский государственный университет", ФГБОУ ВО "Кубанский государственный технологический университет". - Краснодар: Издательский Дом - Юг, 2024. - 178.

8. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса :учеб. пособие / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, И.Н. Котенкова. Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2024. - 256

9. Программа расчета технико-экономических показателей работы автобусов на регулярном маршруте городского пассажирского транспорта при обеспечении оптимальной наполняемости салона. Надирян С.Л., Дрючин Д.А., Рассоха В.И., Изюмский А.А. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024619554, 24.04.2024. Заявка от 18.04.2024

10. Программа расчета численности транспортных средств, обслуживающих регулярный маршрут городского пассажирского транспорта при обеспечении оптимальной наполняемости салона. Надирян С.Л., Дрючин Д.А., Рассоха В.И., Изюмский А.А. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024660023, 02.05.2024. Заявка от 18.04.2024.

11. Модель определения оптимального количества маршрутных транспортных средств. Бочаров И.А., Власов Ю.Л., Рассоха В.И. Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 10 (129). С. 49-53.

References

1. Konovalova, T. V., et al. (2023). Improving the safety of children's traffic on the urban road network: Monograph. Publishing House - Yug. (In Russian)

2. Nadiryan, S. L., Dryuchin, D. A., & Rassokha, V. I. (2023). Program for calculating the cost of passenger transportation on municipal regular transport routes [Computer software]. Certificate of registration RU 2023668943. (In Russian)

3. Nadiryan, S. L., Dryuchin, D. A., Rassokha, V. I., & Izyumsky, A. A. (2024). Program for calculating the number of vehicles servicing a regular urban passenger transport route while ensuring optimal cabin occupancy [Computer software]. Certificate of registration RU 2024660023. (In Russian)

4. Konovalova, T. V., Nadiryan, S. L., Kotenkova, I. N., & Senin, I. S. (2024). Methodology for providing priority conditions for urban passenger transport. Mir Transporta (World of Transport), no. 22(2), 70–80. (In Russian)

5. Rassokha, V. I. (2010). Situational management of automotive transport systems: Scheme and scenarios for urban passenger transport management. Vestnik Orenburgskogo Gosudarstvennogo Universiteta (Bulletin of Orenburg State University), no. 4(110), 142–146. (In Russian)

6. Nadiryan, S. L. (2024). Methodology for optimizing the number of vehicles servicing regular urban passenger transport routes [PhD dissertation, Orenburg State University]. (In Russian)

7. Dryuchin, D. A., Konovalova, T. V., Lebedev, E. A., Nadiryan, S. L., & Rassokha, V. I. (2024). Optimization of the number of vehicles servicing regular routes in urban agglomerations: Monograph. Publishing House - Yug. (In Russian)

8. Konovalova, T. V., Nadiryan, S. L., & Kotenkova, I. N. (2024). Organization of transport services and safety of the transport process: Textbook. Kuban State Technological University Publishing. (In Russian)

9. Nadiryan, S. L., Dryuchin, D. A., Rassokha, V. I., & Izyumsky, A. A. (2024). Program for calculating technical and economic indicators of buses on a regular urban passenger transport route while ensuring optimal cabin occupancy [Computer software]. Certificate of registration RU 2024619554. (In Russian)

10. Nadiryan, S. L., Dryuchin, D. A., Rassokha, V. I., & Izyumsky, A. A. (2024). Program for calculating the number of vehicles servicing a regular urban passenger transport route while ensuring optimal cabin occupancy [Computer software]. Certificate of registration RU 2024660023. (In Russian)

11. Bocharov, I. A., Vlasov, Yu. L., & Rassokha, V. I. (2011). Model for determining the optimal number of route vehicles. Vestnik Orenburgskogo Gosudarstvennogo Universiteta (Bulletin of Orenburg State University), no. 10(129), 49–53. (In Russian)

Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Tyrhalov K.V., Kartashov N.A.

ANALYSIS OF INDICATORS OF INCREASING THE SOCIAL IMPORTANCE OF URBAN PASSENGER TRANSPORT IN THE CITY OF KRASNODAR

Abstract*. The article analyzes the indicators affecting the increase in the social significance of urban passenger transport in Krasnodar. The authors examine key aspects of the transport system, including accessibility, comfort, route efficiency, and passenger satisfaction. The study involves an analysis of passenger flow, infrastructure assessment, and identification of limitations such as road congestion, financial costs, and technological barriers. Drawing on domestic and international experience, measures to optimize public transport are proposed, including dedicated lanes, stop modernization, and the introduction of a unified transport card. Special attention is paid to the role of gross contracts in improving service quality. The results highlight the need for an integrated approach to reduce reliance on private vehicles and enhance urban mobility.*

Keywords*: transport, urban passenger transport, efficiency, innovations, increasing social significance, optimization, bus, stopping point.*

Сведения об авторах:

Коновалова Татьяна Вячеславовна
Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия
Заведующая кафедры ТПиТК, кандидат экономических наук,
E-mail: tan_kon@mail.ru

Надирян София Левоновна
Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия
Кандидат технических наук,
E-mail: sofi008008@yandex.ru

Тыргалов Кирилл Владимирович
Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия
Студент бакалавриата
E-mail: tyrgalovk@gmail.com

Карташов Никита Андреевич
Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия
Студент бакалавриата
E-mail: kartashov.nikita2004@icloud.com

Information about the authors:

Konovalova Tatyana Vyacheslavovna
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia
Head of the Department of TPiTK, PhD in Economics,
E-mail: tan_kon@mail.ru

Nadiryan Sofia Levonovna
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia
PhD in Engineering,
E-mail: sofi008008@yandex.ru

Tyrgalov Kirill Vladimirovich
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia
Bachelor's student
E-mail: tyrgalovk@gmail.com

Kartashov Nikita Andreevich
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia
Bachelor's student
E-mail: kartashov.nikita2004@icloud.com

УДК 656.073:502/504

Одинцова А. А., Бурлакова Г. Ю.

«УМНЫЙ ТРАНСПОРТ»: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Аннотация. *Современная логистическая инфраструктура немыслима без мультимодальных перевозок, обеспечивающих глобальную связанность и оперативность транспортных потоков. Однако широкое распространение данной формы перевозок сопряжено с ростом антропогенной нагрузки на окружающую среду. Актуальность исследования обусловлена необходимостью поиска и внедрения эффективных решений для минимизации негативного экологического воздействия транспортного сектора. В настоящей статье рассматриваются ключевые технологии «умного транспорта» — высокотехнологичного подхода, направленного на экологическую оптимизацию мультимодальных систем. Приведён системный анализ компонентов и эффектов таких решений, их интеграции в транспортную инфраструктуру, а также оценка вклада в сокращение выбросов парниковых газов. Представлены математические модели для количественного анализа экологического потенциала технологий. Обозначены условия и факторы, способствующие успешному внедрению «умного транспорта» в глобальном масштабе.*

Ключевые слова: *мультимодальные перевозки, экологическая устойчивость, интеллектуальный транспорт, автоматизация, IoT, ИТС, математическое моделирование, устойчивое развитие.*

Постановка задачи

В условиях глобализации и стремительного роста международной торговли транспортный сектор становится одним из главных источников выбросов парниковых газов, что негативно сказывается на экологической обстановке. Мультимодальные перевозки, объединяющие различные виды транспорта — железнодорожный, морской, автомобильный и воздушный — являются ключевым элементом современной логистики, но при этом способствуют значительному загрязнению окружающей среды и увеличению углеродного следа. В связи с этим возникает необходимость разработки и внедрения инновационных технологий «умного транспорта», способных повысить экологическую устойчивость транспортных систем. Постановка задачи исследования заключается в анализе потенциала современных «умных» транспортных технологий для снижения экологического воздействия мультимодальных перевозок и разработке рекомендаций по их интеграции в транспортную инфраструктуру РФ.

Анализ последних исследований

Современные исследования в области «умного транспорта» подчеркивают значительный потенциал внедрения технологий, таких как системы управления транспортными потоками (TMS), интеллектуальные транспортные системы (ITS),

автоматизированные транспортные средства (AV), а также системы мониторинга окружающей среды [1-16]. Анализ научных работ показывает, что интеграция этих решений способна снизить выбросы CO_2 на 15–20% при внедрении ITS и на 30–40% за счет использования AV, что подтверждает их эффективность в контексте экологической устойчивости. В то же время, последние исследования выявляют существующие барьеры — необходимость значительных инвестиций, нормативно-правовые ограничения, вопросы кибербезопасности и сопротивление изменениям со стороны участников транспортного рынка. Эти факторы требуют комплексного подхода к разработке и реализации технологий «умного транспорта».

Цель работы

Целью данной работы является всесторонний анализ современных технологий «умного транспорта», оценка их потенциала для уменьшения экологического воздействия мультимодальных перевозок и разработка рекомендаций по их внедрению в глобальную транспортную инфраструктуру. В рамках достижения этой цели предполагается выявление наиболее перспективных решений, определение условий, способствующих их успешной реализации, а также оценка их эффективности с учетом современных технических, правовых и организационных факторов.

Основная часть

В эпоху глобализации и стремительного развития логистических систем особую значимость приобретает интеграция мультимодальных перевозок, которые сочетают в себе несколько видов транспорта. Этот подход позволяет оптимизировать логистические цепочки, обеспечивая их большую гибкость и эффективность. Однако, несмотря на многочисленные преимущества, мультимодальные перевозки сопряжены с рядом серьёзных экологических вызовов.

Прежде всего, стоит отметить значительное влияние транспортного сектора на экологическую обстановку. По данным авторитетного Международного агентства по интеллектуальным транспортным системам (ITS), транспортный сектор ответственен за внушительные 24% глобальных выбросов углекислого газа (CO_2), а также вносит существенный вклад в эмиссию оксидов азота (NO_x) [1]. Кроме того, такие перевозки сопровождаются загрязнением водных объектов и атмосферного воздуха, а также наносят ущерб экосистемам.

В связи с этим разработка и внедрение инновационных технологий интеллектуального транспорта (Smart Transport) становятся критически важными направлениями деятельности для научного сообщества, транспортных операторов и государственных структур. Концепция интеллектуального транспорта представляет собой инновационный методологический подход, который базируется на интеграции передовых информационных и коммуникационных технологий.

Ключевая цель данного исследования заключается в проведении всестороннего анализа ключевых технологий интеллектуального транспорта и оценке их экологического потенциала. Особое внимание уделяется изучению перспектив применения этих технологий в контексте мультимодальных перевозок.

Для успешной реализации концепции интеллектуального транспорта необходим комплексный междисциплинарный подход, который предполагает синергетическое взаимодействие специалистов различных научных направлений:

- фундаментальной науки;
- инженерного дела;
- транспортной логистики;
- государственного регулирования.

Интеллектуальный транспорт представляет собой интегрированную систему инновационных технологий и решений, которые направлены на оптимизацию транспортных систем и повышение эффективности использования транспортных ресурсов. Эта система базируется на интеграции передовых информационных и коммуникационных технологий, а также на применении принципов киберфизических систем (CPS) и интернета вещей (IoT).

Система интеллектуального транспорта включает в себя несколько ключевых компонентов:

1. Интеллектуальные транспортные системы (ИТС), которые включают широкий спектр технологий: системы управления движением, навигации, мониторинга транспортных средств, а также системы связи и обмена данными.
2. Системы мониторинга и анализа транспортных потоков, которые позволяют в режиме реального времени отслеживать состояние транспортных средств и анализировать транспортные потоки.
3. Автоматизированные системы управления дорожным движением (АСУДД), которые включают системы светофоров, дорожные знаки и другие элементы инфраструктуры с автоматическим управлением.
4. Интегрированные платформы обмена данными, которые обеспечивают обмен информацией в реальном времени между различными участниками транспортной системы.

Эти элементы функционируют в синергии, обеспечивая комплексную оптимизацию транспортных процессов и повышая эффективность транспортной инфраструктуры.

Особое внимание уделяется роли интеллектуальных транспортных систем в управлении транспортными потоками. Эти системы интегрируют различные аспекты транспортной системы в единое информационное пространство, что способствует более эффективному управлению транспортными потоками и снижению уровня аварийности.

Системы мониторинга и анализа транспортных потоков играют важную роль в обеспечении безопасности и эффективности транспортной инфраструктуры. Они позволяют в режиме реального времени отслеживать состояние транспортных средств, анализировать транспортные потоки и прогнозировать возможные проблемы.

Автоматизированные системы управления дорожным движением представляют собой комплекс технических решений для оптимизации движения транспортных средств. Они включают системы светофоров, дорожные знаки и другие элементы инфраструктуры с автоматическим управлением, что повышает пропускную способность дорог, сокращает время простоя и улучшает безопасность дорожного движения.

Интегрированные платформы обмена данными обеспечивают обмен информацией в реальном времени между транспортными средствами, дорожными службами, операторами общественного транспорта и другими участниками системы. Это позволяет создать полное представление о состоянии транспортной системы и принимать обоснованные решения для её оптимизации.

Таким образом, концепция интеллектуального транспорта представляет собой комплексное решение, основанное на передовых технологиях и принципах киберфизических систем. Реализация этой концепции способствует повышению эффективности использования транспортных ресурсов, снижению уровня аварийности и улучшению качества жизни населения.

Применение технологий интеллектуального транспорта позволяет сократить время простоя транспортных средств, улучшить качество обслуживания пассажиров и

грузов, а также снизить негативное воздействие на окружающую среду за счёт оптимизации маршрутов и уменьшения количества транспортных средств на дорогах.

Интеллектуальный транспорт становится ключевым элементом современной транспортной стратегии, направленной на устойчивое развитие и повышение конкурентоспособности городских и региональных транспортных систем. Это направление открывает широкие перспективы для дальнейшего развития и совершенствования транспортных систем с учётом экологических требований и потребностей современного общества.

Основные технологии «умного» транспорта и их экологический потенциал:

1. Интегрированные системы мониторинга и управления транспортными потоками (ИСУТП) представляют собой интегрированные платформы, предназначенные для оптимизации распределения транспортных потоков, минимизации времени простоя и повышения эффективности использования транспортной инфраструктуры. Эти системы базируются на сборе и анализе данных о загруженности транспортных узлов, дорожной сети и других параметров, влияющих на логистические процессы.

Примеры внедрения ИСУТП:

- Интегрированные транспортные системы (ITS) в крупных мегаполисах, таких как Лондон и Сингапур, демонстрируют значительное снижение выбросов NO_x на 10-15% за счет оптимизации движения транспорта [2].
- В порту Шанхая внедрение систем управления грузопотоками сократило время простоя грузовых автомобилей на 20% и снизило выбросы CO_2 на 15%, что свидетельствует о высокой экологической эффективности данных технологий [3].

2. Системы контроля за соблюдением экологических стандартов (СКСЭС) представляют собой комплексные решения, направленные на обеспечение соответствия транспортных средств экологическим нормам и стандартам. Эти системы включают датчики выбросов, системы мониторинга параметров работы двигателей и механизмы передачи данных для контроля соблюдения нормативов.

Примеры внедрения СКСЭС:

- В Германии внедрение системы контроля выбросов на грузовых автомобилях позволило сократить выбросы NO_x на 25% в течение первого года эксплуатации, что демонстрирует высокую эффективность данных технологий [4].
- В Стокгольме внедрение СКСЭС на общественном транспорте привело к снижению выбросов CO_2 на 30%, что значительно улучшило экологическую ситуацию в городе [5].

3. Системы мониторинга выбросов (СМВ) представляют собой высокотехнологичные комплексы, предназначенные для измерения и контроля выбросов вредных веществ транспортными средствами. Эти системы включают датчики, системы сбора и обработки данных, а также механизмы передачи информации для мониторинга экологической ситуации.

Примеры внедрения СМВ:

- В Австралии внедрение СМВ на грузовых автомобилях позволило сократить выбросы CO_2 на 20% в течение первых двух лет эксплуатации, что свидетельствует о высокой экологической эффективности данных решений [6].
- В Нидерландах внедрение СМВ на общественном транспорте привело к снижению выбросов NO_x на 15%, что положительно сказалось на качестве воздуха в городах [7].

Диаграмма снижения выбросов CO_2 и NO_x (%) по технологиям и регионам приведена на рисунке 1.

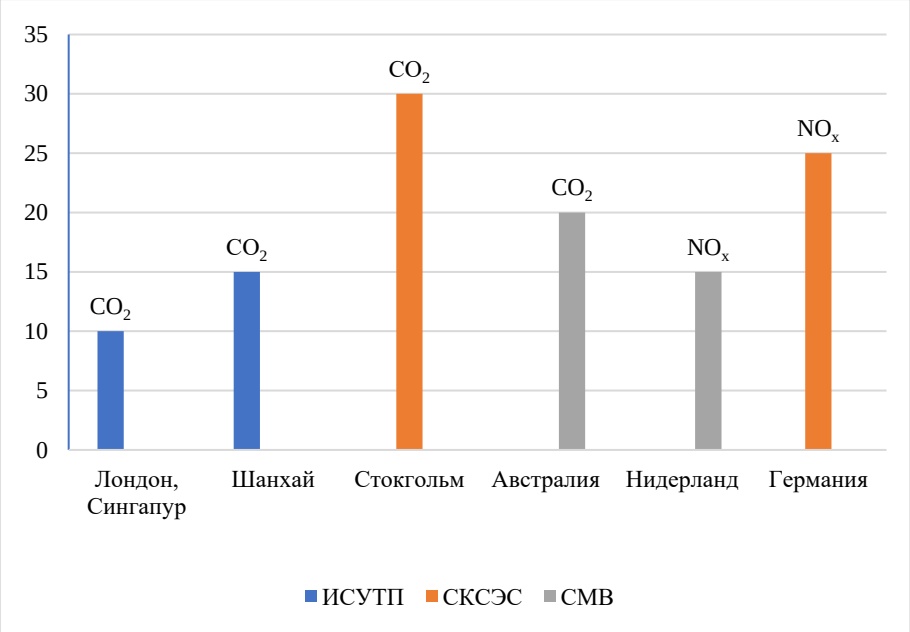


Рисунок 1. Диаграмма снижения выбросов CO_2 и NO_x (%) по технологиям и регионам

Согласно данным Межправительственной панели по изменению климата (IPCC), выбросы CO_2 от транспорта составляют около 14% от всех антропогенных выбросов [8]. Моделирование и оптимизация транспортных потоков позволяют снизить эти показатели.

Обозначим объем выбросов CO_2 от мультимодальных перевозок как E_{CO_2}, который зависит от объема перевозимых грузов Q, средней удельной эмиссии на тонно-километр ε и эффективности системы управления η:

$$\Delta E_{CO_2} = Q \times d \times \varepsilon \times (1 - \eta), \quad (1)$$

где d - расстояние перевозки (км).

Модель показывает, что повышение эффективности управления η (например, за счет внедрения ИТС и автоматизации) позволяет снизить выбросы пропорционально:

$$\frac{\Delta E_{CO_2}}{E_{CO_2}} = \eta \times 100\% \quad (2)$$

Объем экономии топлива и, соответственно, снижения выбросов при использовании ИСУТП можно оценить через уравнение:

$$\Delta E_{CO_2} = Q \times d \times \varepsilon \times \Delta\eta\,, \quad (3)$$

где $\Delta\eta$ - улучшение эффективности за счет оптимизации маршрутов и регулировки светофоров.

Исходя из анализа данных о внедрении систем управления движением в крупных мегаполисах повышает эффективность на 20%, что приводит к снижению выбросов CO_2 на 15%, при условии, что исходные показатели были $\Delta E_{CO_2}^0$ [9].

Автоматизация транспортных средств способствует снижению расхода топлива за счет оптимизации скоростных режимов и снижения тормозных и разгонных расходов. Пусть средний расход топлива без автоматизации R_0, а при автоматизации он уменьшается на ΔR:

$$R_{AV} = R_0 \times (1 - \delta), \quad (4)$$

где – коэффициент снижения расхода топлива (обычно 10-20%).

Соответственно, снижение выбросов CO_2 определяется как:

$$\Delta E_{CO_2}^{AV} = Q \times d \times \varepsilon \times \delta, \quad (5)$$

что при $Q = 10^6$ т, d = 500 км, ε = 0.2 кг CO_2/т·км, и δ = 0.15 дает снижение порядка:

$$\Delta E_{CO_2}^{AV} \approx 10^6 \times 500 \times 0.2 \times 0.15 = 1.5 \times 10^7 \text{ кг } CO_2 ,$$

что составляет значительную экологическую выгоду.

Для оценки эффективности интеграции технологий используется модель комбинированного воздействия:

$$E_{total} = E_0 \times (1 - \eta_{ISU}) \times (1 - \eta_{AV}) \times (1 - \eta_{ITS}), \quad (6)$$

где $\eta_{ISU}, \eta_{AV}, \eta_{ITS}$ – показатели снижения выбросов по соответствующим технологиям.

При условии, что каждое из направлений обеспечивает снижение выбросов на 15%, совокупный эффект достигается по формуле:

$$E_{final} = E_0 \times (1 - 0.15)^3 \approx E_0 \times 0.614,$$

то есть снижение выбросов примерно на 38,6%.

Интеграция технологий интеллектуального транспорта обладает значительным потенциалом для минимизации экологического воздействия мультимодальных перевозок. Однако для успешной реализации данного потенциала необходимо выполнение ряда ключевых условий:

- Разработка и внедрение международных стандартов и регламентов в сфере интеллектуального транспорта

Интеллектуальный транспорт (ИТ) представляет собой комплекс передовых технологий, направленных на повышение эффективности, безопасности и экологической устойчивости транспортной системы. Для достижения этих высоких целей необходимо создание унифицированных нормативных документов, регулирующих функционирование и взаимодействие компонентов ИТ на глобальном уровне. Это обеспечит сопоставимость и интеграцию различных технологических решений, что является критически важным для формирования единой транспортной экосистемы.

Согласно данным Международного агентства по интеллектуальным транспортным системам (ITS), более 70% мировых транспортных систем уже интегрируют элементы

ИТ, что свидетельствует о высокой актуальности задачи их стандартизации. Однако отсутствие единых стандартов и регламентов представляет собой существенное препятствие для международного сотрудничества и обмена передовым опытом, что существенно замедляет прогресс в данной области.

- Обеспечение технологической совместимости и интеграции

Для создания эффективной и устойчивой системы интеллектуального транспорта необходима разработка и внедрение стандартизированных протоколов взаимодействия между компонентами транспортной инфраструктуры, включая датчики, системы управления движением, информационные платформы и другие элементы. Это позволит обеспечить бесшовную интеграцию и функционирование различных технологий, что является ключевым фактором для повышения эффективности и безопасности транспортной системы.

Согласно данным Всемирного банка, внедрение стандартов в области ИТ может привести к снижению эксплуатационных затрат на транспортные системы на 15-20%. Это достигается за счет оптимизации транспортных потоков, уменьшения числа инцидентов и повышения энергоэффективности. Таким образом, стандартизация ИТ является не только техническим, но и экономическим императивом для транспортной отрасли.

- Проведение фундаментальных и прикладных исследований

Научные исследования в сфере интеллектуального транспорта направлены на разработку инновационных решений, способствующих повышению эффективности, безопасности и экологической устойчивости транспортных систем. Особое внимание уделяется созданию надежных и масштабируемых технологий, которые могут быть интегрированы в существующие транспортные инфраструктуры.

Согласно отчетам Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), около 30% текущих исследований в области ИТ сосредоточены на разработке автономных транспортных средств. Это подчеркивает значимость фундаментальных исследований для создания новых технологий, способных радикально трансформировать транспортную отрасль.

- Обеспечение финансирования и поддержки со стороны инвесторов

Внедрение интеллектуальных транспортных систем требует значительных инвестиций, которые могут достигать нескольких миллиардов долларов. По данным Международной ассоциации интеллектуальных транспортных систем (ITSA), стоимость реализации ИТ-проектов в транспортной сфере может варьироваться в широких пределах.

Для привлечения инвестиций необходимо создание благоприятных условий, включая разработку эффективных финансовых механизмов, предоставление налоговых льгот и других стимулов. Это позволит обеспечить устойчивое развитие инфраструктуры ИТ и ускорить внедрение передовых технологий в транспортную отрасль.

Согласно исследованиям McKinsey & Company, государственные инвестиции в ИТ могут привести к увеличению валового внутреннего продукта (ВВП) на 1-2% в долгосрочной перспективе. Частные инвестиции также играют важную роль, обеспечивая до 50% финансирования проектов в данной области. Таким образом, синергия государственных и частных инвестиций является ключевым фактором для успешного развития интеллектуального транспорта.

Технологии «умного» транспорта представляют собой инновационное направление в сфере экологической оптимизации мультимодальных перевозок. Их внедрение способствует значительному снижению выбросов парниковых газов, улучшению качества атмосферного воздуха и повышению эффективности

использования транспортных ресурсов. Интеграция этих технологий в глобальную транспортную инфраструктуру открывает новые перспективы для создания устойчивых и экологически безопасных транспортных систем, что является критически важным фактором для обеспечения устойчивого развития и охраны окружающей среды.

Выводы

1) Концепция «умного» транспорта базируется на применении передовых информационных и коммуникационных технологий, включая интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (ИИ) и автоматизированные системы управления. Эти технологии позволяют осуществлять мониторинг и оптимизацию транспортных потоков в реальном времени, что способствует снижению транспортной нагрузки и, как следствие, уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

2) Одним из ключевых аспектов «умного» транспорта является его способность к интеграции различных видов транспорта (автомобильного, железнодорожного, воздушного, водного) в единую, синергетически функционирующую систему. Это позволяет не только повысить общую эффективность транспортных систем, но и минимизировать экологические риски, связанные с использованием ископаемого топлива.

3) Применение «умных» технологий в транспортной сфере также способствует развитию концепции «нулевых выбросов», которая предполагает полное исключение углеродного следа от транспортных средств. Это может быть достигнуто за счет использования электрических и водородных транспортных средств, а также внедрения систем рекуперации энергии.

4) Математические модели демонстрируют, что интеграция технологий «умного транспорта» способна обеспечить значительное снижение экологического воздействия мультимодальных перевозок. Таким образом, интеграция технологий «умного» транспорта в глобальную транспортную инфраструктуру представляет собой важный шаг на пути к созданию устойчивых и экологически безопасных транспортных систем. Это, в свою очередь, способствует достижению целей устойчивого развития, определенных в рамках ООН, и играет ключевую роль в сохранении экологического баланса планеты.

Список литературы:

1. Global Industry Analysis : отчет / Междунар. агентство по интеллект. транспорт. системам. – 2022.

2. The Impact of Intelligent Transport Systems on Greenhouse Gas Emissions Reduction : отчет / Transport for London. – London, 2020.

3. Smart and Sustainable Mobility in Singapore : отчет / Land Transport Authority. – Singapore, 2021.

4. NOx Emissions Reduction Through Truck Emission Control Systems : отчет / Umweltbundesamt (German Environment Agency). – Dessau-Roßlau, 2020.

5. Reducing CO2 Emissions in Public Transport Through Emission Control Systems : отчет / Stockholm Environment Administration. – Stockholm, 2020.

6. Environmental Impact of Smart Truck Emissions Monitoring Systems : отчет / Australian Bureau of Statistics. – Canberra, 2024.

7. Emissions of NOx and Air Quality Improvement Through Public Transport Emission Monitoring : отчет / Netherlands Environmental Assessment Agency. – The Hague, 2021. – Текст : параллельный на англ. и рус. яз.

8. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability : доклад / IPCC. – Geneva, 2022. – (Шестой оценочный доклад; WG II).

9. Bigazzi A. Y., Rouleau M. Can traffic management strategies improve urban air quality? A review of the evidence // Journal of Transport & Health. 2017. Vol. 7. P. 111-124. DOI: 10.1016/j.jth.2017.08.001.

10. International Agency for ITS: [веб-сайт]. URL: https://www.itsa.org (дата обращения: 15.05.2025)

11. Зарецкая Лидия Максимовна Исследование возможностей применения «Зеленых» технологий при управлении цепями поставок // Торгово-экономический журнал. 2015. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vozmozhnostey-primeneniya-zelenyh-tehnologiy-pri-upravlenii-tsepyami-postavok (дата обращения: 15.05.2025).

12. Володарец, Н. В. К вопросу создания информационно-аналитической системы V2I мониторинга и управления транспортными средствами / Н. В. Володарец // XIV Всероссийское совещание по проблемам управления : сборник научных трудов, Москва, 17–20 июня 2024 года. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2024. – С. 1786-1789. – EDN DOLVLM.

13. Development of the Analytical System for Vehicle Operating Conditions Management in the V2I Information Complex Using Simulation Modeling / M. Volodarets, I. Gritsuk, Y. Ukrainskyi [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – Vol. 5, No. 3-107. – P. 6-16. – DOI 10.15587/1729-4061.2020.215006. – EDN WFLOEE.

14. Сосновская М. С. Проблемы и перспективы развития "зеленой" логистики в России // Инновационная наука. 2018. №5. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-razvitiya-zelenoy-logistiki-v-rossii (дата обращения: 15.05.2025).

15. Анисимова А. И., Лебедева А. С. Исследование инноваций в сфере экологической безопасности транспорта мегаполиса // Экономика и экологический менеджмент. 2020. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-innovatsiy-v-sfere-ekologicheskoy-bezopasnosti-transporta-megapolisa (дата обращения: 15.05.2025).

16. Жураева Г.Ш., Бекетов Т.К., Камилов О.Ш. Современные системы управления дорожным движением транспорта и логистики, инновационные идеи и технологии // Universum: технические науки. 2024. №2 (119). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-sistemy-upravleniya-dorozhnym-dvizheniem-transporta-i-logistiki-innovatsionnye-idei-i-tehnologii (дата обращения: 15.05.2025).

References

1. Global Industry Analysis [Global Industry Analysis]. Report. International Agency for Intelligent Transport Systems, 2022. (In Russ.).

2. The Impact of Intelligent Transport Systems on Greenhouse Gas Emissions Reduction. Report. Transport for London, London, 2020.

3. Smart and Sustainable Mobility in Singapore. Report. Land Transport Authority, Singapore, 2021.

4. NOx Emissions Reduction Through Truck Emission Control Systems. Report. Umweltbundesamt (German Environment Agency), Dessau-Roßlau, 2020.

5. Reducing CO_2 Emissions in Public Transport Through Emission Control Systems. Report. Stockholm Environment Administration, Stockholm, 2020.

6. Environmental Impact of Smart Truck Emissions Monitoring Systems. Report. Australian Bureau of Statistics, Canberra, 2024.

7. Emissions of NOx and Air Quality Improvement Through Public Transport Emission Monitoring. Report. Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague, 2021. (Parallel text in English and Russ.).

8. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Report. IPCC, Geneva, 2022. (Sixth Assessment Report; WG II).

9. Bigazzi, A. Y., & Rouleau, M. (2017). Can traffic management strategies improve urban air quality? A review of the evidence. Journal of Transport & Health, 7, 111-124. DOI: 10.1016/j.jth.2017.08.001

10. International Agency for ITS: [Website]. Available at: https://www.itsa.org (accessed: 15.05.2025).

11. Zaretskaya L. M. (2015). Research on the Possibilities of Applying "Green" Technologies in Supply Chain Management [Issledovanie vozmozhnostey primeneniya "Zelenykh" tekhnologiy pri upravlenii tsepyami postavok]. Trade and Economic Journal, no. 2. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vozmozhnostey-primeneniya-zelenyh-tehnologiy-pri-upravlenii-tsepyami-postavok (accessed: 15.05.2025). (In Russ.).

12. Volodarets N. V. (2024). *On the Creation of an Information-Analytical V2I System for Monitoring and Managing Vehicles* [K voprosu sozdaniya informatsionno-analiticheskoy sistemy V2I monitoringa i upravleniya transportnymi sredstvami]. In: *XIV All-Russian Conference on Control Problems: Collection of Scientific Papers, Moscow, June 17–20, 2024*. Moscow: Trapeznikov Institute of Control Sciences RAS, pp. 1786–1789. EDN DOLVLM. (In Russ.).

13. Volodarets M., Gritsuk I., Ukrainskyi Y. et al. (2020). Development of the Analytical System for Vehicle Operating Conditions Management in the V2I Information Complex Using Simulation Modeling. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(3-107), 6–16. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.215006. EDN WFLOEE.

14. Sosnovskaya M. S. (2018). Problems and Prospects of "Green" Logistics Development in Russia [Problemy i perspektivy razvitiya "zelenoy" logistiki v Rossii]. Innovative Science, no. 5. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-razvitiya-zelenoy-logistiki-v-rossii (accessed: 15.05.2025). (In Russ.).

15. Anisimova A. I., Lebedeva A. S. (2020). Research on Innovations in the Field of Environmental Safety of Megacity Transport [Issledovanie innovatsiy v sfere ekologicheskoy bezopasnosti transporta megapolisa]. Economics and Environmental Management, no. 3. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-innovatsiy-v-sfere-ekologicheskoy-bezopasnosti-transporta-megapolisa (accessed: 15.05.2025). (In Russ.).

16. Zhuraeva G. Sh., Beketov T. K., Kamilov O. Sh. (2024). Modern Traffic and Logistics Management Systems: Innovative Ideas and Technologies [Sovremennye sistemy upravleniya dorozhnym dvizheniem transporta i logistiki, innovatsionnye idei i tekhnologii]. Universum: Technical Sciences, no. 2 (119). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-sistemy-upravleniya-dorozhnym-dvizheniem-transporta-i-logistiki-innovatsionnye-idei-i-tehnologii (accessed: 15.05.2025). (In Russ.).

Odintsova A. A., Burlakova G.Y.

SMART TRANSPORT: "SMART TRANSPORT": PROMISING TECHNOLOGIES TO MINIMISING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF MULTIMODAL TRANSPORTATION

Abstract. *Modern logistics infrastructure is unthinkable without multimodal transportation, ensuring global connectivity and operational traffic flows. However, the widespread use of this form of transportation is associated with an increase in anthropogenic*

pressure on the environment. The relevance of the research is determined by the need to find and implement effective solutions to minimize the negative environmental impact of the transport sector. This article discusses the key technologies of "smart transport", a high—tech approach aimed at environmental optimization of multimodal systems. A systematic analysis of the components and effects of such solutions, their integration into the transport infrastructure, as well as an assessment of the contribution to reducing greenhouse gas emissions is presented. Mathematical models for quantitative analysis of the ecological potential of technologies are presented. The conditions and factors contributing to the successful implementation of smart transport on a global scale are outlined.

Keywords: multimodal transportation, environmental sustainability, intelligent transport, automation, IoT, ITS, mathematical modeling, sustainable development.

Сведения об авторах:

Одинцова Анастасия Александровна
ФГБОУ ВО «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, ДНР, Российская Федерация
Ассистент кафедры
Магистр
e-mail: odyntsova_aa15@mail.ru

Бурлакова Галина Юрьевна
ФГБОУ ВО «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, ДНР, Российская Федерация
Заведующая кафедрой
к.т.н., доцент
e-mail: Burlakovagu@yandex.ru

Information about the authors:

Odintsova Anastasiia Aleksandrovna
Priazovsky State Technical University, Mariupol, DPR, Russian Federation
Assistant of the Department
Master
e-mail: odyntsova_aa15@mail.ru

Burlakova Galina Yuryevna
Priazovsky State Technical University, Mariupol, DPR, Russian Federation
Head of the Department
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
e-mail: Burlakovagu@yandex.ru

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

УДК 656.1:316.48

Надирян С.Л., Коновалова Т.В., Гонтарук А.В., Рынкова П.А.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК НА ПРИМЕРЕ РЕГУЛЯРНОГО МАРШРУТА В Г. КРАСНОДАРЕ

Аннотация. *Городской пассажирский транспорт играет важнейшую роль в жизни людей, так как от его нормального функционирования зависят работа остальных отраслей производства любого населенного пункта. В настоящее время происходит активное расширение городов, вызванное приростом населения. С активным ростом населения города возрастает и потребность в транспорте. Самым распространенным видом городского пассажирского транспорта является автобус, так как данный вид транспорта является наиболее экономически выгодным. Связано это с тем, что для запуска автобуса на маршруты требуется только наличие автомобильной дороги (в отличие от трамвая, где требуется выделение земли на рельсовое полотно, что несет дополнительные финансовые вложения) и установка остановочных пунктов. Автобусы используют для движения двигатели внутреннего сгорания на дизельном топливе, что не требует дополнительных финансовых вложений на строительство контактной сети линий электропередач (как для трамваев и троллейбусов).Актуальность работы состоит в том, что при совершенствовании организации перевозок регулярными маршрутами городского общественного транспорта, возрастёт его привлекательность использования и жители города пересядут на него, вследствие сократится количество заторов и количество вредных выбросов в атмосферу.*

Ключевые слова: *автобус, городской транспорт, доступность, комфорт, надежность, совершенствование, регулярный маршрут, пассажирский транспорт.*

Постановка задачи

Пассажирский транспорт в современной России играет ключевую роль в жизни городов, обеспечивая мобильность населения и связывая регионы. Городской маршрутный транспорт, особенно автобусы, остается самым массовым и доступным видом перевозок благодаря маневренности и охвату. Однако из-за роста численности населения и расширения городов увеличивается транспортная нагрузка. Это требует развития и модернизации пассажирского транспорта, включая обновление подвижного состава. Краснодар, как активно развивающийся город, сталкивается с проблемой перегруженности дорог из-за большого количества личного транспорта, что ухудшает экологию и повышает риск ДТП. Решение — повышение привлекательности общественного транспорта за счет доступности и комфорта.

Анализ последний исследований

Исследование проведено на основе анализа регулярного маршрута 52 в Краснодаре с учетом современных тенденций в организации пассажирских перевозок, включая применение GIS-технологий, алгоритмов анализа пассажиропотока и внедрение интеллектуальных транспортных систем. Особое внимание уделено вопросам цифровизации транспорта, экологическим аспектам, таким как использование электробусов, а также повышению удобства пассажиров через мобильные сервисы и бесконтактную оплату. Основной фокус направлен на решение актуальных для Краснодара проблем, включая растущий пассажиропоток, перегруженность маршрутов в часы пик, неэффективное распределение транспорта и задержки движения из-за дорожных заторов. Полученные данные позволяют предложить конкретные меры по совершенствованию работы маршрута 52 и городской транспортной системы в целом.

Цель работы

Целью работы является разработка методики оптимизации пассажирских перевозок на регулярных маршрутах городского транспорта с учетом динамики пассажиропотока, транспортной загруженности и экологических факторов на примере регулярного маршрута в Краснодаре.

Новизна исследования заключается в комплексном подходе, объединяющем анализ реальных данных о движении транспорта, моделирование альтернативных маршрутных схем и оценку их эффективности с точки зрения времени в пути, экономичности и снижения вредных выбросов.

Предлагаемые решения учитывают специфику растущего города с высокой транспортной нагрузкой и направлены на повышение качества обслуживания пассажиров при одновременном снижении эксплуатационных затрат.

Основная часть

Сейчас подвижной состав устарел, а его количество не соответствует потребностям растущего населения. Увеличение числа транспорта и его вместимости поможет решить эти проблемы.

Из существующих проблем вытекают следующие задачи:

1. Провести анализ существующих автобусных маршрутов в г. Краснодаре.

2. Провести анализ подвижного состава, курсирующего на городских маршрутах общего пользования.

3. Предложить масштабируемые мероприятия по совершенствованию маршрута регулярных городских перевозок.

На данный момент в городе Краснодаре насчитывается 92 автобусных маршрута, из них 59 являются городскими. В результате анализа основных характеристик городских маршрутов, было установлено, что количественные характеристики маршрута № 52 с вероятностью 94,9 % можно использовать для оценки аналогичных характеристик генеральной совокупности маршрутов в г. Краснодаре.

Проведем комплексный анализ на примере муниципального автобусного маршрута № 52. Маршрут следования автобуса № 52 в прямом направлении проходит по улицам: Северная, Красная, Офицерская, Шоссе Ростовское, Петра Метальникова, Московская. В обратном направлении по улицам: Московская, Солнечная, Шоссе Ростовское, Офицерская, Красная, Северная.

Объектами тяготения на данном маршруте являются: КубГАУ, ТРЦ «Галерея Краснодар», КубГТУ, ТРЦ «Центр Города», стадион «Динамо», Железнодорожный вокзал и автостанция «Краснодар-2», Екатерининский зал, Чистяковская роща, Бауцентр, ТЦ «Стрелка», РЖД-Медицина.

Автобусный маршрут № 52 на своем пути пересекает два раза трамвайные пути один раз транспортную развязку. На всем своем протяжении автобусный маршрут имеет общие участки с другими маршрутами общественного транспорта, что позволяет пассажирам совершать удобные пересадки как на другие автобусные маршруты, так и на трамваи и троллейбусы.

Длина маршрута в прямом следовании равна 11,948 км, в обратном – 11,855 км. Перевозчиком на данном маршруте является МУП «КТТУ».

Следующим этапом работы было изучении пассажиропотока. Были проведены натурные наблюдения и получены данные о количестве вышедших и вошедших пассажиров на каждом остановочном пункте и число пассажиров, проехавших между остановками на маршруте. Результаты расчета пассажирооборота на маршруте № 52 приведены в таблице 1 для прямого направления и в таблице 2 для обратного направления.

Таблица 1

Анализ пассажиропотока на маршруте № 52 в прямом направлении

Остановочный пункт	Вышло чел.	Вошло чел.	Проехало на перегоне, чел.	Длина перегона, км	Пассажирооборот, пасс.·км
ул. Академика Трубилина	0	35	35	0,440	15,400
ул. Каляева	0	4	39	0,522	20,358
ул. Передерия	0	1	40	0,500	20
ул. Брюсова	0	1	41	0,571	23,411
ул. Тургенева	0	3	44	0,369	16,236
Севастопольская	1	3	46	0,289	13,294
Аэродромная	1	1	46	0,683	31,418
ТРЦ «Галерея»	10	3	39	0,303	11,817
Хакурате	3	0	36	0,600	21,6
Дом Союзов	7	4	33	0,517	17,061
Одесская	7	0	26	0,447	11,622
Гаврилова	3	3	26	0,795	20,67
Екатерининский зал	3	0	23	1,400	32,2
Солнечная	1	2	24	1,500	36
Техносклад	0	0	24	0,288	6,912
Краснодарсталь	0	0	24	0,750	18
Бауцентр	4	1	21	1,409	29,589
Цезаря Куникова	9	2	14	0,256	3,584
ЖК «Любимый дом»	1	1	14	0,362	5,068
Петра Метальникова	14	0			
Итого:	64	64	-	11,948	354,24

По таблице 2 можно сделать вывод, что в прямом направлении на маршруте № 52 проехало 64 человека, в сумме на всех перегонах проехало 609 человек, пассажирооборот составил 354,24 пасс · км.

Таблица 2

Анализ пассажиропотока на маршруте № 52 в обратном направлении

Остановочный пункт	Вышло чел.	Вошло чел.	Проехало на перегоне, чел.	Длина перегона, км	Пассажирооборот, пасс.·км
Петра Метальникова	0	5	5	0,513	2,565
Ахтарская	0	0	5	0,563	2,815
Гомельская	1	0	4	0,372	1,488
Жигулёвская	2	0	2	1,200	2,4
Солнечная	0	0	2	0,620	1,24
Центральная	0	2	4	0,600	2,4
Солнечная	0	0	4	1,200	4,8
Екатерининский зал	1	1	4	0,630	2,52
Кинотеатр Аврора	0	2	6	0,585	3,51
Гаврилова	1	1	6	0,330	1,98
Одесская	0	0	6	0,560	3,36
Дом Союзов	2	0	4	0,440	1,76
Хакурате	0	0	4	0,250	1
ТРЦ «Галерея»	0	6	10	0,462	4,62
Аэродромная	0	0	10	0,600	6
Севастопольская	0	1	11	0,250	2,75
Тургенева	1	0	10	0,690	6,9
Брюсова	3	0	7	0,510	3,57
Передерия	0	0	7	1,040	7,28
Каляева	4	0	3	0,440	1,32
Академика Трубилина	3	0			
Итого	18	18	-	11,855	64,278

По таблице 3 можно сделать вывод, что в обратном направлении на маршруте № 52 проехало 18 человек, в сумме на всех перегонах проехало 114 человек, пассажирооборот составил 64,278 пасс. · км.

Следующим этапом работы был анализ соответствия работы подвижного состава и самого подвижного состава установленным показателям качества перевозок пассажиров.

Существующий подвижной состав, задействованный на маршруте № 52, представлен 6 автобусами средней вместимости марки МАЗ-206, которые совершают рейсы с интервалом движения 11 – 15 минут. Время выхода ПС на линию - 5:05, выхода с линии — 23:15. За рабочее время один автобус совершает 6 – 7 рейсов Внешний вид ПС на маршруте № 52 представлен на рисунке 1, а его характеристики представлены в таблице 3.



Рисунок 1. Внешний вид подвижного состава марки МАЗ-206 на маршруте № 52

Таблица 3

Характеристика подвижного состава марки МАЗ-206 на маршруте № 52

Показатель	Значение
Класс автобуса	Средний
Пассажировместимость, чел.	64-72
Количество сидячих мест, чел.	27
Длина · ширина · высота, мм	8800 · 2550 · 3020
Максимальная скорость, км/ч	87
Количество и тип дверей	2
Емкость бака, л	140
Расход топлива, л/100 км	10-15
Класс топлива	Дизельное
Цена, млн. руб.	7
Коробка передач, число передач	6
Мощность двигателя, кВт/л.с.	160/218
Технически допустимая масса, приходящаяся на переднюю ось, кг	4650
Технически допустимая масса, приходящаяся на заднюю ось, кг	8800
Технически допустимая масса, кг	13450

Полунизкополый автобус МАЗ-206 предназначен для перевозки пассажиров на городских маршрутах и включает в себя:

− Откидной трап для заезда инвалидной коляски с ручкой.

− Систему наклона кузова «Книлинг» для облегчения посадки/высадки пассажиров.

− Оборудование для крепления инвалидной коляски.

Автобус соответствуют требования, предъявляемым для работы на городских автобусных маршрутах, но не требует модернизации системы оповещения пассажиров, согласно современных норм.

Качество пассажирских автобусных перевозок определяется совокупностью показателей, характеризующих уровень удовлетворения потребностей пассажиров в транспортном обслуживании.

Проанализировав режим работы автобусного маршрута № 52, можно сделать вывод, что существующий режим работы автобусного маршрута не удовлетворяет качеству транспортного обслуживания населения ввиду:

1. Нехватка подвижного состава для осуществления перевозок
2. Отсутствие информационного табло

В связи с этим необходимо увеличить количество ПС на данном маршруте путем закупки новых. Согласно расчетам потребного количества автобусов на маршруте, необходимо приобрести 3 единицы подвижного состава, чтобы снизить время интервала и обеспечить вывоз граждан, так как сейчас на маршруте курсирует 6 единиц подвижного состава, а расчет показал необходимость 9 единиц подвижного состава

Исходя из анализа пассажиропотока и действующего подвижного состава на маршруте №52, выберем автобусы марки МАЗ-206. Это позволит обеспечить высокую наполняемость автобуса, ремонтопригодность и взаимозаменяемость запчастей. Стоимость одного автобуса составляет 8,5 млн. руб., следовательно, общая сумма затрат на данное мероприятие составит 25,5 млн. руб. Подвижной состав предлагается приобрести в лизинг, что позволит предприятию осуществить: низкий стартовый взнос, возможность приобретения автобусов без значительных единовременных затрат, постепенная выплата стоимости автобусов.

Помимо увеличения подвижного состава, также необходимо приобрести информационное табло в каждый автобус. Установка ТВ-мониторов в автобусах может иметь несколько важных целей и преимуществ:

1. Развлечение пассажиров.
2. Информационные сообщения.
3. Реклама.
4. Обучение и безопасность.

Таким образом, установка информационного табло в автобусах может значительно повысить качество обслуживания пассажиров и сделать поездки более комфортными и информативными.

В заключение можно отметить, что эффективная система транспортного обслуживания является ключевым фактором для повышения качества жизни горожан и развития городской инфраструктуры. Проведенный анализ существующих проблем в организации пассажирских перевозок выявил ряд недостатков, таких как нерегулярность маршрутов, недостаточное количество подвижного состава и низкий уровень обслуживания пассажиров.

Выводы

1. Внедрение современных технологий, таких как информационные табло, позволит улучшить информирование пассажиров.

2. Оптимизация расписания и маршрутов с учетом реальных потребностей населения способствует увеличению привлекательности общественного транспорта.

3. Важным аспектом является необходимость повышения уровня комфорта и безопасности для пассажиров.

4. Перспективами является внедрение предиктивной аналитики для адаптивного управления транспортными потоками.

5. Успешное внедрение предложенных мер требует комплексного подхода, взаимодействия всех заинтересованных сторон и постоянного мониторинга результатов, что позволит создать современную и эффективную систему пассажирских перевозок в г. Краснодаре.

Список литературы

1. К вопросу о показателях качества на городском пассажирском транспорте / Т. В. Коновалова, С. Л. Надирян, А. Е. Арешкина // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 1. – С. 137-140. – EDN VJZBLY.

2. Куликов А.В., Петров С.К. Оптимизация маршрутной сети городского пассажирского транспорта с использованием интеллектуальных транспортных систем // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7, № 3. – С. 45–62.

3. Смирнова Е.А., Иванов Д.С. Применение Big Data и IoT для управления пассажиропотоком в умных городах // Информационные технологии в транспорте. – 2022. – Т. 10, № 4. – С. 88–104.

4. Гордеев М.П., Леонтьева О.Н. Экологизация городского транспорта: анализ эффективности внедрения электробусов (на примере г. Краснодара) // Экология и транспорт. – 2023. – Т. 5, № 1. – С. 112–128.

5. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / И.В. Спирин. – 5 изд., перераб. – М.: Издательский центр «Академия», 2010 - 400 с.

6. Пассажирские автомобильные перевозки: Учебник для вузов / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Вельможин, С.А. Ширяев; Под ред. В.А. Гудкова. - М.: Горячая линия - Телеком, 2006. – 448 с.

7. Ситуационное управление автотранспортными системами. схема и сценарии управления городским пассажирским транспортом. Рассоха В.И. Вестник Оренбургского государственного университета. 2010. № 4 (110). С. 142-146.

8. Надирян, С. Л. Методика оптимизации численности автотранспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городского пассажирского транспорта: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Надирян София Левоновна, 2024 - 140 с. - EDN KLNFNI.

9. Оптимизация численности автотранспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городских агломераций: монография / Д.А. Дрючин Т.В. Коновалова, Е.А. Лебедев, С.Л. Надирян, В.И. Рассоха, ФГБОУ ВО "Оренбургский государственный университет", ФГБОУ ВО "Кубанский государственный технологический университет". - Краснодар: Издательский Дом - Юг, 2024. - 178.

10. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса :учеб. пособие / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, И.Н. Котенкова. Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2024. - 256

11. Программа расчёта себестоимости перевозки пассажиров по муниципальным маршрутам регулярных перевозок \ Надирян С.Л., Дрючин Д.А., Рассоха В.И. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023668943, 06.09.2023. Заявка № 2023667650 от 25.08.2023.

12. Программа расчета технико-экономических показателей работы автобусов на регулярном маршруте городского пассажирского транспорта при обеспечении оптимальной наполняемости салона. Надирян С.Л., Дрючин Д.А., Рассоха В.И., Изюмский А.А. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024619554, 24.04.2024. Заявка от 18.04.2024

13. Программа расчета численности транспортных средств, обслуживающих регулярный маршрут городского пассажирского транспорта при обеспечении оптимальной наполняемости салона. Надирян С.Л., Дрючин Д.А., Рассоха В.И., Изюмский А.А. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024660023, 02.05.2024. Заявка от 18.04.2024.

14. Модель определения оптимального количества маршрутных транспортных средств. Бочаров И.А., Власов Ю.Л., Рассоха В.И. Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 10 (129). С. 49-53.

References

1. Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Areshkina A.E. (2022). On the indicators of quality in urban passenger transport [K voprosu o pokazatelyakh kachestva na gorodskom passazhirskom transporte]. *Science. Technology. Technologies (Polytechnic Bulletin)*, no. 1, pp. 137-140. EDN VJZBLY. (in Russian).

2. Kulikov A.V., Petrov S.K. (2021). Optimization of urban passenger transport route networks using intelligent transport systems [Optimizatsiya marshrutnoi seti gorodskogo passazhirskogo transporta s ispolzovaniem intellektualnykh transportnykh system]. *Transport Systems and Technologies*, vol. 7, no. 3, pp. 45–62. (in Russian).

3. Smirnova E.A., Ivanov D.S. (2022). Application of Big Data and IoT for passenger flow management in smart cities [Primenenie Big Data i IoT dlya upravleniya passazhiropotokom v umnykh gorodakh]. *Information Technologies in Transport*, vol. 10, no. 4, pp. 88–104. (in Russian).

4. Gordeev M.P., Leontyeva O.N. (2023). Greening urban transport: analysis of the efficiency of electric bus implementation (case study of Krasnodar) [Ekologizatsiya gorodskogo transporta: analiz effektivnosti vnedreniya elektrobusov (na primere g. Krasnodara)]. *Ecology and Transport*, vol. 5, no. 1, pp. 112–128. (in Russian).

5. Spirin I.V. (2010). *Organization and management of passenger road transport: a textbook for students of secondary vocational education* [Organizatsiya i upravlenie passazhirskimi avtomobilnymi perevozkami]. 5th ed., revised. Moscow: Akademiya, 400 p. (in Russian).

6. Gudkov V.A., Mirotin L.B., Velmozhin A.V., Shiryaev S.A. (eds.) (2006). *Passenger road transport: a textbook for universities* [Passazhirskie avtomobilnye perevozki]. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 448 p. (in Russian).

7. Rassokha V.I. (2010). Situational management of road transport systems: scheme and scenarios for urban passenger transport management [Situatsionnoe upravlenie avtotransportnymi systemami. Skhema i stsenarii upravleniya gorodskim passazhirskim transportom]. *Bulletin of Orenburg State University*, no. 4 (110), pp. 142-146. (in Russian).

8. Nadiryan S.L. (2024). *Methodology for optimizing the number of vehicles serving regular routes of urban passenger transport* [Metodika optimizatsii chislennosti avtotransportnykh sredstv, obsluzhivayushchikh regulyarnye marshruty gorodskogo passazhirskogo transporta]. PhD thesis, 140 p. EDN KLNFNI. (in Russian).

9. Dryuchin D.A., Konovalova T.V., Lebedev E.A., Nadiryan S.L., Rassokha V.I. (2024). *Optimization of the number of vehicles serving regular routes of urban agglomerations* [Optimizatsiya chislennosti avtotransportnykh sredstv, obsluzhivayushchikh

regulyarnye marshruty gorodskikh aglomeratsiy]. Krasnodar: Izdatelskiy Dom – Yug, 178 p. (in Russian).

10. Konovalova T.V., Nadiryan S.L., Kotenkova I.N. (2024). *Organization of transport services and safety of the transport process* [Organizatsiya perevozochnykh uslug i bezopasnost transportnogo protsessa]. Krasnodar: KubSTU, 256 p. (in Russian).

11. Nadiryan S.L., Dryuchin D.A., Rassokha V.I. (2023). *Program for calculating the cost of passenger transportation on municipal regular routes* [Programma rascheta sebestoimosti perevozki passazhirov po munitsipalnym marshrutam regulyarnykh perevozok]. Certificate of registration of a computer program RU 2023668943, 06.09.2023. Application no. 2023667650 from 25.08.2023. (in Russian).

12. Nadiryan S.L., Dryuchin D.A., Rassokha V.I., Izyumskiy A.A. (2024). *Program for calculating technical and economic indicators of buses on regular urban passenger transport routes with optimal cabin occupancy* [Programma rascheta tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley raboty avtobusov na regulyarnom marshrute gorodskogo passazhirskogo transporta pri obespechenii optimalnoy napolnyaemosti salona]. Certificate of registration of a computer program RU 2024619554, 24.04.2024. Application from 18.04.2024. (in Russian).

13. Nadiryan S.L., Dryuchin D.A., Rassokha V.I., Izyumskiy A.A. (2024). *Program for calculating the number of vehicles serving a regular urban passenger transport route with optimal cabin occupancy* [Programma rascheta chislennosti transportnykh sredstv, obsluzhivayushchikh regulyarnyy marshrut gorodskogo passazhirskogo transporta pri obespechenii optimalnoy napolnyaemosti salona]. Certificate of registration of a computer program RU 2024660023, 02.05.2024. Application from 18.04.2024. (in Russian).

14. Bocharov I.A., Vlasov Yu.L., Rassokha V.I. (2011). A model for determining the optimal number of route vehicles [Model opredeleniya optimalnogo kolichestva marshrutnykh transportnykh sredstv]. *Bulletin of Orenburg State University*, no. 10 (129), pp. 49-53. (in Russian).

Nadiryan S.L., Konovalova T.V., Gontaruk A.V., Rynkova P.A.

IMPROVING THE ORGANIZATION OF PASSENGER TRANSPORTATION USING THE EXAMPLE OF A REGULAR ROUTE IN KRASNODAR

Annotation. *Urban passenger transport plays a crucial role inpeople's lives, as the work of other industries in any locality depends on its normal functioning. Currently, cities are actively expanding due to populationgrowth. With the rapid growth of the city's population, the need for transport is also increasing. The most commontype of urban passenger transport is the bus, as this type of transport is the most economically profitable. This is due to the fact that to launch a bus onroutes, only a highway is required (unlike a tram, which requires the allocation of land to the trackbed, which carries additional financialinvestments) and the installation of stopping points. Buses use diesel-powered internal combustion engines for movement, which does not require additionalfinancial investments for the construction of a contact network of power lines (as for trams and trolleybuses). The relevance ofthe work lies in the fact that with the improvement of the organization of transportation by regular routes of urban public transport, its attractivenessof use will increase and city residents will switch to it, as a result, the number of congestion and the amount of harmful emissions into the atmospherewill decrease.*

Keywords: *bus, urban transport, accessibility, comfort, reliability, improvement, regular route, passenger transport.*

Сведения об авторах:

Надирян София Левоновна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», Российская Федерация, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Московская, д.2,
старший преподаватель кафедры Транспортных процессов и технологических комплексов КубГТУ, кандидат технических наук,
e-mail: Sofi008008@yandex.ru

Коновалова Татьяна Вячеславовна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», Российская Федерация, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Московская, д.2 ,
заведующий кафедрой Транспортных процессов и технологических комплексов КубГТУ, кандидат экономических наук, доцент,
e-mail: Tan_kon@mail.ru

Гонтарук Алиса Викторовна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», Российская Федерация, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Московская, д.2
e-mail: Alisagont14@gmail.com

Рынкова Полина Андреевна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», Российская Федерация, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Московская, д.2
e-mail: Rynkova.polina@bk.ru

Information about the authors:

Nadiryan Sofia Levonovna
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Technological University", Russian Federation, Krasnodar Territory, Krasnodar, Moskovskaya str., 2,
Senior Lecturer at the Department of Transport Processes and Technological Complexes of KubSTU, Candidate of Technical Sciences,
e-mail: Sofi008008@yandex.ru

Konovalova Tatiana Vyacheslavovna
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Technological University", Russian Federation, Krasnodar Territory, Krasnodar, Moskovskaya str., 2 ,
Head of the Department of Transport Processes and Technological Complexes of KubSTU, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
e-mail: Tan_kon@mail.ru

Gontaruk Alisa Viktorovna
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Technological University", Russian Federation, Krasnodar Territory, Krasnodar, Moskovskaya str., 2
e-mail: Alisagont14@gmail.com

Rynkova Polina Andreevna
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Technological University", Russian Federation, Krasnodar Territory, Krasnodar, Moskovskaya str., 2
e-mail: Rynkova.polina@bk.ru

ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

UDC 656.01

Čekerevac Z, Prigoda L.V.

HYDROGEN PRODUCTION AND DISTRIBUTION: LOGISTICAL CHALLENGES

Abstract. *Hydrogen, as an energy carrier, has gained attention as a potential transitional solution to address environmental challenges in transportation. This review examines the logistical challenges of integrating hydrogen as a vehicle fuel, with a focus on its production, transportation, storage, and distribution. While hydrogen offers excellent energy characteristics, its specific properties require tailored solutions across every stage of the supply chain. The study identifies technological, regulatory, and organizational challenges, emphasizing the necessity of innovation, harmonized regulations, and specialized training. Technological advancements, such as improved materials and processes, have the potential to reduce logistical difficulties. Aligning international regulations can ensure safer and more efficient operations. Comprehensive training programs further enhance safety and reliability. Key findings suggest that although hydrogen remains more expensive and energy-intensive than fossil fuels, strategic solutions, such as producing hydrogen using surplus renewable energy, could significantly improve its sustainability. Additionally, optimizing traffic systems and adopting shared transportation practices could complement hydrogen's environmental benefits. Ultimately, this study highlights the potential of hydrogen as a sustainable transportation solution, contingent upon the implementation of innovative and collaborative strategies. Ultimately, this study highlights the potential of hydrogen as a sustainable transportation solution, contingent upon the implementation of innovative and collaborative strategies. It lays the groundwork for further research and practical applications that contribute to the advancement of hydrogen-powered logistics.*

Keywords: *Hydrogen logistics. Hydrogen-powered vehicles. Sustainable hydrogen transportation. Environmental impact of hydrogen. Technological advancements in hydrogen systems. Regulatory harmonization for hydrogen supply chains. Hydrogen supply chain optimization.*

Introduction

The topic of using hydrogen as a fuel has become relevant again, as it always does when existing conditions cannot solve problems due to overly ambitious environmental demands or crises in the supply of fossil fuels.

In 1807, François Isaac de Rivaz constructed the first internal combustion engine that used hydrogen fuel. However, this engine was not suitable for widespread use. The first commercial, single-cylinder, two-stroke engine, the Hippomobile, was invented in 1860 by Etienne Lenoir of France. Around 350-400 Lenoir gas motors were sold. During World War II, junior military technician Boris Shelishch developed the 1941 GAZ-AA, which utilized the

oxygen-hydrogen mixture derived from the deflated barrage balloons, commonly referred to as spent hydrogen [1]. He converted 200 GAZ-AA trucks to run on hydrogen. [2]

The prototypes of hydrogen-powered vehicle engines made in the 1970s coincided with the first oil crisis of 1973-74. A similar but less intense situation occurred during the second oil crisis (1979-80), which arose due to reduced oil production during the Iranian Revolution and the Iran-Iraq War [3]. However, with the end of the crisis, due to favorable oil prices and technical obstacles, hydrogen did not find widespread application in practice and was sidelined until later decades. At the end of the last century, the most developed countries began to focus on reducing CO_2 emissions and seeking more environmentally friendly solutions, so hydrogen again gained importance in transportation.

Types of Hydrogen Powertrains

Currently, there are two main types of hydrogen powertrains used in vehicles [4]:

- Hydrogen Internal Combustion Engine (HICE): These engines utilize hydrogen in the combustion process, like gasoline and CNG engines. Advantages include zero CO_2 emissions and quick refueling.
- Fuel Cell (FC): These vehicles use fuel cells that convert hydrogen into electricity through an electrochemical reaction. Advantages include high efficiency, zero harmful gas emissions, and a more extended range compared to battery electric vehicles [5]

Both types have advantages and challenges, but both can contribute to reducing harmful gas emissions at the point of use and transitioning to more sustainable energy sources.

Hydrogen from a Logistics Perspective

The following characteristics of hydrogen are particularly significant for logistics [4]:

- It is very light, and when used as fuel, its small molecules have a higher potential for leakage. [6] They can easily pass through many materials that would otherwise be impermeable to larger molecules. Therefore, special sealing of pipelines and tanks is required
- Hydrogen-air mixtures have a wide flammability range.
- Hydrogen burns with a colorless flame. That makes it difficult for firefighters to handle in case of a fire.
- High flame speed, 2-3 m/s, and even more.
- High autoignition temperature. [7].
- It has a low density. It is approximately 14.4 times lighter than air and tends to rise when it leaks.
- Because of its lower volumetric heating value, hydrogen must be stored in tanks under very high pressures (20 to 70 MPa) to ensure the necessary vehicle range. Consequently, it must be transported under very high pressure. When transported in tanker trucks, it is usually compressed to a pressure of at least 20 MPa. This facilitates efficient storage and transportation of large quantities of hydrogen.
- Producing hydrogen requires more energy than it can release at the point of use, making it more of an energy carrier than a fuel.

Significance of Study

This study focuses on the current state of hydrogen and the significant logistical challenges connected with using it as a transportation fuel. Hydrogen has distinctive properties that make it both promising and complex to handle. Its ability to reduce harmful emissions positions it as a compelling transitional energy solution. In the ongoing search for sustainable energy sources, hydrogen continues to gain recognition for its potential to bridge current practices with future innovations. However, hydrogen production, transportation, storage, and utilization remain insufficiently explored, leaving significant gaps in our understanding of their practical implementation.

This review emphasizes the necessity of a holistic approach to hydrogen logistics, encompassing technological innovations, regulatory harmonization, and organizational improvements. The study identifies unresolved issues and suggests practical solutions. In doing so, it advances scientific discourse on clean energy adoption and promotes environmentally responsible practices. Additionally, it highlights the importance of training and education to ensure safe and efficient hydrogen management across its supply chain.

Through this exploration, the study establishes itself as a valuable resource for policymakers, industry professionals, and researchers seeking to optimize hydrogen utilization in transportation while minimizing ecological impacts and overcoming logistical hurdles.

Methodology

Although the authors question the current viability of hydrogen as a fuel for vehicle propulsion, this study seeks to answer the following question: How can logistical challenges related to production, transportation, storage, and distribution of hydrogen be overcome to enable its more sustainable use while minimizing environmental impact?

This review paper employs research methods that involve identifying, selecting, analyzing, and synthesizing relevant literature. To ensure comprehensive coverage, the authors conducted searches across academic platforms such as Google Scholar, SpringerLink, MDPI, and KOBSON, as well as specialized websites focused on hydrogen logistics. The search was further enriched by incorporating the authors' prior research on alternative fuels and logistics.

AI tools, including Copilot, DeepSeek, and ChatGPT, were utilized to optimize literature searches. Keywords such as Hydrogen Supply Chain, Hydrogen-Powered Vehicles, Environmental Impact, Logistical Challenges, and Regulatory Harmonization guided the process. While most of the analyzed literature was in English, additional sources in other languages were incorporated for broader perspectives.

Selection criteria ensured relevance and quality by prioritizing peer-reviewed papers and works published within the last five years, with a few pivotal exceptions. Out of 58 sources reviewed, 39 met the inclusion criteria, and 24 were cited directly in the paper.

The authors conducted a critical evaluation of the literature, emphasizing methodological validity and contextual relevance. Information was organized through thematic analysis, identifying key patterns and forming a conceptual framework addressing:

- Logistical challenges in hydrogen production.
- Logistical obstacles in hydrogen transport from production to refueling stations.
- General logistical issues related to hydrogen-powered vehicles.

This thematic approach enabled the integration of findings and the formulation of conclusions. The role of AI tools in suggesting additional insights further refined the analytical process, while the inclusion of multidisciplinary sources enriched the study’s depth and applicability.

Hydrogen Supply Chain: From Production to Stations

The use of hydrogen as a fuel for road vehicles presents significant complexities and challenges. Due to its high production and distribution costs, supplying hydrogen in large quantities requires extensive logistical coordination. Each stage of the supply chain involves intricate processes and inherent risks [4]. In this section, we will analyze the key challenges associated with hydrogen as a vehicle fuel, examining each phase of its production and distribution in greater detail.

Hydrogen Production

In August 2022, Sinopec (China Petroleum & Chemical Corporation) launched the world's largest green hydrogen plant under the Kuqa Project, located in Xinjiang, northwest China (Fig. 1). The facility was designed to produce 20,000 tons of green hydrogen annually,

powered by a 300 MW solar plant, with an estimated production cost of $2.67 per kilogram. This initiative aimed to replace fossil-based hydrogen at Sinopec Tahe refinery, reducing CO_2 emissions by 485,000 tons annually [8]. [1]

However, the project faced major technical issues [9]: electrolyzers supplied by Cockerill Jingli, Longi, and Peric malfunctioned at below 50% of capacity, limiting operations to just 20% of the planned output. Sinopec admitted these problems would delay full capacity until late 2025. In 2024, Sinopec initiated an auction for its Inner Mongolia green hydrogen venture, which includes a 400 km H_2 pipeline to Beijing, starting at $10 million [10, 11]. Despite uncertainties, Sinopec remains committed to hydrogen, establishing a $690 million venture capital fund for hydrogen supply chain investments [12].



Figure 1. Hydrogen storage tanks at Sinopec's Kuqa project, Xinjiang. (Photo: Sinopec)



Figure. 2 The Kintore Hydrogen Hub will be located in Scotland (Source: Statera Energy)

The United Kingdom is also prepared to invest in hydrogen infrastructure. Table 1 presents the top five upcoming green hydrogen projects ranked by electrolyzer capacity.

Table 1

Top Upcoming Green Hydrogen Projects in the UK Source: [13]

Project	Electrolyzer Capacity	Developer	Expected Year of Commissiong
Kintore Green Hydrogen Plant	3000 MW	Department for Energy Security & Net Zero and Worley	2030*
Eastington Humber Hydrogen Hub	1000 MW	Equinor and Centrica	2029
Stanlow Hydrogen Project	350 MW	Essar Oil UK & Progressive Energy	2027
Dolphyn Green Hydrogen Project Phase 3	100-300 MW	ERM	2028
HyGreen Teesside	80 MW	BP p.l.c	2025

* Kintore Green Hydrogen Plant (Fig. 2) is a planned project in Scotland that will produce green hydrogen using renewable energy sources. The project, under development by Statera Energy, is expected to have a total electrolyzer capacity of 3 GW, positioning it as one of the largest hydrogen production facilities in Europe. In its initial phase, the plant will operate with a 500 MW electrolyzer capacity.

[1] The car Hyundai NEXO consumes approximately 1.03 kg per 100 km. [38].

Currently, the project faces local opposition due to concerns about cultural and historical heritage and its environmental impact. Despite these objections, Aberdeenshire Council has recommended its approval. The final investment decision (FID) is expected in the year 2025. Construction is scheduled to begin in 2026, with full operational deployment planned for the early 2030s [14].

Russia has ambitious plans for hydrogen production and is actively developing several large-scale projects across the country. According to Neftegaz [15], Rosatom has planned four pilot hydrogen production facilities in Kaliningrad, Murmansk, and Sakhalin, scheduled to begin operations between 2024 and 2025. In Murmansk, a project aimed at exporting hydrogen to Europe seeks to produce 150 tons annually. On Sakhalin, two hydrogen plants are under development, including one in collaboration with Air Liquide, utilizing wind-powered water electrolysis.

The Russian government has approved the Hydrogen Energy Development Concept, aiming to establish the country as a leading exporter of hydrogen by 2035 [16]. Additionally, Sakhalin Island hosts Russia's first green hydrogen project, which is expected to become operational by June 2024 [17].

These initiatives are part of a broader strategy to build a hydrogen economy; however, they face significant challenges, including technical obstacles and geopolitical factors.

The European Union has a significant number of active and planned hydrogen production facilities. The EU has set ambitious targets for hydrogen infrastructure development, aiming to achieve 10 million tons of domestically produced renewable hydrogen and 10 million tons of imports by 2030 [18]. According to the latest update, the EU has over 160 planned or operational hydrogen production projects [19]. Portugal is emerging as one of Europe’s leaders in green hydrogen infrastructure development. The country has an ambitious national strategy that promotes hydrogen production, storage, and consumption as a key component of the energy transition.

Hydrogen production falls under process manufacturing, relying on industrial methods that utilize chemical reactions and physical processes to transform raw materials into usable products. Techniques such as electrolysis, methane reforming, methane pyrolysis, and biomass gasification require large-scale facilities with high investment costs. The scale of these investments plays a critical role in shaping the supply chains for hydrogen-powered vehicles, exerting both positive and negative effects depending on various conditions. The key positive influencing factors include [4]:

- Economies of scale. Larger investments can lead to higher production capacities and lower production costs per unit.
- Infrastructure. Development of the necessary infrastructure for the production, storage, and distribution of hydrogen, which can improve the efficiency and reliability of supply.

The main negative impacts are [4]:

- Capital costs.
- Technological risks, because of the introduction of new technologies.
- Regulatory challenges, because a production needs to comply with laws and regulations and obtain various permits.

Hydrogen production is notably associated with significant production costs. The costs largely depend on the type of hydrogen. While fuel cells can accommodate all varieties, green hydrogen is considered the most desirable option. Internal combustion engines are less demanding in terms of hydrogen purity. If the motivation for utilizing hydrogen is environmentally, then the most favorable option is one that poses the least negative impact on the environment. The production of green hydrogen through electrolysis is expensive due to the high cost of renewable energy and ranges from 2.8 to 5.6 EUR per kilogram. One kilogram of hydrogen is equivalent to 3.3 kg of gasoline. The production cost of an energy-equivalent

amount of petrol in Austria, e.g., would be around 1.8 EUR [20]. The price of pink- is like green hydrogen but can vary depending on the cost of nuclear energy. A kilogram of blue hydrogen is between 1.4 and 2.8 EUR per kilogram. The most common type, gray hydrogen, has the lowest price, 0.95 to 1.9 EUR. Turquoise hydrogen's price is still developing, but it is expected to be competitive with blue hydrogen. The current production costs of turquoise hydrogen are 1.5 to 2.5 times higher than in the case of gray hydrogen. [21] Black and brown hydrogen are the cheapest but the most harmful to the environment. According to available data, the average production cost of black hydrogen is around 1.5 to 2 EUR/kg [22]. The price of brown hydrogen is similar but may be slightly higher because Lignite is less energy-efficient than coal [22].

Hydrogen production in 2024 remained consistent with 2023 levels, reaching 97 Mt, of which less than 1% was low-emissions hydrogen. [23] According to the same source, "based on announced projects, low-emissions hydrogen (production[2]) could reach 49 Mtpa by 2030", and hydrogen prices for renewable, low-carbon, and gray hydrogen will equalize till 2050.

Hydrogen production methods such as electrolysis and methane reforming demand substantial energy input, making energy efficiency a critical consideration. Assessing the sustainability and economic viability of these processes depends on their ability to optimize energy usage. Energy efficiency is determined by the ratio between the energy supplied to the system and the energy extracted from hydrogen, influencing both environmental impact and cost-effectiveness. The key figures for energy efficiency are [4]:

- Electrolysis efficiency depends on the efficiency of the electrolyzer, which typically ranges between 60% and 80%. That means that 60% to 80% of the input electrical energy is converted into the chemical energy of hydrogen, while the rest is lost as heat. Improving electrolyzer efficiency and using renewable energy sources can significantly reduce energy costs and carbon dioxide emissions.
- Methane reforming (SMR) is currently the most common industrial process for hydrogen production. The SMR process energy efficiency is usually between 65% and 75%. Although this process is more energy-efficient than electrolysis, it generates a significant amount of carbon dioxide. Adding carbon capture and storage (CCS) technologies can reduce emissions but further increase energy costs.

Both methods aim to maximize energy output/input, minimizing costs and environmental impact. Enhancing energy efficiency depends on technological advancements, process refinement, and the integration of renewable energy sources. These improvements can make hydrogen a more viable and sustainable energy option; however, carbon dioxide emissions remain a major challenge in gray and blue hydrogen production.

In hydrogen utilization, minimizing the product's carbon footprint (PCF) is a primary consideration. High purity levels are essential, and production must be entirely free of CO2 emissions. Achieving this requires ongoing advancements in production technologies, ensuring improved efficiency and sustainability, regardless of the hydrogen type.

As hydrogen demand continues to grow, scalability must be a key factor in designing production processes. Facilities should be planned and implemented in a way that ensures production capacity aligns with market needs. The primary challenge in scaling hydrogen production lies in effective planning and investment that reflects demand fluctuations. Given the high costs and complexity of these facilities, both excessive capacity and insufficient manufacturing can lead to inefficiencies and financial strain.

[2] author's note

Transport to Storage

To ensure efficient hydrogen utilization, reducing production costs must be accompanied by the development of appropriate transport, storage, and distribution infrastructure. Due to its unique properties, hydrogen requires specialized handling:

- Its low energy density makes large-scale transport challenging, requiring high-pressure compression or liquefaction to improve cost efficiency.
- As a highly flammable substance, it demands strict safety protocols throughout the transport process.
- The existing infrastructure for hydrogen transport is still underdeveloped, whether via pipelines or specialized vehicles.
- Transport remains expensive, given the need for specialized equipment and vehicles.

Hydrogen can be transported by land (tank trailers or pipelines) or sea, depending on production and storage locations. The choice of transport method depends on volume, available infrastructure, distance, and storage capacity. For large-scale consumers or storage facilities, pipelines offer an efficient solution. While they require significant investment, they provide cost-effective long-distance transport. One advantage is the potential repurposing of existing natural gas pipelines, reducing the need for entirely new infrastructure. Additionally, hydrogen maintains pressure more effectively over long distances than natural gas, allowing transport at lower pressures, typically around 2 to 3 MPa [24]. Due to hydrogen's lower heating value, compared to natural gas, hydrogen pipeline transport is less energy efficient.

From a risk assessment standpoint, the primary concern in transporting hydrogen through metal pipelines is the potential for material failure due to hydrogen migration. Hydrogen can permeate the pipe walls, leading to hydrogen embrittlement, which weakens the material over time. Two key mechanisms contribute to the degradation of pipeline materials [4]:

- Degradation of heat-affected zones (HAZ)
- Growth of fatigue cracks (FCP) in the base pipe material [25].

Research conducted in Juelich, Germany has demonstrated that X70 steel, commonly used for pipelines in Europe, exhibits greater resistance to heat-affected zone (HAZ) degradation and fatigue crack propagation (FCP) compared to X60 steel [26], In evaluating the feasibility of repurposing existing pipelines for pure hydrogen transport, researchers found that introducing 0.015% oxygen into the hydrogen stream effectively limits hydrogen embrittlement in metal pipes, making it the most cost-efficient solution for repurposing small-diameter pipelines (<250 mm) [25].

For larger pipeline diameters, utilizing existing infrastructure without modifications may prove more economical than constructing new pipelines. However, pipe-in-pipe integration, where hydrogen delivery pipes are placed inside natural gas pipelines, is expected to be the most expensive approach. Regardless of whether pipelines are repurposed or newly built, hydrogen must undergo further purification to meet fuel cell requirements. Technologies such as pressure swing adsorption (PSA) can achieve purity levels of 99.9999% [27].

For large-scale hydrogen transport, maritime shipping offers a cost-effective and essential solution for intercontinental distribution. The simplest approach involves transporting compressed hydrogen, which is efficiently compressed between 2 and 25 MPa before being stored in ship tanks [27]. However, one challenge of this method is hydrogen’s low density, which limits storage capacity. Despite this limitation, compressed hydrogen transport remains competitive for distances exceeding several thousand kilometers. [28]

Liquid hydrogen (LH_2) transportation - is becoming increasingly attractive due to its high volumetric density and compatibility with technologies derived from other cryogenic systems, like liquefied natural gas (LNG) shipping. By the end of January 2024, Europe operated 57 large LNG terminals [29], which can be upgraded for LH_2 applications. - One advantage of LH_2 transportation is the ability to locate energy-intensive liquefaction plants on the exporter's side,

where energy costs are lower, while the storage and regasification processes on the importer's side require minimal energy input. The primary challenge remains boil-off loss, as onboard re-liquefaction is not currently available; the optimal solution for managing evaporated hydrogen is to use it as fuel for the ship. Additionally, the HySTRA project between Australia and Japan has demonstrated a successful LH2 transport system, with the first ship, Suiso Frontier, launched in May 2024 and capable of carrying 75 tons of LH_2 at 20K [30].

Shipping hydrogen as ammonia is more convenient than using compressed hydrogen (CGH2) or liquid hydrogen (LH2) because it requires less stringent storage conditions. Ammonia transport is well established—approximately 17.5 million tons are shipped annually using 170 vessels, supported by a mature infrastructure of 38 export and 88 import terminals [31]. However, ammonia synthesis is highly energy intensive, and releasing hydrogen from ammonia (through cracking) demands significant energy, which makes this option less attractive.

Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHCs) present another alternative, offering easier handling and a higher hydrogen density than CGH_2. Although LOHCs benefit from the use of existing transport infrastructure, the dehydrogenation process is energy-intensive, and, to date, no large-scale LOHC shipping systems have been implemented.

For smaller volumes of hydrogen, transporting compressed hydrogen in pressure vessels is the simplest method. Containers equipped with multiple Type III or Type IV pressure vessels can be securely fastened and trucked to accommodate larger quantities. Typically, hydrogen is stored at pressures ranging from 20 to 50 MPa, allowing a single truck to carry between 200 and 1000 kg of hydrogen. Gas container modules can transport between 240 and 1115 kg at 50 MPa [32]. Additionally, gas tube trailers—commonly used for natural gas—are suitable for hydrogen transport when equipped with Type III vessels bundled horizontally. In the USA, hydrogen is regulated at 25 MPa, which results in a capacity of approximately 380 kg per trailer; upgrading from Type III to Type IV vessels increases the capacity to between 560 and 900 kg. It is important to note that CGH2 trailers are typically suitable only for short-distance transport (100–200 km) to meet small-scale needs, such as distributing hydrogen to low-capacity refueling stations.

Alternatively, hydrogen can be transported in liquid form (LH2), which is favorable for medium distances (over 130 km) due to its higher volumetric storage density compared to CGH2. For instance, a 13.7-meter-long cryogenic tank can carry up to 4000 kg of hydrogen at 20 K [33]. A key challenge in LH2 transport is boil-off; however, cryogenic tanks can sustain pressures up to 1.2 MPa—far exceeding those of stationary tanks. During delivery, vented hydrogen is recycled back to the liquefaction plant, and typically about 10% of the liquid hydrogen remains in the tank to maintain cryogenic temperatures.

Other Challenges of Hydrogen Logistics

In addition to hydrogen-specific requirements, broader aspects must be considered when defining the supply chain, including [4]:

1. Regulatory challenges
2. Environmental impact
3. Technological advancements
4. Training and
5. Education

Regulatory challenges associated with hydrogen-powered vehicles arise from the diverse regulations and standards across different countries, complicating international hydrogen transport. The lack of harmonized regulations can lead to discrepancies in safety standards, as well as differences in storage, transport procedures, and infrastructure requirements [34]. For instance, while some nations enforce strict guidelines for hydrogen storage and movement,

others apply more lenient rules, making global operational alignment difficult. Furthermore, varying classifications and preferences for hydrogen sources add another layer of complexity [35].

The transport and storage of hydrogen also have notable environmental implications. One significant risk is hydrogen leakage, which can result in emissions that adversely affect the ozone layer [36]. Although hydrogen serves as a clean energy source at the point of use, the processes involved in its production, transport, and storage—particularly when fossil fuels are used—may generate greenhouse gas emissions. Moreover, escaped hydrogen can facilitate ozone formation in the troposphere, further impacting air quality [37].

Technological advancements are key to optimizing hydrogen transport and storage. Innovations in nanotechnology, such as the development of advanced materials, can enhance both the efficiency and safety of these processes. Additionally, new methods for producing green hydrogen, such as electrolysis, and the increased reliance on renewable energy sources have the potential to lessen the environmental footprint of the hydrogen economy. Improvements in leak detection and pressure control technologies also contribute to safer and more reliable hydrogen systems.

Finally, comprehensive training and education are essential for the safe use of hydrogen. All personnel involved with hydrogen must receive proper training on safety procedures, the unique properties of hydrogen, and correct equipment handling techniques. Specialized training should encompass safety protocols for handling hydrogen under high pressure and working with cryogenic liquids, along with emergency procedures and first aid training to mitigate risks in the event of an accident. Continuous education and periodic retraining, especially when new equipment is introduced, are crucial to ensure that staff remain up to date with the latest technologies and safety practices.

Conclusions

Over the past fifty years, numerous authors, including the authors of this paper, have examined the environmental aspects of motor vehicle propulsion and explored potential solutions. Various fuels and technologies have been tested, yet no universal solution has been found that eliminates environmental impact entirely.

Currently, electric vehicles are widely regarded as the most viable alternative. While their adoption helps reduce pollution in urban areas, the environmental impact shifts elsewhere—to regions where electricity is generated, lithium is mined, and batteries are manufactured. Recycling can mitigate some of these effects, but its implementation is often driven by necessity rather than economic incentives. Electric vehicles can only be considered a true environmental solution if both electricity generation and battery production become sustainable. Until then, their role in reducing pollution remains partial rather than definitive.

This uncertainty has renewed interest in hydrogen as a fuel alternative. As an energy carrier, hydrogen holds immense potential for transporting people and goods, particularly if its production can be made environmentally friendly. In this scenario, hydrogen serves as a transitional solution until more advanced propulsion systems are developed.

Despite hydrogen’s excellent energy properties, its adoption faces a series of logistical challenges. Its unique characteristics require specialized solutions across production, transport, storage, distribution, vehicle tank storage, and energy conversion. However, based on the analyses conducted in sections 3 and 4, it is evident that all technological and organizational hurdles in the hydrogen supply chain can be overcome. With its increasing use and rapid growth trend, hydrogen is becoming an increasingly viable option for vehicle propulsion.

Based on this study and the formulated research question, several key conclusions can be drawn. Technological advancements play a crucial role in addressing logistical challenges in hydrogen production, storage, and distribution. Innovations such as improved hydrogen

production methods, enhanced storage materials, and advanced leak detection systems contribute to greater efficiency and sustainability.

Regulatory harmonization is essential for optimizing the hydrogen supply chain. The alignment of international regulations facilitates safer and more efficient transport, storage, and distribution, enabling broader adoption of hydrogen-powered vehicles. Streamlining regulatory frameworks supports market expansion and enhances industry-wide reliability.

Additionally, training and education significantly improve safety and operational efficiency in hydrogen handling. Comprehensive training programs help mitigate risks, enhance reliability, and ensure proper management throughout the hydrogen supply chain. Investing in specialized education and professional development strengthens technical expertise, reducing operational vulnerabilities.

While essential, hydrogen logistics cannot achieve full environmental potential in isolation. Maximizing its environmental benefits requires integrating hydrogen logistics with efficient traffic management, strengthened public transport networks, and broader adoption of sharing economic practices.

Recommendations for Future Research

To further advance the understanding and practical implementation of hydrogen logistics, future studies could focus on the following key areas:

- *Advancing Green Hydrogen Technologies.* To make green hydrogen more sustainable and accessible, future hydrogen producers should prioritize energy-efficient and cost-effective production methods, such as enhanced electrolysis and renewable energy integration.
- *Optimizing Hydrogen Logistics.* Explore innovative solutions for improving hydrogen transport, storage, and distribution, including advanced materials, intelligent monitoring systems, and supply chain modeling.
- *Establishing Unified Regulations.* Develop harmonized international standards for safety, storage, and transportation to streamline hydrogen adoption and support global collaboration.
- *Assessing Environmental and Economic Impact.* Conduct life cycle assessments and evaluate the long-term economic feasibility of hydrogen compared to fossil fuels and other energy sources.
- *Strengthening Organizational and Human Factors.* Emphasize workforce training, leadership strategies, and cross-disciplinary collaboration to ensure safety and efficiency in hydrogen logistics.

References / Список литературы

1. Gusev A., Dyadyuchenko Y., "'The Mysterious Island' of Boris Shelishch - The Dawn of the Hydrogen Century," International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), no. 4, pp. 1-3, 2002.

2. Universitesi I. T., "History of Hydrogen Cars," [Online]. Available: https://web.itu.edu.tr/celikmuhamm/bil103/company/webpage.html.

3. Graefe L., "Oil Shock of 1978–79," 22 Nov 2013. [Online]. Available: https://www.federalreservehistory.org/essays/oil-shock-of-1978-79.

4. Čekerevac Z., Dvorak Z., Cekerevac D., "Logistical Challenges in Hydrogen Supply Chain for Automotive Applications," MEST Journal – SP FBIM Transactions, vol. 13, no. SP, pp. 49-65, 15 April 2025. DOI:10.12709/mest.13.13.SP.03

5. Le-Boucher N., "Everything there is to know about hydrogen vehicles," 20 Dec 2022. [Online]. Available: https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/everything-there-is-to-know-about-hydrogen-vehicles/.

6. Čekerevac Z., "Powering Motor Vehicles – Hydrogen vs. Methane," Mechanics Transport Communications Academic journal, 2024.

7. Stępień Z., "A Comprehensive Overview of Hydrogen-Fueled Internal Combustion Engines: Achievements and Future Challenges," Energies, no. 14, p. 6504, 2021. DOI:10.3390/en14206504

8. BGEN, "U Kini se gradi najveća fabrika zelenog vodonika na svetu," 15 Aug 2022. [Online]. Available: https://balkangreenenergynews.com/rs/u-kini-se-gradi-najveca-fabrika-zelenog-vodonika-na-svetu/.

9. Dokso A., "Sinopec's Kuqa Green Hydrogen Project Faces Prolonged Challenges," 01 Mar 2024. [Online]. Available: https://energynews.biz/sinopecs-kuqa-green-hydrogen-project-faces-prolonged-challenges/

10. Yihe X., "Sinopec hydrogen venture up for grabs," 22 Apr 2024. [Online]. Available: https://www.upstreamonline.com/hydrogen/sinopec-hydrogen-venture-up-for-grabs/2-1-1630531.

11. Collins L., "Sinopec to sell major green hydrogen producer at auction, raising questions about China's clean H2 build-out," 22 Apr 2024. [Online]. Available: https://www.hydrogeninsight.com/production/sinopec-to-sell-major-green-hydrogen-producer-at-auction-raising-questions-about-chinas-clean-h2-build-out/2-1-1630921.

12. Reuters, "Sinopec sets up $690 million hydrogen-energy-focused venture capital fund," 29 May 2025. [Online]. Available: https://www.reuters.com/business/energy/sinopec-sets-up-690-million-hydrogen-energy-focused-venture-capital-fund-2025-05-29/.

13. Blackridge, "Top 5 Upcoming Green Hydrogen Projects in the UK (2025)," Blackridge, 17 Jan 2025. [Online]. Available: https://www.blackridgeresearch.com/blog/latest-list-of-top-largest-biggest-upcoming-green-hydrogen-h2-plants-projects-in-united-kingdom-uk-great-britain-northern-ireland. [Accessed 10 Jun 2025].

14. Boyle R., "Hydrogen plant approval advised despite objections," 17 Apr 2025. [Online]. Available: https://www.bbc.com/news/articles/cd7v270rqyzo.

15. Minpromtorg RF, "33 projekta po proizvodstvu vodoroda," 18 Oct 2021. [Online]. Available: https://neftegaz.ru/news/Alternative-energy/701989-v-rossii-poyavitsya-33-proekta-po-proizvodstvu-vodoroda/.

16. Pravitel'stvo RF, "Energeticheskaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2035 goda," 09 Jun 2020. [Online]. Available: http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf.

17. Dokso A., "Russia's First Green Hydrogen Project Takes Shape on Sakhalin Island," 03 Jul 2024. [Online]. Available: https://energynews.biz/russias-first-green-hydrogen-project-takes-shape-on-sakhalin-island/.

18. H2 Inframap, "Hydrogen Infrastructure Map," 17 Nov 2022. [Online]. Available: https://www.h2inframap.eu/.

19. GIE, "Update of the Joint Hydrogen Infrastructure Map shows progression of hydrogen infrastructure along value chain," 16 Nov 2023. [Online]. Available: https://www.gie.eu/press/update-of-the-joint-hydrogen-infrastructure-map-shows-progression-of-hydrogen-infrastructure-along-value-chain/.

20. GPP, "Austria Gasoline prices, 04-Nov-2024," 04 Nov 2024. [Online]. Available: https://www.globalpetrolprices.com/Austria/gasoline_prices/.

21. BASF, "Predstavljamo – Vodonik," 16 Oct 2024. [Online]. Available: https://www.basf.com/rs/sr/who-we-are/green-transformation-blog/predstavljamo---vodonik.

22. UNECE, "Hydrogen production technologies and costs," 23 Mar 2024. [Online]. Available: https://unece.org/sites/default/files/2023-03/8.%20Item%206%20-%20Grzegorz%20Pawelec%20-%20Hydrogen%20Europe.pdf.

23. IAE, "Global Hydrogen Review 2024," IAE, 2024. [Online]. Available: https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024. [Accessed 06 04 2025].

24. Wlodek T., Laciak M., Kurowska K., et al., "Thermodynamic analysis of hydrogen pipeline transportation: selected aspects," *AGH Drilling, Oil, Gas,* p. 33:379–396, 2016.

25. Holbrook J., Cialone H., Collings E., et al., "Control of hydrogen embrittlement of metals by chemical inhibitors and coatings," in *Gaseous Hydrogen Embrittlement of Materials in Energy Technologies. Volume 2: Mechanisms, Modelling, and Future Developments*, Sawston, UK, Woodhead Publishing, 2012, p. 129–153.

26. Cerniauskas S., Junco A., Grube T., et al., "Options of natural gas pipeline reassignment for hydrogen: cost assessment for a Germany case study," *Int J Hydrog Energy,* p. 45:12095–12107, 2020.

27. Mahler AGS, "PSA Hydrogen Purification Plants," 14 Jan 2022. [Online]. Available: https://www.mahler-ags.com/hydrogen/hydroswing/. [Accessed 08 Nov 2024].

28. GEV, "GEV Scoping Study Delivers Zero Emission Supply Chain for Green Hydrogen," Global Energy Ventures Ltd, 2021.

29. Statista, "Number of operational LNG import terminals in Europe as of January 2024," 26 Mar 2024. [Online]. Available: https://www.statista.com/statistics/1101746/lng-import-terminals-by-type-europe/.

30. Koide T., "Kawasaki Heavy builds world's first tanker for liquid hydrogen," 25 May 2021. [Na mreži]. Available: https://www.asahi.com/ajw/articles/14357692.

31. Jacobsen J. H., "Ammonfuel: An Industrial View of Ammonia as a Marine Fuel.," Aug 2020. [Online]. Available: https://hafniabw.com/wp-content/uploads/2020/08/Ammonfuel-Report-an-industrial-view-of-ammonia-as-a-marine-fuel.pdf.

32. Hexagon, "X-STORE® Gas Container Modules, Version ADR V2," 11 Feb 2019. [Online]. Available: https://www.californiahydrogen.org/wp-content/uploads/2021/06/Hexagon-Purus-X-STORE-Gas_Container-Modules-Version-ADR-V2-Full-Carbon-Design-500Bar-H2-1.pdf.

33. M. Yang, R. Hunger, S. Berrettoni, B. Sprecher and B. Wang, "A Review of Hydrogen Storage and Transport Technologies," *Clean Energy,* vol. 7, no. 1, pp. 190-216, 2023. DOI:10.1093/ce/zkad021

34. magility, "Hydrogen law and regulation in the automotive sector," 25 Jul 2022. [Online]. Available: https://www.magility.com/en/hydrogen-law-and-regulation-in-the-automotive-sector/.

35. Barnes A., Yafimava K., "EU Hydrogen Vision: regulatory opportunities and challenges," 23 Aug 2021. [Online]. Available: https://www.oxfordenergy.org/publications/eu-hydrogen-vision-regulatory-opportunities-and-challenges/.

36. Osman A., Mehta N., Elgarahy A., Hefny M., Al-Hinai A., Al-Muhtaseb A. H., Rooney D. W., "Hydrogen production, storage, utilisation and environmental impacts: a review," *Environ Chem Lett,* no. 20, pp. 153-188, 2022. DOI:10.1007/s10311-021-01322-8

37. Wei S., Sacchi R., Tukker A., Suhd S., Steubing B., "Future environmental impacts of global hydrogen production," *Energy & Environmental Science,* no. 6, pp. 2157-2172, 2024. DOI:10.1039/d3ee03875k

38. Radovanović U., "How efficient are hydrogen cars? What mpg can I expect, and more," 03 04 2025. [Online]. Available: https://drivinghydrogen.com/2025/04/03/how-efficient-are-hydrogen-cars-what-mpg-can-i-expect-and-more/.

Чекеревац З., Пригода Л.В.

ПРОИЗВОДСТВО И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОРОДА: ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Аннотация*. Водород, как носитель энергии, привлек внимание как потенциальное переходное решение для экологических проблем в транспортной отрасли. В данном обзоре исследуются логистические сложности интеграции водорода в качестве топлива для транспортных средств, с акцентом на его производство, транспортировку, хранение и распределение. Несмотря на отличные энергетические характеристики водорода, его специфические свойства требуют адаптированных решений на каждом этапе цепочки поставок. В работе выделяются технологические, регулятивные и организационные проблемы, подчеркивая необходимость инноваций, унификации стандартов и специализированного обучения. Технологические достижения, включая улучшенные материалы и процессы, демонстрируют потенциал для сокращения логистических трудностей. Унификация международных стандартов способствует повышению безопасности и эффективности операций, а комплексные программы обучения увеличивают надежность и безопасность. Основные выводы указывают на то, что, хотя водород по-прежнему является более дорогостоящим и энергоёмким по сравнению с ископаемыми видами топлива, стратегические решения, такие как производство водорода с использованием избыточной возобновляемой энергии, могут значительно улучшить его устойчивость. Кроме того, оптимизация транспортных систем и внедрение практик совместного использования транспорта могут дополнить экологические преимущества водорода. В итоге данное исследование подчеркивает потенциал водорода для устойчивого транспорта при условии его внедрения с инновационными и совместными подходами, предлагая основу для дальнейших исследований и практического применения водородной логистики.*

Ключевые слова*: логистика водорода, транспортные средства на водороде, устойчивый транспорт на водороде, экологическое воздействие водорода, технологические достижения в водородных системах, унификация стандартов для цепочек поставок водорода, оптимизация цепочек поставок водорода.*

Information about the authors:

Čekerevac Zoran,
Independent Researcher, Belgrade, Serbia
DSc, professor
e-mail: zoran@cekerevac.eu

Prigoda Lyudmila Vladimirovna,
Maykop State Technological University, Maykop, Russian Federation
Head of the Department of Finance and Credit
DSc, professor
e-mail: lv_prigoda@mail.ru

Сведения об авторах:

Чекеревац Зоран,
Независимый исследователь, Белград, Сербия,
доктор технических наук, профессор
e-mail: zoran@cekerevac.eu

Пригода Людмила Владимировна,
Майкопский государственный технологический университет,
г. Майкоп, Российская Федерация
зав. кафедрой финансов и кредита
доктор экономических наук., профессор
e-mail: lv_prigoda@mail.ru

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК ДОНЕЦКОЙ АКАДЕМИИ ТРАНСПОРТА»

1 Материалы статей представляются в виде текстов, отформатированных и распечатанных на лазерном или струйном принтере (пригодных для сканирования) на белой бумаге формата А4 (210х297 мм) в одном экземпляре. Рекомендуемый объем статьи – 5–10 страниц.

Одновременно текст представляется электронную версию в текстовом редакторе Word for Windows, шрифт TimesNewRoman, 12 pt, межстрочный интервал – одинарный, выравнивание по ширине, абзацный отступ – 1 см.

Параметры страницы установлены следующие:

поля верхние и боковые - 25 мм;

поле нижнее - 20 мм;

отступ от верхнего колонтитула - 12,5 мм;

отступ от нижнего колонтитула - 22 мм.

Верхний и нижний колонтитулы, а также номера страниц не вводить.

2. На первой странице должны быть указаны:

УДК – в левом верхнем углу;

интервал;

фамилии и инициалы авторов на языке оригинала статьи – по центру, курсивом;

интервал;

название статьи на языке оригинала статьи – заглавными буквами, полужирным шрифтом, по центру, без переносов;

интервал;

аннотация на языке оригинала статьи (80-150 слов);

ключевые слова на языке оригинала статьи (5-10 слов);

Далее через интервал:

текст статьи – печатается без переносов;

интервал;

список литературы на русском и английском языках (не менее 10 источников).

интервал;

фамилии и инициалы авторов (на английском языке, если основной текст статьи на русском языке; на русском, если основной текст статьи на английском языке) – по центру, курсивом;

интервал;

название статьи (на английском языке, если основной текст статьи на русском языке; на русском, если основной текст статьи на английском языке) – заглавными буквами, полужирным шрифтом, по центру, без переносов;

аннотация (на английском языке, если основной текст статьи на русском языке; на русском, если основной текст статьи на английском языке; 80-150 слов);

ключевые слова (на английском языке, если основной текст статьи на русском языке; на русском, если основной текст статьи на английском языке; 5-10 слов);

интервал;

сведения об авторах (на русском и английском языках).

3. Статья должна содержать такие разделы: постановка задачи, анализ последних исследований, цель работы, основную часть и выводы. Между разделами ставится интервал. Текст статьи должен быть тщательно отредактирован и готов для макетирования и верстки Вестника на компьютере.

4. Буквы латинского алфавита набираются курсивом, буквы греческого и русского алфавитов – прямым шрифтом. Математические символы lim, ln, arg, const, sin, cos, min, max и т.д. набираются прямым шрифтом. Аббревиатуры следует расшифровывать при их первом упоминании в тексте.

5. Формулы. Большие формулы необходимо разбить на отдельные фрагменты. Фрагменты формул по возможности должны быть независимы (при работе в формульном редакторе каждая строка – отдельный объект). Располагать формулы следует по центру строки.

Буквы J и I, e и l, h и n, q и g, V и U, O (буква) и 0 (ноль) должны различаться по начертанию.

Тире, дефис, знак «минус» обозначают соответствующими знаками. Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в тексте. Номер формулы следует печатать в Word, отдельно от формул, в круглых скобках по правому краю.

Обозначения, термины и иллюстрированный материал должны соответствовать действующим ГОСТам.

6. Рисунки и фотографии, выполненные четко и контрастно в формате *.tif, *.jpg, *.png, с разрешением не менее 300 точек на дюйм, следует размещать в порядке их упоминания в тексте. Ссылки на рисунки в тексте и подрисуночная подпись обязательны.

7. Таблицы следует размещать по мере упоминания в статье. Ссылки на таблицы в тексте и названия таблиц обязательны.

8. Список литературы приводится общим списком в конце статьи и составляется в соответствии с последовательностью ссылок в тексте, которые обозначаются арабскими цифрами в квадратных скобках. Литературу оформляют только согласно ГОСТ Р 7.0.100-2018. При наличии у статьи цифрового идентификатора объекта (DOI) его указание обязательно.

Статья должна быть обязательно подписана всеми авторами.

9. Материалы, прилагаемые к статье, должны содержать следующие сведения (на русском и английском языках):

Название статьи (заглавными буквами, полужирным шрифтом).

Фамилия, имя, отчество автора (полностью, без сокращений).

Место работы каждого автора в именительном падеже.

Занимаемая должность.

Ученая степень, ученое звание.

E-mail.

Аннотация.

Ключевые слова.

УСЛОВИЯ И ПОРЯДОК ПУБЛИКАЦИИ СТАТЕЙ В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК ДОНЕЦКОЙ АКАДЕМИИ ТРАНСПОРТА»

1. Статья должна быть оформлена по прилагаемым требованиям.

2. Автор имеет право опубликовать в номере одну статью.

3. Автор может прислать статью в адрес редакции:

- по почте;
- по электронной почте;
- принести в редакцию и передать ответственному секретарю.

4. Статья, представляемая в редакцию, должна соответствовать тематике издания.

В журнале публикуются результаты фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований по следующим направлениям: Системный анализ, управление и обработка информации, статистика; наземные транспортно-технологические средства и комплексы; транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте; эксплуатация автомобильного транспорта; логистические транспортные системы.

5. Редакционная коллегия принимает для публикации статьи после тщательной научной экспертизы.

Для публикации отбираются статьи, которые представляют научный интерес и являются новой ступенью в разработке данной проблемы. Статьи публицистического плана не принимаются.

6. На заседании редколлегии принимают решение о возможности публикации статьи только при наличии положительной рецензии.

7. Все расходы по подготовке к публикации и изданию журнала оплачивает академия.

КРАТКАЯ ИНФОРМАЦИЯ О НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК ДОНЕЦКОЙ АКАДЕМИИ ТРАНСПОРТА»

Вестник Донецкой академии транспорта зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (РОСКОМНАДЗОР), свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-89466 от 06 мая 2025 г.

Учредителем и издателем Вестника Донецкой академии транспорта является Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Донецкая академия транспорта»

Главный редактор журнала – доктор технических наук, доцент И.П. Энглези.

В состав редакционной коллегии журнала входят ведущие ученые России и ближнего зарубежья.

Научный журнал выходит с периодичностью 4 номера в год.

Вестник Донецкой академии транспорта зарегистрирован в национальном центре ISSN Российской Федерации и имеет номер ISSN 3034-6681; бесплатно рассылается центральным и зональным научно-техническим библиотекам, НИИ информации и включен в систему Российского индекса научного цитирования.

Почтовый адрес редакции:

283086, Донецкая Народная Республика, г.о. Донецк, г. Донецк, пр-кт Дзержинского, д. 7.

Донецкая академия транспорта.

Редакция Вестника Донецкой академии транспорта.

Телефон: +7 (949)3076242.

E-mail: rector@dat-dn.ru

Архив Сборника и требования по оформлению статей размещены на сайте https://journal.dat-dn.ru/

Научное издание

ВЕСТНИК ДОНЕЦКОЙ АКАДЕМИИ ТРАНСПОРТА

№ 2
2025

(на русском и английском языках)

Полнотекстовая версия статей находится в открытом доступе на сайте Российской научной электронной библиотеки: www.elibrary.ru
Журнал обрабатывается в системах индексов научного цитирования РИНЦ и Science Index

Требования к оформлению статей размещены на сайте
https://journal.dat-dn.ru/

Ответственный за выпуск – Н.В. Володарец

Компьютерная верстка – А.С. Маренич

Литературная обработка – Н.И. Головченко, Е.М. Загороднова

Формат 60х84⅛. Усл. печ. л. 9,07. Тираж 200 экз. Цена свободная.
Знак информационной продукции 16+
Подписано в печать 27.06.2025.
Дата выхода в свет 30.06.2025.

Учредитель:
Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования
«Донецкая академия транспорта»

Адрес учредителя и редакции:
283086, Донецкая Народная Республика, г.о. Донецк, г. Донецк, пр-кт Дзержинского, д. 7, тел. +7 (949) 3076242;
e-mail: rector@dat-dn.ru

Издатель:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Майкопский государственный технологический университет»
385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191
Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования
«Донецкая академия транспорта»
283086, Донецкая Народная Республика, г.о. Донецк, г. Донецк, пр-кт Дзержинского, д. 7