

ТРАНСПОРТ

Научная статья
УДК 656.085

<https://doi.org/10.25198/2077-7175-2026-3-69>

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНТРОПИЙНОГО ПОДХОДА В ОЦЕНКЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ СПЕЦИФИКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

А. И. Петров

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
e-mail: artigpetrov@yandex.ru

С. А. Евтюков

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: s.a.evt@mail.ru

Аннотация. В 2026 г. исполняется 130 лет с момента фиксации первого в мировой истории дорожно-транспортного происшествия (ДТП) с участием автомобиля (1896). За это время в мировой науке многократно менялись общепринятые взгляды, подходы и практики (парадигмы) снижения дорожной аварийности. Одним из многочисленных новаторских подходов к решению задачи повышения безопасности дорожного движения (БДД) является энтропийный, позволяющий оценивать и управлять структурным качеством процессов обеспечения дорожной безопасности.

Целью данной статьи является представление авторской позиции по двум дискуссионным вопросам, связанным с:

- доказательством современности исследовательского инструментария, использующего энтропийные оценки, в исследовании специфики структурного качества систем обеспечения БДД;
- аргументацией высокой информативности показателя «Относительная энтропия $H_{н\text{БДД}}$ » как индикатора структурного качества региональных систем обеспечения БДД.

Основные идеи, авторская методика и методический аппарат исследования структурного качества процессов обеспечения БДД с использованием энтропийных оценок ранее были представлены в статьях, опубликованных в российской и зарубежной научной прессе.

По результатам представленных в данной статье исследований, авторами сделан вывод о корректности использования энтропийного подхода в оценке региональной специфики процессов формирования дорожно-транспортной аварийности и доказана статистическая правомерность использования показателя Относительной энтропии $H_{н\text{БДД}}$ в качестве важнейшего индикатора качества управления дорожной безопасностью.

Научная новизна исследовательских результатов, представленных в статье, заключается в аргументации зацелостности показателя «Относительная энтропия $H_{н\text{БДД}}$ » в качестве высокоинформативного с позиций статистики.

Практическая значимость результатов исследований подтверждается специалистами Научного центра БДД МВД РФ, использующими авторскую методику в исследовании качества управления процессами обеспечения БДД.

Дальнейшие исследования по рассматриваемой в статье теме могут быть направлены на изучение структурного качества российских региональных парков транспортных средств и его влияния на дорожную аварийность, связанную с неудовлетворительным техническим состоянием транспортных средств.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, специфика дорожно-транспортной аварийности, энтропийный подход, актуальность научного направления, информативность энтропийного показателя.

Для цитирования: Петров А. И., Евтюков С. А. К вопросу об использовании энтропийного подхода в оценке региональной специфики обеспечения безопасности дорожного движения // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2026. – № 3. – С. 69–81. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2026-3-69>.

Original article

ON THE ISSUE OF USING THE ENTROPY APPROACH IN ASSESSING THE REGIONAL SPECIFICS OF ENSURING ROAD SAFETY

A. I. Petrov

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

e-mail: artigpetrov@yandex.ru

S. A. Evtukov

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia

e-mail: s.a.evt@mail.ru

Abstract. 2026 marks 130 years since the first recorded road traffic accident (RTA) involving a motor vehicle (1896). Since then, generally accepted views, approaches, and practices (paradigms) for reducing road accidents have changed repeatedly in global science. One of the many innovative approaches to improving road safety is the entropy approach, which allows for the assessment and management of the structural quality of road safety processes. The purpose of this article is to present the author's position on two controversial issues related to:

- demonstrating the relevance of research tools using entropy assessments in studying the specifics of the structural quality of road safety systems;
- arguing for the high information value of the «Relative Entropy H_n of Road Safety» indicator as an indicator of the structural quality of regional road safety systems.

The main ideas, author's methodology, and methodological apparatus for studying the structural quality of road safety processes using entropy assessments have previously been presented in articles published in the Russian and international scientific press.

Based on the results of the research presented in this article, the authors conclude that the entropy approach is appropriate for assessing the regional specifics of road accident formation processes and demonstrate the statistical validity of using the Relative Entropy H_n of Road Safety indicator as the most important indicator of road safety management quality. The scientific novelty of the research results presented in this article lies in the argumentation for the «Relative Entropy H_n of ad Safety» indicator as a highly informative one from a statistical perspective.

The practical significance of the research results is confirmed by specialists from the Road Safety Research Center of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, who are using the author's methodology to study the quality of road safety management processes.

Further research on the topic discussed in this article could focus on examining the structural quality of Russian regional vehicle fleets and its impact on road accidents associated with the poor technical condition of vehicles.

Key words: road safety, road accident specifics, entropy approach, relevance of the research area, informativeness of the entropy indicator.

Cite as: Petrov, A. I., Evtukov, S. A. (2026) [On the issue of using the entropy approach in assessing the regional specifics of ensuring road safety]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 3, pp. 69–81.–
<https://doi.org/10.25198/2077-7175-2026-3-69>.

Введение

Главная идея использования энтропийного подхода в оценке специфики региональных систем обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) заключается в количественной оценке меры неупорядоченности (или слабой структурированности) процессов формирования дорожно-транспортной аварийности. Именно оценка меры неупорядоченности системных процессов позволяет судить о качестве управления БДД, т.к. диалектическая пара «порядок – хаос», пропорциональные соотношения между ними иллюстри-

руют степень внешнего вмешательства (в форме системного управления) в процессы функционирования большой и сложной системы, интерпретируемой как «Автотранспортный комплекс / Дорожно-транспортный комплекс / Транспортная система». БДД является одним из частных свойств, характеризующим процессы функционирования этой системы, наряду с надежностью, эффективностью и другими.

Антипод неупорядоченности – упорядоченность или структурированность – свойство, характеризующее системную организованность, т.е. специфику на-

бора, расположения межэлементных связей и функциональных отношений между системными элементами.

Управление функционированием больших сложных систем, к числу которых относятся и системы автотранспортные, неразрывно связано с необходимостью обеспечения динамической устойчивости – ключевого системного свойства с точки зрения общей теории систем. Энтропия является характеристикой динамической устойчивости систем, т.е. способности системы самостоятельно возвращаться в исходное состояние (или близкое к нему) после значительного внешнего воздействия. При низких уровнях энтропии можно уверенно утверждать о высоком уровне системной устойчивости, т.е. о наличии высокопрофессионального и эффективного внешнего управления, подразумевающего принуждение системы к нахождению в рамках определенной конфигурации. Высокая энтропия, наоборот, свидетельствует о неустойчивом системном состоянии и об отсутствии качественного внешнего управления.

Известно, что *специфика* – это отличительные, характерные особенности, присущие какому-либо предмету, явлению или роду, классу предметов, явлений. Таким образом, идентифицируя региональную специфику обеспечения БДД с управленческих позиций, необходимо как минимум представлять себе, что интервал варьирования численных значений показателя, характеризующего эту специфику, достаточно широк и значительно превышает относительную погрешность.

Продвигаемая авторами данной статьи методологическая концепция оценки качества управления БДД подразумевает, что важнейшим оценочным показателем, характеризующим данный вид управленческой деятельности в рамках региональных систем обеспечения дорожно-транспортной безопасности, является «Относительная энтропия $H_{n\text{ БДД}}$ ».

Опуская вопросы о методике оценки величины показателя «Относительная энтропия $H_{n\text{ БДД}}$ » региональных систем обеспечения, ранее неоднократно рассмотренные авторами в статьях как в российских [8–10], так и в зарубежных [21–22] научных журналах, отметим, что два важных аспекта использования энтропийного подхода в оценке структурного качества процессов обеспечения БДД требуют особого внимания и дополнительных пояснений.

Авторская позиция по доказательству современности использования энтропийного инструментария в оценке структурного качества систем обеспечения безопасности дорожного движения

Представим три дословные цитаты: «В настоящее время энтропию часто используют при моделировании

различных сложных систем (в экономике, технике, обществе, биологии, механике, экологии, физике, лингвистике и др.)» [1, с. 7]; «Многие авторы отмечают [37, 74, 81, 116], что задачу повышения эффективности функционирования систем можно представлять в виде увеличения или уменьшения ее энтропии» [1, с. 9]; «Информационная энтропия (1.3) часто используется для моделирования сложных систем различной природы (в экономике, технике, обществе, биологии, механике, экологии, физике, лингвистике и др.) [2, 6, 14, 16, 31, 42, 45, 47, 48, 49, 51, 66, 67, 68, 76, 78, 81, 82, 85, 97, 98, 100, 101, 103, 109, 115, 120, 125, 127, 134, 136, 138 и др.]» [1, с. 31]. Источник этих цитат – диссертационное исследование 2018 г. [1]. Анализ данных источника этих реплик позволяет сослаться на десятки известных ученых, использовавших энтропию для построения моделей больших сложных систем. Из числа перечисленных автором имен советских, российских и зарубежных исследователей выделим наиболее современных нам А. Н. Тырсина [13–14] и его учеников [2; 24], Ю. Л. Климонтовича [4], О. Л. Королева, М. Ю. Куусого и А. В. Сигала [5], Г. Г. Малинецкого и его соавторов [6], И. В. Прангишвили [11], О. В. Цветкова [15], Ф. Нельсона (F. Nelson) [20] и А. Дж. Вильсона (A.G. Wilson) [27]. Во всех этих работах идеи авторов опираются на понятие информационной энтропии, предложенной К. Шенноном [23].

В работе [3] приведены данные о динамике количества российских научных работ экономико-управленческой тематики с использованием ключевого понятия «энтропия». Согласно данным [3] именно в последние годы (2005–2020-е гг.) востребованность энтропийного подхода в научных исследованиях значимо растет. Так, годовое число публикаций российских авторов с использованием ключевого термина «энтропия» увеличилось в период с 2005 до 2020 гг. следующим образом: для индексируемых в РИНЦ – с единичных случаев до 50, для индексируемых в Scopus – с 25 до 300.

Активно используются энтропийные подходы в исследовании системных процессов за рубежом. Например, статусный журнал *Entropy* (ISSN 1099-4300), индексирующийся в Scopus (Q1, перцентиль 92), SCIE (Web of Science) и других базах данных, по состоянию на начало 2026 г. опубликовал уже 14458 статей, прошедших строгую экспертную оценку.

Запрос «System entropy» в поисковой системе издательства MDPI позволяет ознакомиться с более чем 1900 статьями по данной тематике. Данный тезис легко перепроверить по интернет-ссылке <https://www.mdpi.com/search?q=System+entropy&journal=entropy>.

Можно было бы нивелировать вышеприведенные данные, свидетельствующие о росте интереса ученых во всем мире к использованию энтропийного подхода

в качестве исследовательского инструмента замечанием, что транспортная и экономическая наука весьма различны по объектам и предметам исследования. Не согласимся с этим. Процессы формирования БДД и процессы изменения состояния экономики являются весьма схожими по сути явлениями – для обоих случаев характерна высокая неопределенность событийных исходов и борьба за системную устойчивость. На это обратил внимание еще Н. Джорджеску-Рёген (N. Georgescu-Roegen) [16], которого считают пионером использования энтропийного подхода в системных исследованиях. Более того, как указывает С. Л. Турков в работе [12], в ходе разработки Национальной концепции устойчивого развития России при выборе методов исследования системной устойчивости энтропия занимала одно из ключевых мест, что в общем неудивительно.

Само понятие «энтропия» информативно является весьма распространенным. Так, запрос «энтропия» в поисковой системе Яндекс выдал более 46,5 миллионов результативных ссылок. Вряд ли можно было бы достигнуть такого результата по факту невостребованности и несовременности энтропийного подхода как исследовательского инструмента.

Аргументация выбора в качестве индикатора структурного качества региональных систем обеспечения безопасности дорожного движения показателя «Относительная энтропия $H_{n \text{ БДД}}$ » и доказательство его высокой информативности

Доказательством высокой информативности какого-либо показателя является большая вариативность значений показателя, превышающая относительную погрешность экспериментальных данных.

Общеизвестно, что относительная погрешность показывает, какую долю от измеренного значения

составляет абсолютная погрешность. Об степени информативности показателя $H_{n \text{ БДД}}$ нельзя судить привычным образом, используя стандартные статистические подходы, привычные для случаев оценки корректности результатов экспериментальных исследований с использованием измерительных приборов.

В нашем случае относительная погрешность расчетной величины «Относительной энтропии $H_{n \text{ БДД}}$ » зависит, прежде всего, от точности официальных данных, характеризующих дорожно-транспортную аварийность в Российской Федерации. Эти оценки существуют. В частности, можно сослаться на данные официального доклада Всемирной организации здравоохранения «Global status report on road safety 2023. Country and territory profiles» [26]. Этот доклад основан на официальной государственной статистике о числе погибших в ДТП в 2021 г. Обычно этот показатель в международной практике обозначают как «Reported number of road traffic deaths». В то же время среди специалистов уже давно укоренилось мнение о широкой вариативности достоверности отчетных правительственных данных [7]. Иначе, официальные данные о числе погибших в ДТП вполне могут не в полной мере соответствовать действительности.

Для понимания возможной разницы между фактическими и официальными данными необходимо смоделировать число погибших в ДТП на основе статистической модели с использованием значимых для анализа факторов влияния. Обычно для этого используется та или иная математическая модель.

По данным ВОЗ [25], для моделирования более-менее объективно возможного числа смертей в результате дорожно-транспортных происшествий $N_{\text{died year}}$ необходимо использовать модель отрицательной биномиальной регрессии (1).

$$\ln(N_{\text{died year}}) = \ln(Pop) + C + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_n \cdot X_n + \varepsilon, \quad (1)$$

где

- $N_{\text{died year}}$ – общее годовое число погибших в стране в результате дорожно-транспортных происшествий (чел./год);
- Pop – численность населения страны (чел. на конец года);
- C – постоянный член модели;
- β_i – параметры, идентифицирующие относительную значимость переменных;
- X_i – набор объясняющих переменных;
- ε – отрицательный биномиальный коэффициент ошибки.

Этот вывод основан на результатах исследований авторитетных специалистов по прогнозному моделированию [17–19].

Параметры $\beta_1, \beta_2, \beta_3 \dots \beta_n$ уравнения (1) были оценены путем подгонки модели отрицательной биноми-

альной регрессии к расчетному числу смертей в результате ДТП за годы исследований с 2000 по 2017 г.

В таблице 1 представлены переменные X_i , использованные для статистического моделирования годового числа погибших в ДТП $N_{\text{died year}}$.

Таблица 1. Независимые переменные X_i , используемые в модели (1) оценки достоверности годового числа погибших в дорожно-транспортных происшествиях $N_{died\ year}$

Независимые переменные X_i	Описание; ед. изменения	Источник информации
Натуральный логарифм величины ВВП <i>ln(GDP)</i>	ln (ВВП), <i>ln (GDP)</i> по данным <i>World Development Indicators 2021</i> and <i>WHO estimates of Gross Domestic Product (GDP) per capita (international dollars or purchasing power parity dollars, 2021 base)</i>	World bank and WHO database
Натуральный логарифм величины расчетной автомобилизации <i>ln(vehicles per capita)</i>	ln (Автомобилизация / 1000 чел.), <i>ln(vehicles per 1000 persons)</i>	GSRRS surveys and WHO database
Плотность дорожной сети <i>Road density</i>	Км автодорог на 1000 га, <i>Total roads (km) per 1000 hectares</i>	International Futures Data Base
Национальный лимит скорости на сельских дорогах <i>National speed limits on rural roads</i>	Км/час, <i>The maximum national speed limits on rural roads (km/h) from WHO questionnaire</i>	GSRRS survey
Национальный лимит скорости на городских дорогах <i>National speed limits on urban roads</i>	Км/час, <i>The maximum national speed limits on urban roads (km/h) from WHO questionnaire</i>	GSRRS survey
Простота доступа к медицинской помощи <i>Health system access</i>	Комплексный показатель на основе набора базовых показателей, <i>Health system access variable (principal component score based on a set of coverage indicators for each country)</i>	Institute for Health Metrics and Evaluation dataset
Потребление алкоголя на душу населения возраста 15+, <i>Alcohol apparent consumption</i>	Литры в год на душу населения возрастом 15+, <i>Liters of alcohol (recorded plus unrecorded) per adult aged 15+</i>	WHO database
Доля трудоспособного населения в возрасте 15-64 лет <i>Population working proportion of population aged 15–64 years</i>	%, по данным <i>World Population</i>	World Population Prospect 2017 revision
Доля моторизованного 2-х-колесного транспорта в парке <i>Percentage motorbikes</i>	%, по данным <i>per cent of total vehicles that are motorbikes</i>	GSRRS survey
Индекс коррупции <i>Corruption index</i>	Условных ед., по данным <i>Control of corruption index (units range from about -2.5 to +2.5 with higher values corresponding to better control of corruption)</i>	World Bank
Национальные политики для пешеходов/велосипедистов <i>National policies for walking / cycling</i>	Факт наличия и исполнения национальной политики, <i>Existence of national policies that encourage walking and / or cycling</i>	GSRRS survey
Численность населения <i>Population</i>	Население на начало года, тыс. чел., <i>Total population (used as offset in negative binomial regression)</i>	World Population Prospects 2016 revision (UNDESA)

Источник: заимствовано из работы [25]

Использование модели (1) применительно к анализу точности данных, характеризующих БДД, показывает, что официальная статистика и оценки ожидаемой смертности в результате ДТП в той или иной степени не совпадают (таблица 2), причем расхождение между официальными и модельными данными могут достигать от единиц до тысяч процентов. Однако для

России эта разница составляет лишь около 3% и максимально близка к показателям лучших в сфере БДД стран (Норвегия, 2,5%). При этом отметим, что точность официальной статистики по числу погибших в ДТП в разных странах, представленной в таблице 2, крайне разнообразна.

Таблица 2. Данные (2021) о числе смертей вследствие участия в дорожно-транспортных происшествиях (отчетные / смоделированные) и расхождение между ними в трех странах мира – лучшей, худшей в сфере безопасности дорожного движения и России

Страна, год	Данные о числе погибших в дорожно-транспортных происшествиях (Road traffic death-2021)		
	отчетные данные (Reported number of road traffic deaths)	смоделированные данные (Estimated modelled number of road traffic deaths)	расхождение (Discrepancy between official and model data), %
Норвегия (2021) – мировой лидер в сфере безопасности дорожного движения	80	82	2,5
Сомали (2021) – безоговорочный мировой аутсайдер в сфере безопасности дорожного движения	70	3440	4814
Российская Федерация (2021)	14874	15335	3,1

Источник: разработано авторами на основе данных работы [26]

Однако, возвращаясь к вопросу о сопоставимости интервала варьирования региональных значений $H_{n \text{ БДД}}$ с относительной погрешностью, укажем, что расхождение между официальными и модельными данными о числе погибших в ДТП принципиально не является той оценкой, на основании которой можно было бы делать какие-то далеко идущие выводы.

Корректным подходом, на основании данных которого можно было бы сделать выводы о степени информативности показателя «Относительной энтропии $H_{n \text{ БДД}}$ », является подход, основанный на расчете двух значений $H_{n \text{ БДД}}$ с использованием данных о числе погибших в ДТП $N_{\text{died } 2021}$ – официальных (14874 в РФ в 2021

г.) и модельных (15335) и сравнении разницы между полученными значениями $H_{n \text{ БДД РФ-2021}}$ официальные данные и $H_{n \text{ БДД РФ-2021}}$ модельные данные. Выбор в качестве сравнительной базы данных именно 2021 г. объясняется тем, что у авторов есть возможность воспользоваться данными авторитетного источника именно по статистике этого года [26].

Ниже, в таблицах 3 и 4 представлены все этапы расчетов и итоговые значения $H_{n \text{ БДД РФ-2021}}$ для двух вариантов исходных данных о числе погибших в ДТП за год – официальных (таблица 3) и смоделированных (таблица 4) с учетом модели (1).

Таблица 3. Результаты детализированного расчета «Относительной энтропии $H_{n \text{ БДД}}$ » процессов обеспечения безопасности дорожного движения в России (2021 г.) на основе официальных данных Госавтоинспекции МВД РФ о числе погибших в дорожно-транспортных происшествиях

Показатели, характеризующие состояние системы обеспечения безопасности дорожного движения в России (2021)				
население (P), чел.	парк транспортных средств (N_{Vh}), ед.	число дорожно-транспортных происшествий (N_{RA}), ед.	число пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях	официальное число погибших в дорожно-транспортных происшествиях
145557576	60136889	133277	181656	14874
Значения коэффициентов информационной передачи между звеньями				
$K_N = N_{Vh} / P$	$K_{RA} = N_{RA} / N_{Vh}$	$K_V = N_V / N_{RA}$	$K_D = N_D / N_V$	

Продолжение таблицы 3

$K_N = 0,413$	$K_{RA} = 0,0022$	$K_V = 1,370$	$K_D = 0,081$
Позитив звена причинно-следственной цепочки $Q_i = \ln(1/K_i)$ для K_N, K_{RA}, K_D и $Q_i = \ln(K_i)$ для K_V			
$Q_1 = Q_N = 0,884$	$Q_2 = Q_{RA} = 6,112$	$Q_3 = Q_V = 0,315$	$Q_4 = Q_D = 2,508$
Относительный вес позитива соответствующего звена цепочки w_i			
$\omega_1 = \omega_N = 0,090$	$\omega_2 = \omega_{RA} = 0,622$	$\omega_3 = \omega_V = 0,032$	$\omega_4 = \omega_D = 0,255$
Расчетное значение $[\ln(w_i)]$			
$\ln(\omega_N) = -2,408$	$\ln(\omega_{RA}) = -0,474$	$\ln(\omega_V) = -3,439$	$\ln(\omega_D) = -1,365$
Расчетное значение $[w_i \cdot \ln(w_i)]$			
$[\omega_N \cdot \ln(\omega_N)] = -0,217$	$[\omega_{RA} \cdot \ln(\omega_{RA})] = -0,295$	$[\omega_V \cdot \ln(\omega_V)] = -0,110$	$[\omega_D \cdot \ln(\omega_D)] = -0,349$
Расчетное значение энтропии $H = -\sum_{i=1}^n w_i \cdot \ln w_i = 0,971$			
Расчетное значение Относительной энтропии $H_n = H/H_{\max} = H/\ln(4) = 0,700$			

Источник: разработано авторами

Таблица 4. Результаты детализированного расчета «Относительной энтропии $H_{n,БДД}$ » процессов обеспечения безопасности дорожного движения в России (2021 г.) на основе модельных данных ВОЗ [26] о числе погибших в дорожно-транспортных происшествиях

Показатели, характеризующие состояние системы обеспечения безопасности дорожного движения в России (2021)				
население (P), чел.	парк транспортных средств (N_{Vh}), ед.	число дорожно-транспортных происшествий (N_{RA}), ед.	число пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях (N_V), чел.	смоделированное [26] число погибших в дорожно-транспортных происшествиях (N_D), чел.
145557576	60136889	133277	181656	15335
Значения коэффициентов информационной передачи между звеньями				
$K_N = N_{Vh} / P$	$K_{RA} = N_{RA} / N_{Vh}$	$K_V = N_V / N_{RA}$	$K_D = N_D / N_V$	
$K_N = 0,413$	$K_{RA} = 0,0022$	$K_V = 1,370$	$K_D = 0,084$	
Позитив звена причинно-следственной цепочки $Q_i = \ln(1/K_i)$ для K_N, K_{RA}, K_D и $Q_i = \ln(K_i)$ для K_V				
$Q_1 = Q_N = 0,884$	$Q_2 = Q_{RA} = 6,112$	$Q_3 = Q_V = 0,315$	$Q_4 = Q_D = 2,478$	
Относительный вес позитива соответствующего звена цепочки W_i				
$\omega_1 = \omega_N = 0,090$	$\omega_2 = \omega_{RA} = 0,624$	$\omega_3 = \omega_V = 0,032$	$\omega_4 = \omega_D = 0,253$	
Расчетное значение $[\ln(w_i)]$				
$\ln(\omega_N) = -2,405$	$\ln(\omega_{RA}) = -0,471$	$\ln(\omega_V) = -3,436$	$\ln(\omega_D) = -1,374$	
Расчетное значение $[w_i \cdot \ln(w_i)]$				
$[\omega_N \cdot \ln(\omega_N)] = -0,217$	$[\omega_{RA} \cdot \ln(\omega_{RA})] = -0,294$	$[\omega_V \cdot \ln(\omega_V)] = -0,111$	$[\omega_D \cdot \ln(\omega_D)] = -0,348$	
Расчетное значение энтропии $H = -\sum_{i=1}^n w_i \cdot \ln w_i = 0,970$				
Расчетное значение Относительной энтропии $H_n = H/H_{\max} = H/\ln(4) = 0,699$				

Источник: разработано авторами

Итак, $H_{n \text{ БДД РФ-2021}}^{\text{официальные данные}} = 0,700$; $H_{n \text{ БДД РФ-2021}}^{\text{модельные данные}} = 0,699$. Различие между значениями $H_{n \text{ БДД РФ-2021}}$ с учетом относительной погрешности в данных о числе погибших в ДТП в России в 2021 г. составляет всего $\Delta H_{n \text{ БДД РФ-2021}} = 0,001$, что составляет 0,15%.

Сравним значение $\Delta H_{n \text{ БДД РФ-2021}} = 0,001$ с фактическим разнообразием значений $H_{n \text{ БДД РФ}}$, характерных для региональных систем обеспечения БДД в Российской Федерации в различные годы.

Для понимания изменения значений Относительной энтропии региональных систем обеспечения БДД представим пять гистограмм, соответ-

ствующих официальным данным Госавтоинспекции РФ¹ об автотранспортной аварийности в разные годы (2004 г. (рисунок 1А), 2010 г. (рисунок 1Б), 2016 г. (рисунок 1В), 2021 г. (рисунок 1Г), 2025 г. (рисунок 1Д)).

Математическое ожидание $M(H_{n \text{ БДД}})$ региональных величин $H_{n \text{ БДД}}$ в течение последних 22 лет (2004...2025) сдвигалось от значения $M(H_{n \text{ БДД-2004}}) = 0,780$ к значению $M(H_{n \text{ БДД-2025}}) = 0,690$.

В таблице 5 приведены результаты расчета интервала варьирования значений $H_{n \text{ БДД-2021}}$ и, для сравнения, аналоги для $H_{n \text{ БДД}}$ рассчитанные по данным 2004, 2010, 2016, 2025 гг.

Таблица 5. Оценка интервала варьирования значений $H_{n \text{ БДД}}$ систем безопасности дорожного движения субъектов Российской Федерации

Год	Численные значения статистических характеристик распределений значений $H_{n \text{ БДД}}$					
	min	max	размах вариации	математическое ожидание $M(H_{n \text{ БДД}})$	интервал варьирования значений $H_{n \text{ БДД}}$	%-ная оценка интервала варьирования значений $H_{n \text{ БДД}}$ %
2004	0,713	0,849	0,136	0,780	0,068	8,7
2010	0,689	0,835	0,146	0,762	0,073	9,6
2016	0,631	0,827	0,196	0,722	0,098	13,6
2021	0,631	0,811	0,180	0,700	0,090	12,8
2025	0,621	0,789	0,168	0,690	0,084	12,2

Источник: разработано авторами

Бесспорно, что относительная погрешность данных о возможных значениях показателя Относительная энтропия $H_{n \text{ БДД РФ-2021}}$ (равная 0,15 %) не может конкурировать с интервалом варьирования региональных значений данного показателя, измеряемого в последние годы 12–13%. Следствием этого является вывод о высокой информативности показателя Относительная энтропия $H_{n \text{ БДД}}$

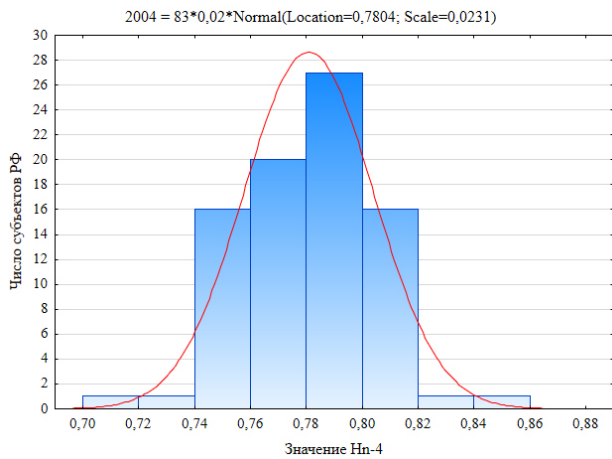
Закключение

Важнейшее требование к результатам научных изысканий – наличие научной новизны – является серьезным достоинством использования энтропийного подхода в оценке качества управления БДД. При том, что во всем мире для идентификации состояния и общих трендов изменения состояния больших сложных систем все больше и больше применяются именно энтропийные оценки, в России данное

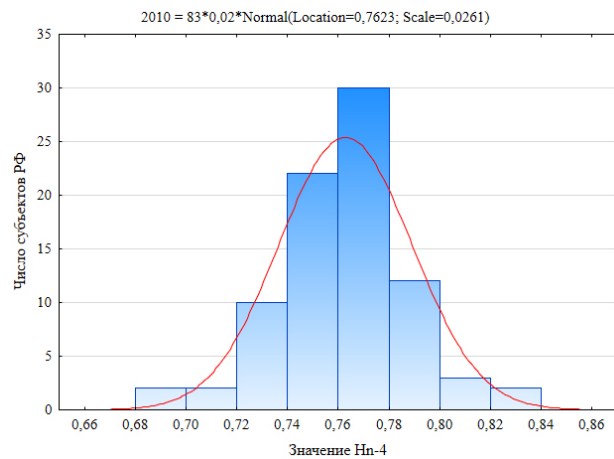
направление научных исследований незаслуженно недооценивается. Дискуссионные вопросы в адрес авторской идеологии использования «Относительной энтропии $H_{n \text{ БДД}}$ » в качестве важнейшего индикатора качества структуры процессов управления БДД в данной статье разобраны достаточно детально. Энтропийная методика оценки качества системной структуры на сегодняшний день является практически безальтернативной, как в общем, так и применительно к оценке некоторых аспектов системных свойств автотранспортных комплексов.

Для авторов данной статьи абсолютно бесспорна правомерность использования энтропийного подхода в оценке специфики процессов формирования дорожно-транспортной аварийности в регионах России, выявлении критических звеньев причинно-следственной цепочки, учитываемой при идентификации процессов обеспечения БДД и, в конечном

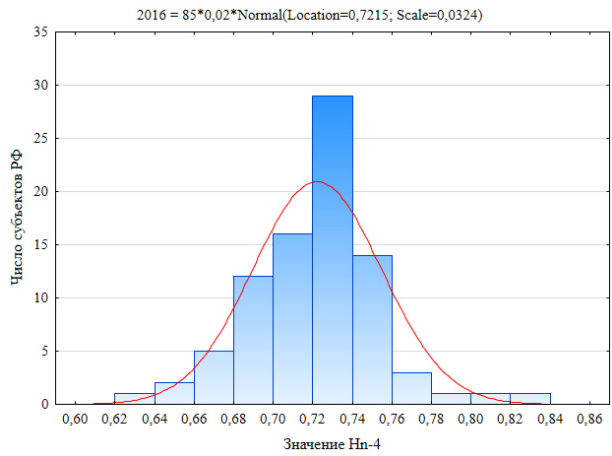
¹ Показатели состояния безопасности дорожного движения // Госавтоинспекция МВД России. – URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 25.02.2026).



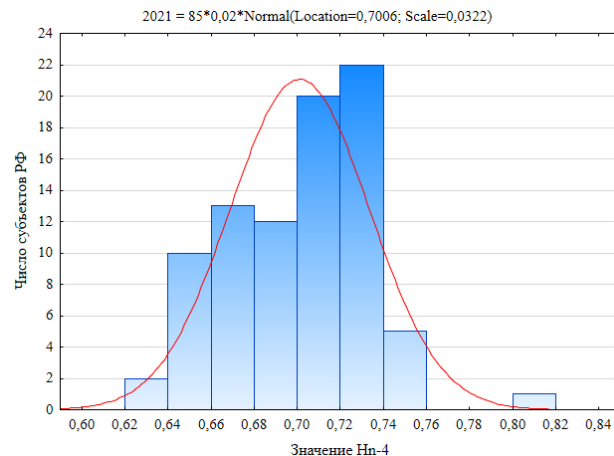
А) 2004 г.



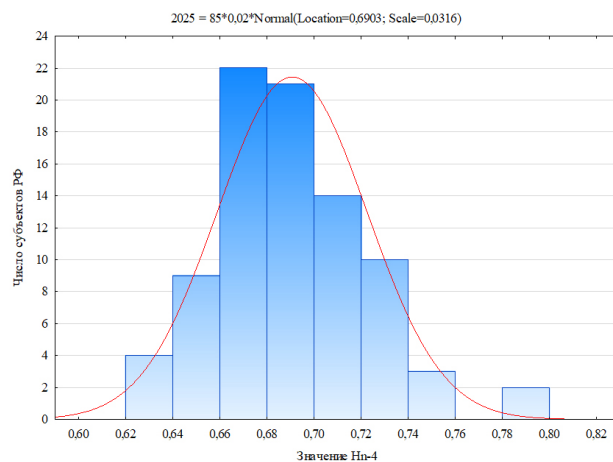
Б) 2010 г.



В) 2016 г.



Г) 2021 г.



Д) 2025 г.

Рисунок 1. Распределения значений $H_{н\ БДД}$ региональных систем обеспечения безопасности дорожного движения, характерные для соответствующих годов периода исследования

Источник: разработано авторами

итоге, в оценке качества управления региональными системами обеспечения БДД.

Дальнейшие исследования по рассматриваемой в статье теме могут быть направлены на изучение

структурного качества российских региональных парков транспортных средств и его влияния на дорожную аварийность, связанную с неудовлетворительным техническим состоянием транспортных средств.

Литература

1. Геворгян Г. Г. Векторное энтропийное моделирование в задачах мониторинга многомерных стохастических систем: дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2018. – 153 с.
2. Геворгян Г. Г., Тырсин А. Н. Энтропийное системное моделирование развития городов // Системное моделирование социально-экономических процессов: труды 40-й междунар. научн. школы-семинара имени академика С.С. Шаталина, г. Воронеж, 1–7 октяб. 2017 г. – Воронеж, 2017. – С. 156–159. – EDN: YMSICT.
3. Исламутдинов В. Ф., Куриков В. М. О применении энтропийного подхода в экономических исследованиях об управлении экономическими системами // Сибирская финансовая школа. – 2022. – № 2 (146). – С. 168–178. – <http://10.34020/1993-4386-2022-2-168-178>. – EDN: KWEBAL.
4. Климонтович Ю. Л. Введение в физику открытых систем. – М.: Янус-К, 2002. – 284 с.
5. Королев О. Л., Кусый М. Ю., Сигал А. В. Применение энтропии при моделировании процессов принятия решений в экономике: монография. – Симферополь: Издательство «ОДЖАКЪ», 2013. – 148 с. – EDN: UWMZRD.
6. Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б., Подлазов А. В. Нелинейная динамика: Подходы, результаты, надежды. – 3-е изд. – М.: ЛИБРОКОМ, 2011. – 280 с.
7. Мельникова И. С., Шкатова Е. Ю. Несоответствие статистических данных о раненых и погибших в дорожно-транспортных происшествиях согласно официальным документам различных ведомств // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. – 2019. – Т. 23, № 2. – С. 211–218. – <https://doi.org/10.22363/2313-0245-2019-23-2-211-218>. – EDN: JNZUDB.
8. Петров А. И. К вопросу о важности энтропийного анализа в оценке качества управления безопасностью дорожного движения на федеральном уровне // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 8. – С. 116–126. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2019-8-116>. – EDN: JDSXCM.
9. Петров А. И. Энтропия системного управления безопасностью дорожного движения: методика и практика использования // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 4. – С. 72–82. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-4-72>. – EDN: LZCSNL.
10. Петров А. И., Евтюков С. А. Специфика использования информационно-энтропийного подхода при организации и управлении городскими системами обеспечения безопасности дорожного движения // Вестник гражданских инженеров. – 2024. – № 4(105). – С. 80–88. – <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2024-21-4-80-88>. – EDN: VOFBAT.
11. Прангишвили И. В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами: монография. – М.: Наука, 2003. – 428 с. – EDN: QQBNWB.
12. Турков С. Л. Национальная концепция устойчивого развития России // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2018. – Т. 24, № 1. – С. 30–43. – <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2018-1-24-30-43>. – EDN: VNZLMG.
13. Тырсин А. Н. Энтропийное моделирование многомерных стохастических систем: монография. – Воронеж: Научная книга, 2016. – 156 с. – EDN: VLMMRB.
14. Тырсин А. Н., Соколова И. С. Энтропийно-вероятностное моделирование гауссовских стохастических систем // Математическое моделирование. – 2012. – Т. 24, № 1. – С. 88–102. – EDN: RXPNSN.
15. Цветков О. В. Энтропийный анализ данных в физике, биологии и технике: монография. – С.-Пб.: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. – 202 с. – EDN: BGBVXE.
16. Georgescu-Roegen N. (1971) The entropy law and the economic process. Cambridge, MA: Harvard University Press. – 457 p. (In Eng.).
17. Hilbe J. M. (2007) Negative Binomial Regression. Cambridge: Cambridge University Press. – 263 p. (In Eng.).
18. Karlaftis M. G., Tarko A. P. (1998) Heterogeneity considerations in accident modeling. Accident Analysis and Prevention. – No. 7(4), pp. 425–433. – [https://doi.org/10.1016/s0001-4575\(97\)00122-x](https://doi.org/10.1016/s0001-4575(97)00122-x). (In Eng.).
19. Law T. H., Nolan R. B., Evans A. W. (2011) The source of the Kuznets relationship between road fatalities and economic growth. *Journal of Transport Geography*. – Vol. 19. – No. 2, pp. 355–365. – <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.02.004>. (In Eng.).
20. Nelson F. (2008) Biological Physics. Energy, Information, Life. New York: W.H. Freeman and Company. – 630 p. (In Eng.).

21. Petrov A. I. (2022) Entropy Method of Road Safety Management: Case Study of the Russian Federation. *Entropy*. – Vol. 24. – No. 2, p. 177. – <https://doi.org/10.3390/e24020177>. (In Eng.).
22. Petrov A. I. (2023) Philosophy and Meanings of the Information Entropy Analysis of Road Safety: Case Study of Russian Cities. *Information*. – Vol. 14. – No. 6, p. 302. – <https://doi.org/10.3390/info14060302>. (In Eng.).
23. Shannon C. E. (1948) A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*. – Vol. 27. – No. 3, pp. 379–423. (In Eng.).
24. Tyrsin A. N., Gevorgyan G. G. (2017) Entropy modeling of sustainable development of megacities. IOP Conference Series: 147 Earth and Environmental Science. – Vol. 72, p. 012010. – <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/72/1/012010/pdf>. (In Eng.).
25. WHO (2018) Global Status Report on Road Safety 2018 // WHO. – URL: <https://www.who.int/publications/item/9789241565684>. (accessed: 22.02.2026).
26. WHO (2023) Global status report on road safety 2023 // WHO. – URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/375016/9789240086517-eng.pdf?sequence=1> (accessed: 22.02.2026).
27. Wilson A. G. (2010) Entropy in urban and regional modelling: Retrospect and prospect. *Geographical Analysis*. – Vol. 42. No. 4, pp. 364–394. – <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2010.00799.x> (In Eng.).

References

1. Gevorgyan, G. G. (2018) Vektornoe ehntropijnoe modelirovanie v zadachakh monitoringa mnogomernykh stokhasticheskikh sistem. *Cand. Diss.* [Vector entropy modeling in the tasks of monitoring multidimensional stochastic systems. Cand. Diss.] Yekaterinburg, 153 p. (In Russ.).
2. Gevorgyan, G. G., Tyrsin, A. N. (2017) [Entropy system modeling of urban development]. *Trudy 40-j mezhdunar. nauchn. shkoly-seminara imeni akademika S. S. Shatalina* [Proceedings of the 40th Voronezh International Scientific Conference S.S. Shatalin Academic Seminar School «System modeling of socio-economic processes»], pp. 156–159. (In Russ.).
3. Islamutdinov, V. F., Kurikov, V. M. (2022) [On the application of the entropy approach in economic research on the management of economic systems]. *Sibirskaya finansovaya shkola* [Siberian Financial School]. Vol. 2 (146), pp. 168–178. – <http://10.34020/1993-4386-2022-2-168-178>. (In Russ.).
4. Klimontovich, Y. L. (2002) *Vvedenie v fiziku otkrytykh sistem* [An introduction to the physics of open systems]. Moscow: Janus-K, 284 p.
5. Korolev, O. L., Kussyi, M. Yu., Sigal, A. V. (2013) *Primenenie ehntropii pri modelirovanii processov prinyatiya reshenij v ehkonomike* [The use of entropy in modeling decision-making processes in economics]. Simferopol: ODZHAK Publishing House, 148 p.
6. Malinetsky, G. G., Potapov, A. B., Podlazov, A. V. (2011) *Nelinejnaya dinamika: Podkhody, rezul'taty, nadezhdy* [Nonlinear dynamics: Approaches, results, hopes]. Moscow: LIBROCOM, 280 p.
7. Melnikova, I. S., Shkatova, E. Y. (2019) [Inconsistency of statistical data on injured and dead in road accidents according to official documents of various departments]. *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Medicina* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Medicine]. Vol. 23. No. 2, pp. 211–218. – <http://10.22363/2313-0245-2019-23-2-211-218>. (In Russ.).
8. Petrov, A. I. (2019) [On the importance of entropy analysis in assessing the quality of road safety management at the federal level]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 8, pp. 116–126. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2019-8-116>. (In Russ.).
9. Petrov, A. I. (2023) [Entropy of the road safety management system: methodology and practice of use]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 4, pp. 72–82. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-4-72>. (In Russ.).
10. Petrov, A. I., Evtjukov, S. A. (2024) [The specifics of using the entropy approach in the organization and management of urban traffic safety systems]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers]. Vol. 4(105), pp. 80–88. – <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2024-21-4-80-88>. (In Russ.).
11. Prangishvili, I. V. (2003) *Ehntropijnye i drugie sistemnye zakonomernosti: Voprosy upravleniya slozhnymi sistemami* [Entropy and other systemic patterns: Issues of management of complex systems]. Moscow: Science Publ., 428 p.
12. Turkov, S. L. (2018) [National concept of sustainable development of Russia]. *Interkarto. Integris*. [Interkarto. Integris]. Vol. 24. No. 1, pp. 30–43. – <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2018-1-24-30-43>. (In Russ.).
13. Tyrsin, A. N. (2016) *Entropijnoe modelirovanie mnogomernykh stokhasticheskikh sistem* [Entropy modeling of multidimensional stochastic systems]. Voronezh: Scientific Book, 156 p.

14. Tyrsin, A. N., Sokolova, I. S. (2012) [Entropic-probabilistic modeling of Gaussian stochastic systems]. *Matematicheskoe modelirovanie* [Mathematical modeling]. Vol. 24. No. 1, pp. 88–102. (In Russ).
15. Tsvetkov, O. V. (2015) *Entropijnyj analiz dannyh v fizike, biologii i tekhnike*. [Entropy data analysis in physics, biology and engineering]. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State Technical University «LETI», 202 p.
16. Georgescu-Roegen, N. (1971) The entropy law and the economic process. Cambridge, MA: *Harvard University Press*, 457 p. (In Eng.).
17. Hilbe, J. M. (2007) Negative Binomial Regression. Cambridge: *Cambridge University Press*, 263 p. (In Eng.).
18. Karlaftis, M. G., Tarko, A. P. (1998) Heterogeneity considerations in accident modeling. *Accident Analysis and Prevention*. Vol. 7(4), pp. 425–433. – [https://doi.org/10.1016/s0001-4575\(97\)00122-x](https://doi.org/10.1016/s0001-4575(97)00122-x). (In Eng.).
19. Law, T. H., Nolan, R. B., Evans, A. W. (2011) The source of the Kuznets relationship between road fatalities and economic growth. *Journal of Transport Geography*. Vol. 19. No. 2, pp. 355–365. – <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.02.004>. (In Eng.).
20. Nelson, F. (2008) Biological Physics. Energy, Information, Life. New York: W.H. *Freeman and Company*, 630 p. (In Eng.).
21. Petrov, A. I. (2022) Entropy Method of Road Safety Management: Case Study of the Russian Federation. *Entropy*. Vol. 24. No. 2, p. 177. – <https://doi.org/10.3390/e24020177>. (In Eng.).
22. Petrov, A. I. (2023) Philosophy and Meanings of the Information Entropy Analysis of Road Safety: Case Study of Russian Cities. *Information*. Vol. 14. No. 6, p. 302. – <https://doi.org/10.3390/info14060302>. (In Eng.).
23. Shannon, C. E. (1948) A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*. Vol. 27. No. 3, pp. 379–423. (In Eng.).
24. Tyrsin, A. N., Gevorgyan, G. G. (2017) Entropy modeling of sustainable development of megacities. *IOP Conference Series: 147 Earth and Environmental Science*, Vol. 72, p. 012010. (In Eng.).
25. WHO (2018) Global Status Report on Road Safety 2018 // WHO. – Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>. (accessed: 22.02.2026).
26. WHO (2023). Global status report on road safety 2023 // WHO. – Available at: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/375016/9789240086517-eng.pdf?sequence=1>. (accessed: 22.02.2026).
27. Wilson, A. G. (2010) Entropy in urban and regional modelling: Retrospect and prospect. *Geographical Analysis*. Vol. 42. No. 4, pp. 364–394. – <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2010.00799.x> (In Eng.).

Информация об авторах:

Артур Игоревич Петров, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

ORCID iD: 0000-0003-2634-0567, **Web of Science Researcher ID:** AAD-1846-2020, **Scopus Author ID:** 57191265004

e-mail: artigpetrov@yandex.ru

Сергей Аркадьевич Евтюков, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры наземных транспортно-технологических машин, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

ORCID iD: 0000-0003-3674-643X, **Scopus Author ID:** 57220255407

e-mail: s.a.evt@mail.ru

Вклад соавторов:

Петров А. И. – формулирование цели статьи, анализ и обсуждение аргументации ответов на замечания, обзор литературных источников, формулирование ответов на замечания, формулировка выводов.

Евтюков С. А. – консультирование, анализ и обсуждение аргументации ответов на замечания.

Статья поступила в редакцию: 13.03.2026; принята в печать: 22.05.2026.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Artur Igorevich Petrov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Exploitation of automobile transport, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

ORCID iD: 0000-0003-2634-0567, **Web of Science Researcher ID:** AAD-1846-2020, **Scopus Author ID:** 57191265004

e-mail: artigpetrov@yandex.ru

Sergey Arkadyevich Evtyukov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Land Transport and Technological Machines, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia

ORCID iD: 0000-0003-3674-643X, **Scopus Author ID:** 57220255407

e-mail: s.a.evt@mail.ru

Contribution of the authors:

Petrov A. I. – statement of the purpose of the article, analysis and discussion of argumentation of responses to comments, review of literary sources, formulation of responses to comments, formulation of conclusions.

Evtyukov S. A. – consulting, analysis, and discussion of the reasoning behind responses to comments.

The paper was submitted: 13.03.2026.

Accepted for publication: 22.05.2026.

The authors have read and approved the final manuscript.